

**Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA
VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
TECHO VERDE EN LA EDIFICACIÓN DE LA UNIDAD
EDUCATIVA ESCUELA AGUSTÍN CODAZZI DE
CARACAS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Magliano Tullio, Giampiero.

Pestana Gonzalez, Guillermo Enrique.

PROFESOR GUIA

Ing. Joaquin Benitez.

FECHA

Caracas, 5 de septiembre de 2018.

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

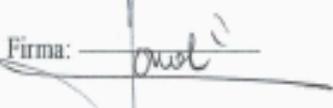
**ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD
DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TECHO VERDE EN LA
EDIFICACIÓN DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESCUELA
AGUSTÍN CODAZZI DE CARACAS**

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido
con el resultado: DIECISIETE (17) PUNTO.



JURADO EXAMINADOR

Nombre: Josquin Benítez Nombre: MARIA C. VIAN Nombre: Vincento Bonadio

Firma:  Firma:  Firma: 

Caracas, Septiembre de 2018

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA.....	3
I.1 Planteamiento del problema.....	3
I.2 Objetivo General.....	5
I.2.1Objetivos Específicos	5
I.2.2 Antecedentes de la investigación.....	5
I.3 Alcance y Limitaciones.	8
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
II.1 Cambio climático	10
II.2 Isla de calor	11
II.3 Definición de Techo Verde	12
II.4 Tipos de Techo Verde.....	13
II.5 Beneficios de los Techos Verdes	14
II.6 Componentes de un Techo Verde	15
II.6.1 Vegetación	17
II.6.2 Sustrato.....	20
II.6.3 Filtro.....	21
II.6.4 Capa Drenaje.....	21
II.6.5 Capa Anti Raíz.....	22
II.6.6 Membrana Impermeable	23
CAPITULO III.MARCO METODOLÓGICO.....	24
III.1 Tipo de investigación.....	24
III.2 Diseño de la investigación	24
III.3 Descripción de las Unidades de Estudio de Diseño.....	24
III.3.1 Técnicas y métodos a utilizar.....	24
III.3.1.2 Observación Directa	24
III.3.1.2 Análisis y Revisión Bibliográfica	25
III.3.1.3 Selección de las Variables	25
III.4 Mediciones Ambientales.	27
III.4.1. Clima de caracas	28
III.5 Análisis Estructural	29
III.5.1 Configuración arquitectónica de la edificación	29
III.5.2 Área disponible de la azotea.....	30
III.5.3 Parámetros estructurales de la edificación	30
III.5.4 Criterios adoptados en el programa ETABS	30
III.6.Diseño de Techo Verde	32
III.6.1. Condiciones climatológicas	32
III.6.2. Capacidad de la estructura	32

III.6.3. Objetivos de un Techo Verde	33
III.7. Techos verdes en Venezuela	34
CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	35
IV.1. Análisis de Temperatura	35
IV.2. Análisis de la estructura según COVENIN 1753-2006	43
IV.3. Verificación de Columnas y Vigas	44
IV.4. Viga de refuerzo	47
IV.5. Verificación de columnas y vigas de refuerzo con Techo Verde	47
IV.6. Techo verde implementado	50
IV.6.1. Área destinada para el techo verde	50
IV.6.2. Tipo de vegetación	51
IV.6.3. Capa de Sustratos	51
IV.6.4. Capa de filtro	51
IV.6.5. Capa de drenaje	52
IV.6.6. Capa anti raíz	52
IV.6.7. Capa impermeable	52
IV.7. Mantenimiento	52
IV.7.1. Personal y equipo	52
IV.7.2. Poda de área verde	53
IV.7.3. Riego	53
IV.8. Modelo propuesto del techo verde	53
CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones.	55
ANEXOS	57
REFERENCIAS BIBLOGRAFIA	67

INDICE DE GRÁFICAS

Grafica N°1 Temperatura máxima y mínima promedio en Caracas	28
Grafica N°2 Precipitación de lluvia mensual promedio en Caracas	29
Grafica N°3 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de biología y techo (Día 1)	35
Grafica N°4 Medición de H.R. en Laboratorio de biología y techo (Día 1)	35
Grafica N°5 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 1)	36
Grafica N°6 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 1)	36
Grafica N°7 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 2)	37
Grafica N°8 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 2)	37
Grafica N°9 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de biología y techo (Día 2)	38
Grafica N°10 Medición de H.R. en Laboratorio de biología y techo (Día 2)	38
Grafica N°11 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 3)	39
Grafica N°12 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 3)	39
Grafica N°13 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de biología y techo (Día 3)	40
Grafica N°14 Medición de H.R. en Laboratorio de biología y techo (Día 3)	40

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Tipos de Techos Verdes	14
Tabla N°2 Selección de Variables	26
Tabla N°3 Índice de calor, H.R. y temperatura ambiental en lab. de química	42
Tabla N°4 Índice de calor, H.R. y temperatura ambiental en lab. de biología	42
Tabla N°5 Verificación de columnas sin Techo Verde.....	45
Tabla N°6 Verificación de vigas sin Techo Verde.....	46
Tabla N°7 Verificación de columnas con refuerzo y Techo Verde	48
Tabla N°8 Verificación de vigas con refuerzo y Techo Verde	49

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Componentes de un techo Verde.....	16
Figura N°2 Plantas Suculentas	18
Figura N°3 Plantas Herbáceas.....	19
Figura N°4 Arbustos	19
Figura N°5 Árboles en un techo verde.....	20
Figura N°6 Paneles de irrigación y drenaje	22
Figura N°7 Espectro de diseño.....	32
Figura N°8 Techo Verde auto mercado CM	34
Figura N°9 Techo Verde Biblioteca los Palos Grandes	34
Figura N°10 Relación de humedad relativa vs temperatura ambiental.....	43
Figura N°11 Ubicación de la viga de refuerzo.....	47
Figura N°12 Fachada principal del modelo final	53
Figura N°13 Fachada posterior del modelo final	54
Figura N°14 Fachada lateral del modelo final	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1 Localización geográfica	57
Anexo N°2 Ubicación del edificio dentro del campus de la institución	57
Anexo N°3 Plano Estructural 1	58
Anexo N°4 Plano Estructural 2	59
Anexo N°5 Azotea	60
Anexo N°6 Edificio modelado en ETABS.....	60
Anexo N°7 Calculo del perfil IPN 280	61
Anexo N°8 Conexión viga-columna	62
Anexo N°9 Área destinada al techo verde	62
Anexo N°10 Foto de la azotea dirección sur.....	63
Anexo N°11 Foto de la azotea dirección norte	63
Anexo N°12 Fachada principal	64
Anexo N°13 Fachada posterior de los laboratorios	64
Anexo N°14 Foto del laboratorio de química	65
Anexo N°15 Foto del laboratorio de biología.....	65
Anexo N°16 Foto 1 Termómetro ambiental QUESTHEMP 36	66
Anexo N°17 Foto 2 Termómetro ambiental QUESTHEMP 36	66
Anexo N°18 Columna 35x35 vs columna 60x60.....	67

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un importante interés a escala mundial por el estudio de las crecientes alteraciones que ha provocado el hombre en el medio ambiente y que han incidido directamente en el clima provocando condiciones que a la larga resultan desfavorables para la salud humana.

La acción del hombre ha ocasionado, principalmente en los grandes conglomerados urbanos, perturbaciones ambientales que tienen efectos devastadores sobre la naturaleza, dentro de las cuales se puede mencionar, entre otros, el aumento exagerado de la temperatura producto de un proceso de urbanización descontrolado. Es por ello que resulta necesario desde ya la implementación de estudios y puesta en práctica de acciones que, aunque no reviertan del todo el daño ocasionado al ambiente, al menos contribuyan a mejorar las condiciones del mismo en función de lograr que la calidad de vida de las personas sea más agradable y que pueda estar en armonía con el entorno.

En el caso de ciudades como Caracas en donde existe una alta densidad de población y de edificaciones, zonas verdes cada vez más deterioradas y cada vez más ocupadas por asfalto y concreto, se produce el fenómeno de la absorción de las radiaciones solares por las construcciones que luego generan calor ambiental en detrimento de la vida de sus habitantes. Este hecho puede contrarrestarse con una mayor utilización de espacios verdes en el área urbana para que disminuya las consecuencias ocasionada por la acumulación de radiaciones solares en las distintas estructuras que conforman la ciudad.

En ese sentido, la presente investigación recoge los planteamientos de la propuesta de Trabajo Especial de Grado en el cual se busca estudiar el proceso para el diseño e implementación de un techo verde en la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi, ubicada en la Urbanización Alta Florida de Caracas. Dicho estudio abrirá la posibilidad de que puedan mejorarse aspectos ambientales en dicha institución para lo cual se partirá de un diagnóstico de losa de techo, vigas y columnas para considerar la nueva carga permanente que se le agregaría a la estructura, al mismo tiempo que se evaluarían las distintas opciones que existen para saber cuál sería la mejor alternativa de techo a utilizar, cómo será planteado el diseño del drenaje del mismo, qué tipo de vegetación se utilizará, entre otras cosas. Todo esto debidamente complementado con una exhaustiva revisión bibliográfica y documental acerca de la utilización de los denominados techos verdes como un fenómeno con gran auge en la actualidad.

Al respecto, este trabajo de investigación parte de la explicación del planteamiento del problema como elemento que constituye el eje del estudio, asimismo continúa con la revisión de investigaciones previas que puedan servir como antecedentes importantes para el trabajo de grado, para luego especificar los objetivos generales y específicos que se busca lograr cubrir con el desarrollo del proyecto y, finalmente, se indica el alcance de dicho proyecto con las respectivas limitaciones que pueden presentarse para que el mismo pueda llevarse a cabo en forma exitosa. Como se señaló anteriormente, todo ello acompañado de las respectivas referencias bibliográficas y documentales que sirvan para sustentar teóricamente los criterios que se exponen.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

I.1. Planteamiento del Problema

En los últimos años se ha incrementado a nivel mundial la preocupación por el cambio climático producto de la acción descontrolada del hombre sobre el medio ambiente cuestión que ha llevado, entre otras cosas, a un aumento desmedido de la temperatura especialmente en los grandes centros urbanos.

Es conocido el hecho de que en las ciudades la temperatura promedio es más elevada que en los espacios rurales o naturales. A diferencia de lo que ocurre en el medio rural, en las ciudades predominan las masas de concreto y otros materiales con baja tasa de disipación de calor que contribuyen permanentemente a que se registren niveles elevados de temperatura, tal como lo explica Alonso (2004):

Cuando la radiación solar incide sobre los materiales que forman el entorno rural, gran parte es reflejada, mientras que al incidir sobre los materiales propios de la zona urbana, es absorbida, para ser emitida, posteriormente, y de forma lenta, como radiación de onda larga. Así, por la noche la zona rural se ha deshecho de toda la energía que, durante el día, ha llegado a su superficie, mientras que, la ciudad continúa emitiendo energía, y por tanto, calentando las capas atmosféricas más bajas.

Con lo que puede entenderse que la absorción que hacen ciertos materiales de construcción de las radiaciones solares y, la posterior emisión de las mismas, es una de las causas por las cuales en las grandes ciudades la temperatura será siempre más elevada que en las zonas rurales. Cuestiones como la utilización predominante de techos de color gris o negro en las construcciones actuales de los grandes centros urbanos, contribuyen con esta absorción de calor y con la formación de las llamadas islas térmicas o islas de calor que están relacionadas con la “progresiva pérdida del entorno vegetal natural, intra y peri urbano, substituyéndolo por superficies impermeables, como el concreto, asfalto, ladrillo y otros materiales de construcción, que alteran el balance hídrico y radiativo superficial lo que induce, en consecuencia, a un aumento de la temperatura en las áreas urbanas” (Córdova, 2011).

Este incremento de la temperatura en los centros urbanos tiene diversos efectos sobre la vida humana. Uno de ellos es el relacionado con el alto consumo de energía que existe tanto en los espacios residenciales como comerciales, pues se incrementa la utilización de equipos de aire acondicionado y refrigeración y ello, a su vez, reduce las posibilidades de enfriamiento natural de las edificaciones durante las

noches ya que tales equipos generan y acumulan calor que transmiten a las construcciones. Adicionalmente, con esto se contribuye también a la acentuación de la contaminación ambiental aumentando los gases de combustión presentes en la atmósfera generando mayor cantidad de smog y otros componentes los cuales son responsables del calentamiento global, el efecto invernadero y de la lluvia ácida.

Es por ello que ha aparecido la necesidad de implementar innovaciones en los tradicionales diseños de las construcciones que permitan ofrecer no sólo mejoras estéticas de las mismas sino también mejores condiciones climáticas en donde las personas puedan tener una mejor calidad de vida, justo como lo indica Valbuena (2012) al señalar que:

En el marco de la mitigación y adaptación frente al cambio climático, es necesario crear una preocupación en el ser humano de encontrar soluciones viables y amigables con el entorno de las ciudades, buscando mejorar el bienestar y la calidad de vida.

En ese sentido, surgen los techos verdes como una opción que permite combatir problemas ambientales relacionados con el fenómeno de las islas de calor y como una estrategia efectiva y sostenible que coadyuva a mejorar la calidad del ambiente cuando el mismo es afectado por el proceso de urbanización. Esta especie de jardines instalados en los techos o cubiertas de las edificaciones generan múltiples beneficios tales como la reducción del impacto ambiental que puedan tener todas las grandes obras o construcciones dentro de las ciudades, la disminución de la alta demanda de energía para equipos de aire acondicionado, la mejora del aire de las ciudades gracias a la generación de oxígeno por las plantas y, entre otros, la disminución del caudal de agua de lluvia sobre los alcantarillados y desagües debido a que gran parte de la misma será absorbida por la vegetación presente en las cubiertas. Adicionalmente, los techos verdes constituyen un excelente aislante no sólo térmico sino que también pueden actuar como un aislante acústico.

Otro de los aspectos favorables para la utilización de los techos verdes es que los mismos pueden ser empleados indistintamente en edificaciones residenciales o comerciales, al igual que instituciones públicas o privadas, debido a que gracias a su versatilidad no se presentan mayores objeciones que puedan afectar la cotidianidad de la vida de las personas dentro de las construcciones en los que se utilicen.

No obstante, hay que señalar que como posibles desventajas para la implementación de este tipo de techos hay que mencionar que los mismos generan una carga permanente extra en las losas de la edificación. De igual modo, este tipo de techos amerita una preparación cuidadosa de impermeabilización y drenaje de las superficies donde se va a utilizar para evitar futuras filtraciones. Por último, pero

no menos importante, hay que tomar en cuenta el factor de los costos para su instalación y mantenimiento los cuales podrían resultar un tanto elevados.

De cualquier modo, haciendo una revisión de lo anteriormente expuesto, puede observarse que la utilización de techos verdes trae consigo una mayor cantidad de beneficios que de desventajas por lo que en el presente trabajo de investigación se plantea la propuesta de llevar a cabo la implementación de un techo verde para el Colegio Agustín Codazzi de Caracas, Venezuela, a partir de la evaluación de los factores que indiquen la factibilidad y pertinencia para la instalación del mismo.

I.2. Objetivo General

Estudio técnico para determinar la viabilidad de la implementación de un techo verde en la edificación de la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi de Caracas.

I.2.1. Objetivos Específicos

Determinar los parámetros ambientales predominantes en la actualidad en la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi.

Evaluar la capacidad estructural de la edificación en donde funciona la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi para soportar la instalación de un techo verde.

Formular una propuesta de ingeniería conceptual, para el suministro, instalación y mantenimiento de un techo verde para la edificación de la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi.

I.3. Antecedentes de la Investigación

La búsqueda de una mejor relación entre el hombre y el medio ambiente, aunque no es nueva, ha sido una preocupación que ha venido acentuándose en los últimos años a nivel mundial y en nuestro continente en forma especial. En ese orden de ideas, Gudynas (1999) afirma que:

En América Latina, como en otras regiones, se está viviendo una creciente preocupación por la temática ambiental. Cuestiones como la preservación de especies silvestres, los efectos de la contaminación, o los problemas ambientales globales, son motivo de atención de políticos, académicos y ciudadanos.

Fenómenos como el deterioro de la capa de ozono y el cambio climático, han hecho que empiece a considerarse seriamente la adecuación de espacios en las

ciudades que hagan la vida más sostenible y sustentable en la búsqueda permanente de lograr cada vez más una relación armoniosa con el medio ambiente. Venezuela no escapa de esa realidad y es por ello que cada vez existen más iniciativas en las que se muestra una preocupación por lograr un desarrollo material considerando siempre el menor impacto sobre la naturaleza y el mejor aprovechamiento de los recursos que brinda.

Concretamente, en el caso que nos ocupa, se hizo la revisión de propuestas de investigación que se relacionan directa o indirectamente con el logro de mejoras ambientales en los espacios urbanos y en sus edificaciones así como también se revisaron otras publicaciones relacionadas con la utilización de sistemas de construcción que implementen los techos verdes.

En principio, puede mencionarse el trabajo de Luis Saldiña denominado “Propuesta para la implementación de un techo verde en el edificio casa del estudiante del campus Ucab Guayana.” (2017), cuya importancia radica en el considerar que la implementación de techos verdes en las edificaciones dentro del campus de la universidad:

Para la Ucab Guayana, el tema de la sustentabilidad ha sido de mucha importancia desde sus inicios, considerando estas premisas de sustentabilidad con especial énfasis en los principios declarados por la Universidad (...) los techos verdes, constituyen un aporte viable y cónsono con tales principios para contribuir con el ambiente, ya que los techos verdes son capaces de reducir contaminantes existentes en el aire y optimizar la utilización de energía eléctrica de los equipos de aire acondicionado y de esta forma, mejorar la climatización interna de las edificaciones en las cuales se pudiesen implementar.

Se concluyó que la vegetación tiene las características apropiadas para un sustrato de 15, 18 y 20 cm, sabiendo que el código de techos verdes GRO especifica que estos espesores corresponden a un suelo extensivo el cual requiere menos mantenimiento, definiendo también una capa de drenaje de 5 cm de material liviano (aliven) junto con las capas restantes correspondientes al filtro, protección anti raíz e impermeabilizante. Resultando con una carga total de 338,94 kgf/m².

No obstante, en nuestro país existe un gran problema tal como lo plantea en su Trabajo Especial de Grado Jorge Enrique Ochoa titulado “Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas” (2012). En él se indica que Venezuela no cuenta con normas, procedimientos y/o leyes que regulen el uso de Techos Verdes en edificaciones ya existentes y que no previeron ser solicitadas por este sistema desde su diseño, debido a esto Ochoa recurrió a normas y manuales avalados por países con amplia

experiencia en la utilización de este sistema, de manera de poder establecer los criterios de diseños estructurales necesarios para su implementación en edificaciones de uso comercial, bajo los lineamientos de las normas de construcción Venezolanas:

Techos Verdes en edificaciones comerciales construidas representa una solución práctica a mayor escala para el problema climático que enfrenta la ciudad, teniendo en cuenta que existe una variedad de edificaciones que son potencialmente elegibles para implementar un Techo Verde y pueden contribuir a mejorar los problemas de orden ambientales y climáticos.

Ochoa demostró que por medio de revisión de las losas de las edificaciones estudiadas dentro de los criterios del estado límite de agotamiento resistente, la implementación de sistemas de Techos Verdes es aplicable. Los techos verdes son un campo poco explorado en Venezuela y esta investigación pretende servir de apoyo para futuros estudios que promuevan el uso de esta tecnología.

Adicionalmente, se encuentra el Trabajo Especial de Grado de Acuña Ruben y Estevez Carlos, el cual se denomina “Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la universidad Católica Andrés Bello” (2013) en el que también se promueve la instalación de un techo verde en un edificio ya existente, como un elemento que contribuya a mejorar los aspectos ambientales y que sirva de experiencia piloto para la adaptación de esa estrategia en el resto del campus, demostrando así que el edificio está en plena capacidad de resistir las cargas añadidas tanto gravitacionales como sísmicas. A su vez, ambos afirman que es totalmente factible la disminución y/o ahorro de consumo eléctrico en la edificación:

Los techos verdes, constituyen una opción para compartir problemas ambientales relacionados con el fenómeno de islas de calor, y con el mejoramiento de los índices de consumo eléctrico.

Uno de los principales beneficios que se obtiene de esta nueva tecnología ecológica es la reducción de la temperatura dentro de la edificación, tal como demuestra el trabajo de grado de Mateo de Rhode Valbuena titulado “Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia)” (2012). En él, el autor concluye que un techo verde atenúa la temperatura de un hogar en una zona de tierra caliente, pero esa atenuación y sus beneficios dependen del área (tamaño) que se implemente y otros factores como los materiales, el espesor del sustrato y el riego. Además el techo verde puede ser asequible para todos ya que se puede hacer con materiales y recursos limitados según las necesidades y la disponibilidad de las personas.

Valbuena llegó a esa conclusión a través de un análisis comparativo de las variaciones de temperaturas diarias dentro de la casa (ambiente) y en el techo

(superficial), antes y después de la implementación del techo verde. A su vez demostró que se pueden determinar limitantes y hacer los ajustes requeridos para adecuar la tecnología generada en otros sitios bajo condiciones locales, y extrapolar la información a otros lugares.

Por otra parte, como referencia importante, se promueve que debería de existir en el país una preocupación por el medio ambiente durante el desarrollo de las construcciones, tal como lo evidencia las recomendaciones que realiza en su Trabajo Especial de Grado Yovanna Sandó Marval titulado “Hacia la construcción de una arquitectura sostenible en Venezuela” (2011). En lo referente a los materiales a utilizarse en los techos también se señala la conveniencia de construir una “planta techo con celdas solares y cubierta ajardinada para aliviar las cargas térmicas, producir agua caliente y generar electricidad de manera sostenible”(Sandó, 2011). Al mismo tiempo el autor señala de que a futuro “la práctica de la construcción venezolana podría modificarse hacia nuevos lineamientos, en donde los temas de ahorro energético e impacto ambiental jueguen un papel importante en la toma de decisiones”. De esto se desprende, entre otras cosas, la necesidad que existe en la actualidad de abordar el tema de la construcción de las edificaciones desde una perspectiva menos agresiva con el medio ambiente.

Puede observarse que, en Venezuela el estudio de los techos verdes es un tema sobre el cual no se han dado importantes pasos, ya que no se ha realizado la inclusión de la carga permanente en las normas del diseño estructural venezolana. No obstante, debido a la novedad del mismo dicho tema representa un campo amplio sobre el cual todavía se pueden hacer mayores consideraciones y aportar nuevas perspectivas como la que se pretende realizar con la presente investigación, como por ejemplo la factibilidad de instalación de un techo verde en unidades educativas y los beneficios que trae no solo a nivel ambiental sino también para generar espacios educativos que sensibilicen sobre dicha problemática.

I.4. Alcance y Limitaciones

Dentro de los alcances que se pretenden con la presente investigación se puede mencionar que, básicamente, a partir de la misma se desea que se produzcan cambios que permitan la mejora de la calidad de vida de las personas que llevan a cabo su día a día dentro de la edificación de la Unidad Educativa Agustín Codazzi. En ese sentido, este trabajo pretende centrarse en la posibilidad de abarcar el estudio de la mayor cantidad de aspectos tanto estructurales como ambientales de la referida

edificación de tal manera de lograr que la misma sea más sustentable en concordancia con el ambiente y en consonancia con la época que estamos viviendo. No obstante, es preciso señalar que una vez logrado esto, sin lugar a dudas tal cuestión tendrá un impacto sobre la vida de la comunidad en la que se encuentra la mencionada institución lo que indica que el alcance de esta investigación puede ampliarse para dar lugar a otras investigaciones futuras conexas.

Por otra parte, en relación con las limitaciones que este trabajo presenta, en primer lugar y relacionado con el aspecto práctico, hay que señalar que el trabajo de evaluación técnica que se aspira ejecutar en campo se va a realizar en un área con flujo constante de personas lo que amerita que dicho trabajo deba hacerse de la manera más adecuada posible de tal modo de no interferir o de interferir lo menos posible en la cotidianidad tanto de estudiantes como del personal docente, administrativo y obrero que permanecen en el lugar. En segundo lugar, hay que mencionar otra limitación pero de orden metodológico, la cual se refiere a que en general este es un tema novedoso en el país por lo cual pudieran, para su estudio o implementación, presentarse ciertas reservas o resistencias al momento en que se desee solicitar información o acceder a datos que contribuyan a hacer factible el proyecto, al igual que puede darse el caso de que no se encuentren disponibles algunos datos relativos a la calidad o tipos de materiales utilizados en la construcción de la edificación. Finalmente, en tercer lugar aunque no menos importante, está la dificultad de que las estimaciones financieras que pudieran establecerse en la investigación para la ejecución del proyecto podrían resultar insuficientes dada la volatilidad de la economía del país y dada la constante carencia de materiales e insumos para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El propósito de este capítulo es permitirle al lector tener una visión general acerca de los aspectos que se relacionan con el diseño y la instalación de los llamados techos verdes para las edificaciones modernas así como de sus características y la utilidad de los mismos.

II.1. Cambio climático.

El cambio climático es una consecuencia mundial que ha venido afectando al planeta tierra desde la revolución industrial, pero que solo se empezaron a tomar medidas al respecto desde hace unos pocos años atrás. El motivo principal recae en el crecimiento desproporcionado de la población en los últimos años, que trae como consecuencia un mayor número de viviendas, alimentos, escuelas, empleos, hospitales, carros etc. Para satisfacer estas necesidades hay que aumentar la producción industrial y agrícola, actividades industriales que no habían tenido ninguna regulación para disminuir el impacto ambiental que ocasionan.

Todo esto ha originado que los niveles de CO₂ presentes en la atmósfera hayan aumentado significativamente, lo que ocasiona un aumento en la temperatura a nivel mundial gracias al efecto invernadero. National Geographic en un artículo de su revista, titulado “ Qué es el efecto invernadero” define este fenómeno como:

El calentamiento que se produce cuando ciertos gases de la atmósfera de la Tierra retienen el calor. Estos gases dejan pasar la luz pero mantienen el calor como las paredes de cristal de un invernadero. En primer lugar, la luz solar brilla en la superficie terrestre, donde es absorbida y, a continuación, vuelve a la atmósfera en forma de calor. En la atmósfera, los gases de invernadero retienen parte de este calor y el resto se escapa al espacio. Cuantos más gases de invernadero, más calor es retenido.

El periódico argentino La Nación publicó un artículo el 1 de octubre de 2013 titulado “El hombre más culpable que nunca del cambio climático” donde se refleja lo expuesto anteriormente:

La concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, se ha incrementado desde 1880 un 40%, lo que se atribuye grandes cambios de temperatura debido a los procesos de industrialización(...) Si no se reducen de un modo drástico e inmediato las emisiones de gases de efecto invernadero, las consecuencias serán devastadoras. El efecto invernadero se debe a la retención de gases en la atmósfera terrestre, lo

que ocasiona que la energía recibida constantemente no vuelva inmediatamente al espacio (...) Se encontraron datos precisos que fortalecen el nivel de certeza sobre la responsabilidad de la actividad humana en el cambio climático, lo cual se ha ignorado año tras año.

Por estas razones, se han puesto en marcha diferentes soluciones para disminuir el calentamiento global y las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como el protocolo de Kioto que lamentablemente Venezuela no pertenece, pero sobre todo el uso de nuevas tecnologías e iniciativas ecológicas enfocadas a proteger el ambiente, en esta categoría entran los llamados Techos Verdes.

II.2. Islas de calor.

Hoy en día existe una gran preocupación por los efectos que tienen en la salud humana las alteraciones provocadas por el hombre en el medio ambiente. Ya es habitual el procurar salir de las grandes ciudades para poder respirar “aire puro”, y es que la acción humana ha generado microclimas artificiales, así como lo expone Alonso (2011):

Estas perturbaciones micro climáticas dan lugar a diferenciaciones claras entre el clima de las distintas ciudades, su área de acción, y el clima rural. Una de las principales diferencias es el aumento de la temperatura en las ciudades, producido por el proceso de urbanización. A este fenómeno se le denomina Isla de Calor Urbana.

La isla de calor ha sido descrita por numerosos autores como un “efecto invernadero local” en donde la actividad industrial, los vehículos, las calefacciones y otras actividades humanas convierten las zonas urbanas en productoras de calor. A su vez hay que tomar en cuenta los materiales que están presentes en las ciudades como el asfalto de las vías y las grandes cantidades de concreto presentes en los edificios, que absorben el calor que proviene de la luz solar, aumentando la temperatura durante el día y a su vez en la noche ya que todo este calor absorbido es liberado en la noche a través de ondas de larga duración.

No obstante, Alonso afirma que las condiciones meteorológicas son fundamentales en la intensidad que puede adquirir la isla de calor:

La variable meteorológica más influyente es el viento, de manera que existe una velocidad del viento para la cual el fenómeno desaparece.(...) Las situaciones meteorológicas estables, con poco viento, sin precipitación y cielos despejados producen un aumento en la intensidad de la isla de calor. Sin embargo, con situaciones meteorológicas adversas la isla puede llegar a desaparecer.

Como se expuso anteriormente, los edificios absorben el calor debido a que

están hechos de concreto, pero la tecnología de techos verdes ofrece una superficie vegetal que absorbe los rayos del sol impidiendo que se refleje directamente a cualquier área del techo impermeabilizado o con cualquier tipo de material a base de pavimento. En este sentido Mummery (2008) agrega:

El uso de techos verdes de forma expansiva en toda la ciudad puede ayudar a enfriar el aire. Los tejados tradicionales alcanzan temperaturas de hasta 90° C (190° F), pero las temperaturas del techo verde permanecen por debajo de 50° C. Las plantas mantienen el techo más fresco porque crean sombra y usan la Energía del sol para evapotranspirar la humedad a través de sus hojas. De esta información se puede apreciar que el uso de esta tecnología ecológica, no sólo ayudaría a mejorar el ambiente de la edificación sino de toda la ciudad.

II.3. Definición de Techo Verde.

Básicamente en todas las definiciones de techo verde existe como elemento común que los mismos están conformados por una capa vegetal que cubre el exterior de un inmueble. Al respecto, en la Guía de Techos Verdes en Bogotá (2011) se explica que:

Un techo verde es un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenida un paisaje vegetal sobre la cubierta de un inmueble mediante la adecuada integración de: 1) el inmueble intervenido, 2) la vegetación escogida, 3) el medio de crecimiento diseñado y 4) los factores climáticos y ambientales.

Con lo que se observa que el concepto de techo verde va mucho más allá de la simple utilización de una cubierta vegetal en la parte superior del inmueble, ya que se debe considerar la atención al crecimiento de la misma en relación con los factores ambientales que la rodean y su forma de estar integrada a la construcción sobre la que se utilizó.

Por su parte, Ochoa (2012) amplía el concepto al alertar que también se debe tener presente que el techo verde es un espacio en el que habitará cierto tipo de fauna:

Un techo viviente o Techo Verde traducido del inglés green roof, es una superficie o estructura en la cual intencionalmente se tiene vegetación o hábitat para cierto tipo de fauna la cual ocupa total o parcialmente el techo de una edificación.

Y adicionalmente comenta que dicha superficie siempre “viene seguida de otras capas que permiten tener un sistema en el cual se conforma una placa o losa, un panel de irrigación y drenaje y una capa de suelo” (Ochoa, Ídem), siendo estas cuestiones indispensables a considerar al momento de realizar el diseño de los techos verdes. Tal cuestión se complementa con lo referido por Valbuena (2012) quien

explica que este tipo de techos debe ser diseñado de tal manera que “no afecte la estructura de la vivienda, (y) que genere beneficios ambientales sociales y económicos”, lo que nos da a entender que un techo verde no es simplemente un elemento ornamental sino que también puede generar beneficios económicos.

En ese mismo orden de ideas, está el concepto mostrado por Acuña y Estévez (2013) al indicar que un techo verde:

Es un jardín instalado en las azoteas o terrazas de las edificaciones bien sean nuevas o existentes, que se han implementado como nuevas tecnologías ecológicas para mitigar los grandes problemas que están afectando severamente al ambiente y a todas las especies vivas que lo habitan, así como también proveer de importantes beneficios a la comunidad.

De todo lo anterior se desprende, entonces, que ya es momento de comenzar a pensar en la utilización masiva de techos verdes por la gran cantidad de ventajas que los mismos representan tanto en el aspecto arquitectónico, como en el aspecto de mejora de calidad de vida y sustentabilidad para la población.

II.4. Tipos de Techos Verdes

En general la clasificación de las tipologías de techos verdes, en gran medida, se relaciona con el uso y propósito que se persigue obtener con el mismo. Al respecto, puede indicarse que hay dos tipos: 1. Techos Verdes Intensivos y 2. Techos Verdes Extensivos.

El llamado Techo Verde Intensivo “provee beneficios semejantes a un pequeño parque o jardín doméstico (y) está primordialmente dirigido para uso ornamental y recreacional” (Ochoa, Ob. Cit.) por lo que requiere cuidados constantes y permanentes que permitan su disfrute continuo. Según Ochoa (Ob. Cit.) cuando a este tipo de techo se le agrega una variedad de plantas numerosas en cantidad pero diferentes a las usadas en los Techos Verdes Extensivos, puede hablarse entonces de un tipo de Techo Verde Semi Intensivo.

Por su parte, el Techo Verde Extensivo “funciona como una capa ecológica que provee de beneficios ambientales al entorno urbano-social (y) es un sistema ligero de bajo mantenimiento” (Valbuena, Ob. Cit.) en el que generalmente se usan plantas muy resistentes, plantadas superficialmente sin que requieran muchos cuidados ni riego permanente. En algunos casos, este tipo de techo “se caracteriza por

su cobertura vegetal espontánea que crece naturalmente sin ser sembrada” (Ochoa, Ídem). Adicionalmente, dentro de esta clasificación puede encontrarse el Techo Verdes Biodiverso el cual es “similar en composición a un Techo Verde extensivo, pero diseñado específicamente para crear un hábitat que atraerá un tipo de flora y fauna particular” (Ídem).

Alguna de las características más importantes sobre estos 2 tipos de techos verdes, se ven reflejadas en el trabajo de Acuña y Estevez (2013):

Techo Verde Intensivo	Techo verde Extensivo
<ul style="list-style-type: none"> • Las especies que se siembran son mayores de los 50 cm de altura (árboles, arbustos, setos y jardines vegetados). • Requieren el mismo mantenimiento que un jardín tradicional, requiere riego y fertilización. • Debe diseñarse para una carga estructural de $1200\text{kg}/\text{m}^2$. • Maduración de las plantas puede tardar varios años. • Necesitan techos planos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizan plantas de crecimiento bajo (menor a 50cm) • Baja cantidades de agua para riego, por lo cual, niveles de mantenimiento y fertilización bajos. • Peso saturado de agua no supera los $200\text{kg}/\text{m}^2$ • Proceso de maduración alrededor de los 4-6 meses.

Tabla N°1 Tipos de Techos Verdes.

De cualquier modo, dependiendo de la perspectiva en la que se deseen enfocar y, del país en donde se utilicen, a los tipos de techos verdes pueden dársele diferentes denominaciones. No obstante, más allá del nombre que se les pueda dar todos presentan como elementos comunes que están ubicados en la parte superior de las edificaciones, con determinada capa vegetal y con componentes de sustrato y drenaje.

II.5. Beneficios de los Techos Verdes

La utilización de los techos verdes constituye una alternativa importante dentro de las construcciones en las grandes ciudades porque ayuda a reducir el mencionado efecto invernadero además de que pueden proporcionar materia vegetal que se requiera como alimentos o como insumo para otros procesos. Del mismo modo, los techos verdes pueden ser lugar para el crecimiento de determinado tipo de fauna y flora que contribuya a mantener el equilibrio del hábitat en el que los mismos se implantaron.

En el caso de la presente investigación, esta misma visión es la que comparte Ochoa (2012) al explicarnos los múltiples beneficios que trae consigo la utilización de los techos verdes, los cuales no sólo se limitan al plano arquitectónico y estructural sino también ecológico:

Los techos verdes son de gran beneficio para el medio ambiente, ya que ofrecen a plantas y animales nuevos espacios de vida y, además, retienen el agua pluvial en el inmueble, siendo ésta elegible a conectarse con un sistema de reutilización de agua para riego u otro fin (...) igualmente mejoran el microclima, absorben el polvo, reducen la reflexión del sonido y aumentan el aislamiento acústico de una edificación (...) mejoran el aislamiento térmico, por lo cual se reducen los gastos de calefacción y refrigeración. Protegen la superficie del techo contra la radiación UV, el calor, frío y granizo, prolongándose por así decir, la duración del mismo.

Puede inferirse entonces que, debido al cambio significativo que representará para la vida de las personas la utilización masiva de los techos verdes en función de la gran cantidad de beneficios que acarrea, ya es tiempo de que se comience a promover sostenidamente la utilización de este tipo de estructuras en las construcciones de las grandes ciudades del mañana.

II.6. Componentes de un Techo Verde

Pensar en la utilización de un techo verde para las edificaciones significa tener en cuenta que para que pueda mantenerse una capa vegetal encima de una losa de concreto deben existir una serie de variables que tienen que considerarse, de tal manera que en lugar de crear una solución no se vaya a comprometer la estructura de la construcción y vaya a crearse entonces un problema.

Por tal motivo, hay que tener en cuenta cuáles son los componentes de un techo verde que, independientemente de si es del tipo extensivo o intensivo, siempre estarán presentes en la instalación de los mismos. La mayoría de los investigadores coinciden en los componentes con los que los techos verdes deben contar existiendo algunas variaciones dependiendo de la óptica del autor. Ejemplo de ello, puede citarse lo explicado por Ochoa (2012), quien señala que un techo verde debe tener los siguientes componentes: “capa vegetal, sustrato, geotextil, panel de irrigación y drenaje, manto impermeable, losa de techo”.

Por otra parte, la Guía de Techos Verdes en Bogotá (2011) señala que deben cumplirse una serie de condiciones técnicas para la instalación de un techo verde de tal manera de garantizar su operatividad: “1. Estanqueidad (medios aislantes y sistemas impermeabilizantes), 2. Drenaje (material granular), 3. Retención de agua (sistemas modulares), 4. Estabilidad Mecánica (láminas drenantes), 5. Nutrición

(sustrato), 6. Filtración (geotextiles y otros)”. Del mismo modo indica que al momento de querer utilizar los techos verdes debe pensarse en que los mismos deben diseñarse en función de tener mucha duración en el tiempo con gran estabilidad y resistencia mecánica, sin olvidar que el mantenimiento de los mismos debe ser económico de tal manera de garantizar su operatividad durante muchos años. Todo esto sin que se descuide la parte de vitalidad biológica la cual debe estar garantizada integrándola siempre, además, con la funcionalidad del inmueble conectada al entorno en el que se encuentre.

En ese mismo orden de ideas están los planteamientos de García (2010) cuando afirma que todos los techos verdes deben tener dentro de sus componentes un “soporte base, membrana impermeabilizante anti-raíz, capa drenante, capa filtrante, capa de sustrato y capa de vegetación”. Como puede observarse, no existe mayor diferencia de criterios con lo expuesto anteriormente acerca de lo que deberían ser los elementos que conformen un techo verde.

De cualquier modo, de todo esto puede extraerse que en general los techos verdes en las edificaciones, aparte de cumplir con su función ecológica y decorativa, deben poseer una serie de componentes que permitan que los mismos puedan estar integrados de manera funcional a las edificaciones sin dejar de cumplir con los propósitos establecidos de conservación del ambiente y reducción de las temperaturas y el consumo de energía a un bajo costo de mantenimiento y operatividad por muchos años.

A continuación se muestra una figura con los componentes o capas necesarios que configuran un techo verde convencional en techos planos, posteriormente se hará una breve descripción de cada tipo de material.



Figura N° 1 Componentes de un techo Verde. (Fuente: de Mateo de Rhodes Valbuena(2012))

II.6.1 Vegetación.

La vegetación es una de las cosas más importantes a seleccionar, debido a que de esto dependen los beneficios que se desean obtener. El tamaño de las hojas es de suma importancia ya que refleja la radiación solar, filtra las partículas de polvo presentes en el aire, absorbe el CO₂ y el agua de lluvia, mejorando así la calidad del drenaje del techo.

Siguiendo este orden de ideas Gernot Mike implementa un criterio de selección, tomando en cuenta factores decisivos como:

- Espesor del sustrato y su efectividad de almacenaje de agua.
- Pendiente del techo (mientras más pendiente posea el techo, mayor debe ser su efectividad para almacenar agua).
- Exposición al viento (hace que aumente la evaporación).
- Orientación (los techos que están inclinados hacia el sol se secan más rápido).
- Sombra.
- Cuantía de precipitaciones (sectores donde la lluvia no llega).

Pero depende esencialmente a cuales de las siguientes funciones o repercusiones se le asignará respectivamente la máxima importancia:

- Efecto de aislación térmica.
- Aislación acústica.
- Gasto de mantenimiento.
- Aspecto óptico.

De igual forma plantea que para obtener la mayor cantidad de beneficios:

“Entonces debería aspirarse a un colchón de vegetación lo más denso posible y aproximadamente de igual altura. Esto se consigue fácil y económicamente con pastos silvestres o, de otro modo, con una mezcla de pastos y hierbas silvestres”

Para la elección de la vegetación son decisivos los siguientes criterios:

- Resistencia a las sequías.
- Resistencia a las heladas (si aparecen heladas).
- Altura de crecimiento 10-20 cm.
- Puntos de floración no mayores a 40 cm.

- Formación densa del colchón con fuerte desarrollo en altura y crecimiento disminuido a lo ancho.
- No condicionada a la calidad del suelo

La vegetación a escoger estará vinculada estrechamente a las condiciones geográficas y climatológicas del sitio. Siempre es recomendado optar por flora típica

de la región. Dependiendo del tipo de Techo Verde se puede afirmar que, mientras mayor sea el espesor de sustrato, mayor será la variedad de vegetación disponible. Algunas de las principales plantas utilizadas en los sistemas de techos verdes poseen las siguientes características:

Suculentas

- Particularmente coloridas.
- Dominan en techos verdes de bajo sustrato.
- Son de bajo crecimiento.
- Presentan alta tolerancia a la sequía.
- Sus flores en temporada ofrecen texturas y formas en cantidades, ideales para techos verdes decorativos y paisajismo
- Requieren poco riego.



Figura N°2 Plantas Suculentas. (Fuente: Verdecora).

Herbáceas

- Poseen fuertes tallos subterráneos.
- Vuelven a crecer con persistencia durante varios años.
- Son útiles para techos verdes cuando provienen de zonas cercanas al proyecto.
- Tienen un ritmo de crecimiento muy rápido.
- Germinan prácticamente todas las semillas que caen al suelo.
- Se adaptan a todo.



Figura N°3 Plantas Herbáceas. (Fuente: Jardineriaon).

Arbustos

- Cuando su altura es de un metro deben utilizarse en profundidad de sustrato de 25 cm o más.
- Proporcionan valores de cobertura y exhibición.
- Al aumentar las profundidades del sustrato el riego también aumentará.



Figura N°4 Arbustos (fuente: Hogar mania).

Árboles

- Son considerados pequeños hasta 5 metros.
- Pueden crecer exitosamente en profundidades de 60 cm de sustrato.
- Si el sustrato es mayor a un metro se asegura un crecimiento con mejores resultados.
- Son elementos dominantes en cualquier paisaje.
- Cuanto mayor sea la exposición del techo y la utilidad general del sitio más importante será la selección de estos.



Figura n°5 Árboles en un techo verde. (Fuente: Casas Ecológicas.)

Algunas plantas utilizadas en cubiertas ajardinadas, de tipo extensivo, más comunes son las citadas en el trabajo de grado de UCAB Caracas, (Acuña y Estevez. 2013):

- **Crotos (*Codiaeum variegatum*):** es una planta que necesita una iluminación intensa para mantener vivos sus colores. Necesita mucha humedad y un riego adecuado.
- **Barba de León (*anemone patens*):** tipo de planta que necesita situarse en lugares con exposición directa al sol.
- **Garbancillo (*astragalus garbancillo*):** así como las anteriores, es una planta que crece estrictamente con la luz sol.

II.4.2 Sustrato.

Es la capa que sirve de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes necesarios para su crecimiento, a su vez es la capa que aporta el mayor peso a la estructura. Minke define al sustrato como:

“La capa soporte de la vegetación donde se produce el trabajo de las raíces, sirve como materia nutriente, cómo almacenaje de agua y debe tener suficiente volumen de aire en poros para poder así ofrecer a las raíces la posibilidad de anclaje. El sustrato de la vegetación tienen que armonizar entre sí.” (Minke, 2004, p.44).

La capa del sustrato esta compuesto por por tres tipos básicos, arena, limos y arcillas de baja densidad. Dependiendo de la configuración que se escoja varía la funcionalidad del suelo. Es importante señalar que el sustrato no contenga exceso de nutrientes ya que los pastos crecen en exceso y son castigados por la acción del viento, ocasionando que se sequen rápidamente y afectando el crecimiento posterior de la vegetación.

Es por ello que se diseña para una vegetación de césped pobre, para que surja

una pradera de pastos silvestres cuyo colchón no llegue más alto que 10-20 cm. Sin embargo, puntos de florecimiento aislados pueden llegar a 30- 50 cm de altura. El espesor de esta capa depende del tipo de vegetación que se quiera asignar y del peso que pueda resistir la estructura.

II.4.3 Filtro.

La capa filtrante en el sistema de techo verde es la que está ubicada por debajo del sustrato y por encima del drenaje, funciona como separador. Estas son necesarias para la contención de la cantidad de partículas finas, medianas y residuales del sustrato y para no ser lavadas por el sistema de drenaje. Está constituida por un paño suave producido a partir de polietileno de filamentos y polipropileno, utilizados típicamente en sus disponibilidades como material de tejido y de no tejido, los cuales deben proporcionar además una alta resistencia en la parte superior para contrarrestar el efecto de perforación de las raíces que podría afectar su eficiencia obstruyendo los canales de aireación.

En muchos casos la capa de filtro es del mismo material que la capa anti raíz, en Venezuela existen materiales que pueden cumplir la función de filtro tal como la goma vulcanizada o geocompuestos para drenajes cuya núcleo interior está formado por una malla de drenaje a base de filamento, el cual está cubierto en ambas caras por un geotextil tipo filtro de polipropileno, los tres componentes están unidos por puntos de fusión.

II.4.3 Capa Drenaje.

Como lo indica la tesis de grado Ucab Caracas (Acuña y Estevez,2013) “Es aquella que separa la capa impermeable del sustrato permitiendo controlar la escorrentía superficial haciendo circular el flujo de agua excedente luego de que ocurra la saturación del suelo vegetal”. Su complejidad radica en la inclinación del techo, en techos inclinados esta capa es prácticamente muy sencilla cuando se trata de pendientes entre 5 y 30 %, para pendientes que superan el 10% se debe tomar previsiones con respecto al deslizamiento del sustrato y la vegetación. También se utilizan mecanismos de canaletas para la conducción del agua hacia los drenajes.

Para los techos planos o muy poco inclinados, no es tan sencillo el manejo de la escorrentía de agua de lluvia, a su vez se suele cubrir la capa de drenaje con un fieltro o tela, impidiendo que el sustrato se haga lodo y pase al sistema de drenaje. Gernot Mike afirma que:

“La inclinación de la cubierta es decisiva para la construcción del techo verde y la elección del tipo de vegetación. En techos planos sin suficiente espesor de sustrato y sin capa de drenaje, suele presentarse un problema: se producen con fuertes lluvias, estancamientos de agua, lo que para muchas plantas es perjudicial, principalmente para los pastos, ya que la respiración de la raíz es severamente dañada. (...)Para lograr un costo razonable, la construcción del techo debería tener una inclinación mínima del 5%, porque así no es necesario un drenaje especial”



Figura N°6 Paneles de irrigación y drenaje. (Fuente: Sustainablebuild).

Uno de los avances tecnológicos más importantes dentro de los Techos Verdes son los paneles de irrigación y drenaje, como se aprecia en la Figura N°6, el mismo sirve de reservorio de agua para el Techo Verde y a su vez como drenaje cuando el mismo está saturado. En la actualidad existen en el mercado diferentes opciones en este tipo de paneles, adaptadas para cada tipo de Techo Verde. Son fabricados con resinas plásticas de alta resistencia, durabilidad y ligeros.

II.4.3 Capa anti raíz

Es una barrera geotextil que impide el paso de las raíces a la membrana impermeable, ya que las plantas a través de las raíces buscan estratos más profundos para obtener agua, nutrientes y un mayor soporte. Son comúnmente delgadas, pero existen casos donde estas deben ser gruesas por la presencia de árboles, bambú y otras hierbas de gran vigorosidad. Independientemente de su grosor debe ser capaz de resistir a ácidos producidos por la descomposición de las plantas.

Se presentan en láminas de polietileno, material flexible y resistente a pinchazos manteniendo que las raíces no penetren el techo. Tales como fibras poliméricas, bien sea, polipropileno, poliéster, poliamidas, entre otros.

Como lo indica Acuña y Estevez, se dividen en dos tipos de geotextiles:

- No tejidos: son capaces de filtrar el agua, y evitar el paso de pequeñas raíces.
- Tejidos: su propiedad fundamental es la gran capacidad de resistir fuerzas a tracción para pequeñas deformaciones, inclusive en mayor magnitud que los no tejidos, y cumpliendo la función de filtrar agua y retener raíces, sin embargo, la capacidad permeable es menor.

Se debe tener mucho cuidado en la instalación de esta capa, debido a que existen microorganismos capaces de encontrar puntos débiles en su instalación y por consiguiente rompiendo la capa, Mike en su trabajo afirma:

“Testeos de largos años muestran que las impermeabilizaciones de bitumen fueron atravesadas por raíces de distintas plantas de prueba (Pennigsfeld et al., 1981) y que ciertos microorganismos, que viven en las puntas de las raíces, pueden disolver materiales bituminosos e incluso en uniones pegadas se presentan perforaciones causadas por éstas. Se deduce entonces que no es siempre posible en la práctica realizar un sellado hermético perfecto. Si una rendija no está bien pegada o soldada, entra allí agua capilar, y pueden crecer dentro las puntas de raíces con sensores de humedad. También existen plantas cuyas puntas de raíces, cuando captan humedad, se fortalecen para poder atravesar las grietas o juntas a través del almacenaje de cristales de silicato. Por ese motivo los solapes de bandas o láminas deben ser soldados siempre con aire caliente o alta frecuencia. Si las membranas del techo no son resistentes a las raíces, la solución más sencilla es colocar sobre ellas una fina lámina de polietileno. De estas láminas hay de hasta 6 u 8 m de ancho. Si es necesario añadir la lámina, deberá preverse un solape de por lo menos 150cm, ya que en el solape se mantiene mucho tiempo agua capilar y las raíces crecerían dentro. Se deberá colocar debajo de la lámina un fieltro protector por seguridad”.

II.4.4 Membrana impermeable.

Su función principal es impedir filtraciones que ponen en riesgo la estructura y se coloca sobre la superficie del concreto.

Existen varias tecnologías aplicadas para impermeabilizar la cubierta de los edificios, pero en nuestro país las más comunes son el sistema de aplicación en caliente (altamente resistentes, utilizados para cualquier pendiente y se pueden combinar con mantos reforzados o telas de fibras de vidrio, impregnadas de asfalto) y en frío (también utilizadas en cualquier superficie de inclinación, vienen en varias presentaciones (líquida o en polvo) y permanecen elásticos a temperaturas altas y bajas) .

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

III.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación viene dada por la estrategia adoptada por el investigador para responder al problema planteado.

En nuestro caso emplearemos la espiral holística de Barrera (2000), la cual consiste de varias fases dentro del proceso de investigación, entre ellas:

1. Exploración, implica analizar en profundidad las investigaciones realizadas desde los orígenes hasta la actualidad, lo que nos indica cuales son los parámetros de calidad a evaluar y/o tomar en cuenta..
2. Descriptiva, consiste en identificar todas las variables en estudio y cuantificar sus características.
3. Analítica, consiste en fragmentar el objeto de estudio en todos sus elementos de tal forma conocer en profundidad cada variable constituyente.
4. Proyectiva, su objetivo es diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones

III.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Es una Investigación De Campo, debido a que en el sitio se tomaron datos de importancia, para proyectar la solución al problema y buscando así la implementación del techo verde.

Esta investigación es de tipo factible puesto que el resultado obtenido, una vez finalizado el proyecto, puede implantarse según las alternativas estudiadas.

De acuerdo a la dirección de la investigación, es un estudio de caso, por ser la representación completa de una unidad de estudio, a partir de todos sus variables constituyentes.

III.3 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ESTUDIO DE DISEÑO.

III.3.1 TÉCNICAS Y MÉTODOS A UTILIZAR.

III.3.1.1 OBSERVACIÓN DIRECTA.

Esta herramienta se usó para observar actividades, comportamiento de los estudiantes y objetos físicos que sirven para estudiar la dinámica que envuelve el

entorno en la actualidad, con ello se procede a analizar los datos obtenidos para definir y detectar fallas para luego proceder a realizar los requerimientos correspondientes en el proyecto. Adicionalmente, esta técnica permitió registrar información relacionada con el área designada para el proyecto, obteniendo referencias de interés e imágenes del sitio y sus alrededores.

III.3.1.2 ANÁLISIS Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se procedió al análisis del área de estudio donde se realizará la implantación del techo ecológico ubicado en la terraza de los laboratorios de biología y química de la ASOCIACIÓN CIVIL ESCUELA AGUSTIN CODAZZI, y la información climatológica y de temperaturas presentes durante las horas en que se dictan clases. Los datos en general, fueron valiosos para la realización de este Trabajo Especial de Grado y por ello se definieron las directrices y parámetros del sistema a desarrollar, así como revisión de bibliografía relacionada con el tema de estudio.

III.3.1.3 SELECCIÓN DE LAS VARIABLES

Se eligen las variables según la perspectiva, bien sea interna (sistema) o externa (entorno) que afectan directamente a este proyecto y el cual determina las acciones a formar por cada una de ellas. A continuación, se muestra un cuadro con la información de cada una de las constantes:

Ubicación	Variables	Función
Entorno	Físico-ambientales	Determinan factores naturales que son de conocimiento importante para determinar el tipo de diseño arquitectónico se realizará según las condiciones ambientales que dominan en la zona que son de vital importancia como por ejemplo los cambios climáticos, los vientos, la temperatura, precipitaciones, asolamiento, entre otras.
	Flujos	Se establecen las condiciones climáticas que existen en el exterior y en el interior de los laboratorios así como, la evaluación de la infraestructura física.
	Demografía	Estipula según la cantidad de la población en general, la magnitud del diseño a realizarse, además el total de la comunidad sirve para determinar la proyección que tendrá este proyecto en los años venideros.
	Infraestructura	Necesario a la hora de determinar los servicios de laboratorios en la edificación
	Estructura Urbana	Define los parámetros referentes a la edificación y todos los elementos que delimitan el perímetro.
Sistema	Físico-Ambientales	Determina los elementos naturales propios del área a intervenir, que van a definir las condiciones en las que se encuentra el sistema.
Ubicación	Variables	Función
	Estructura Urbana	Establece el mobiliario urbano existente.
	Infraestructura	Determina la ubicación exacta de los puntos destinados a la conexión del entorno con el sistema, en el contexto de los servicios públicos.
	Flujos	Permiten ubicar la accesibilidad de la que puede gozar la estructura a intervenir
	Económica	Determina el costo de la inversión del proyecto.

Tabla N°2 Selección de Variables.

III.4 MEDICIONES AMBIENTALES

Para poder determinar los parámetros ambientales predominantes en la actualidad de la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi se realizaron las siguientes mediciones de temperatura en el techo y en los espacios debajo del techo.

Estas mediciones se realizaron a través de un termómetro ambiental que arrojó los datos necesarios para cumplir con el objetivo; a su vez los registros climatológicos del área se obtuvieron de la página web WeatherSpark.com un software proporcionado por la compañía Cedar Lake Ventures Inc.

Los datos obtenidos del termómetro ambiental son los siguientes:

- Bulbo humedo (BH): indica la temperatura del aire humedo
- Bulbo seco (Bs): indica la temperatura ambiental del aire
- Globo: indica la exposición de calor en forma de radiación a la que está sometido un trabajador, ya sea por exposición directa al sol u objetos calientes en el entorno.
- Temperatura global de bulbo humedo (TGBH): es una temperatura basada en las medidas de los tres sensores que posee el termómetro. Se calcula de la siguiente manera:

1. $TGBHi = 0,7Bh + 0,3Globo$. Representa la temperatura interna.
2. $TGBHe = 0,7Bh + 0,2Globo + 0,1Bs$. Representa la temperatura externa.

- Humedad relativa (H.R): Representa en porcentaje la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.
- Índice temperatura (I.T): Representa el calor que siente una persona promedio con las condiciones climáticas presentes tomando en cuenta la temperatura obtenida por el Bs y la humedad relativa.
- Batería (Bat): Indica la batería del dispositivo en voltios, el manual recomienda hacer las mediciones con 6,4v o más.
- Memoria (Men) : Representa la memoria disponible en días.

Para esta investigación los datos de mayor relevancia son el TGBH, H.R y I.T, para determinar la posibilidad del techo verde.

Las mediciones se realizaron en 3 días durante el periodo de Semana Santa, fecha idónea para estas mediciones ya que esta fecha representa la época de mayor temperatura en el año (verano).

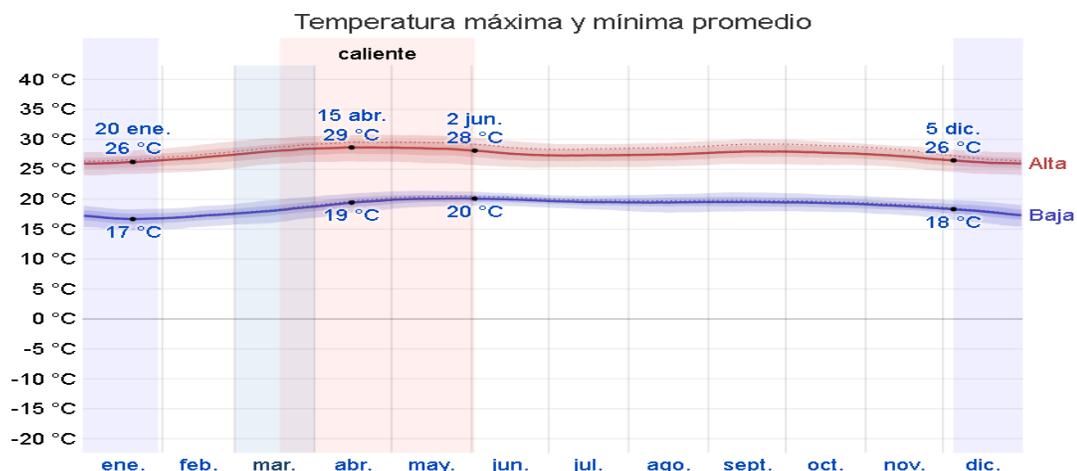
El edificio está conformado por dos plantas y cada planta posee 2 salones. Se realizaron las mediciones en el techo y en planta inferior al techo. En cada salón se tomaron 5 puntos de mediciones, mismos puntos tomados para el techo, es decir 10 en la planta inferior y 10 en el techo.

La metodología implementada fue la siguiente: 3 turnos de medición 8:00am, 12:00am y 4:00pm. Cada turno consiste en 20 mediciones, de 5 min. de duración cada una.

III.4.1Clima en Caracas

Los datos obtenidos por la página web WeatherSpark son los siguientes:

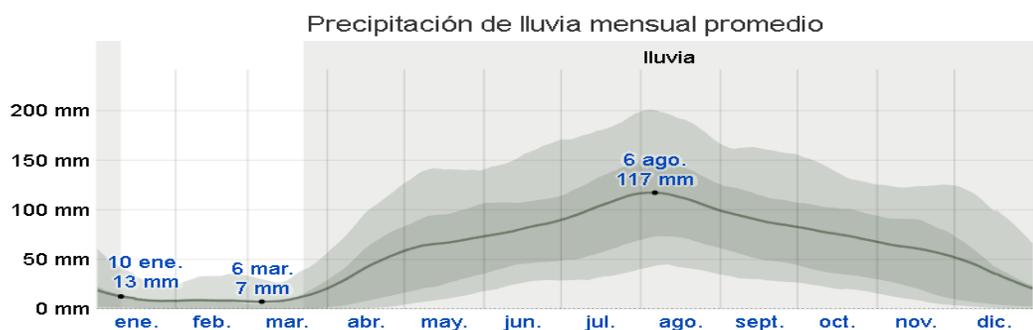
En Caracas, la temperatura generalmente varía de 17°C a 29°C, es decir caliente durante casi todo el año. La temporada fresca dura del 5 de diciembre al 30 de enero y la temperatura máxima promedio diaria es de menos de 26°C. El día más frío del año es el 20 de enero, con una temperatura mínima promedio de 17°C y máxima promedio de 26°C. La temperatura templada dura 2,5 meses, del 18 de marzo al 2 de junio y la temperatura máxima promedio diaria es de más de 28°C. El día más caluroso del año es el 15 de abril, con una temperatura máxima promedio de 29°C y una temperatura mínima promedio de 19°C.



La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Grafica N°1 Temperatura máxima y mínima promedio en Caracas. (Fuente: WeatherSpark.)

La temporada de lluvia dura 9,6 meses, del 22 de marzo al 10 de enero, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 6 de agosto, con una acumulación total promedio de 117 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 2,4 meses, del 10 de enero al 22 de marzo. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 6 de marzo, con una acumulación total promedio de 7 milímetros.



La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es el equivalente de nieve en líquido promedio correspondiente.

Gráfica N°2 Precipitación de lluvia mensual promedio en Caracas. (fuente: WeatherSpark).

III.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

III.5.1 Configuración arquitectónica de la edificación.

El edificio de Laboratorios de la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi es una estructura de tipo académica, compuesta de 2 plantas y una azotea. Cada planta está constituida de 2 laboratorios, biología y física en la primera planta y biología y química en la segunda planta. Actualmente no existen escaleras que permitan el acceso al techo, por lo cual se debe contemplar su construcción para que el techo sea visitable.

Su ubicación geográfica se encuentra en Latitud 10° 30' 17.35" Norte y Longitud 66° 52' 27.93" Oeste, a una elevación de 931,164 metros (3055 pies) sobre el nivel del mar aproximadamente. En el **anexo N°1** se puede observar su ubicación a través de Google maps.

En el **anexo N°2** muestra una fotografía de la ubicación del edificio, dentro del campus de la institución.

La edificación cuenta con tuberías de aguas blancas y aguas negras en cada aula para surtir lavamos y ducha de seguridad del laboratorio de química y biología.

III.5.2 Área disponible de la azotea.

La azotea no posee ningún tipo de maquinaria u obstrucción, por ende el área disponible es el 100%. El **anexo N°5** muestra una fotografía de la azotea.

III.5.3 Parámetros estructurales de la edificación.

El punto más importante de esta investigación es la verificación estructural, para corroborar si es capaz de soportar el peso que constituye un techo verde, de lo contrario aportar las soluciones estructurales para la implementación del techo verde. Actualmente no existen escaleras que permitan el acceso al techo, por lo cual se debe contemplar su construcción para que el techo sea visitable.

La edificación está construida de concreto armado, con un f_c de 200 kg/cm², conformado por 3 pórticos, 3 tipos de columna y 6 tipos de viga. En general, todo el edificio fue construido con losas nervadas en una sola dirección.

Sus entrepisos miden aproximadamente 3 metros, y las vigas con mayor luz libre es de 4.20 metros. En el **anexo N°3 y N°4** se muestran los planos estructurales y en el **anexo N°6** el modelado en ETABS.

Para el estudio estructural se realizaron distintas mediciones, recolección de planos estructurales de diseño y arquitectónicos, que fueron analizados y modelados en el programa ETABS (Extend Tridimensional Analysis of Building System), programa de ingeniería estructural, el cual se basa en diseñar o analizar las estructuras aplicando las distintas normativas a nivel mundial. El programa analiza y diseña diferentes sistemas de edificaciones, actualmente es una herramienta que utilizan muchos ingenieros estructurales.

Esta edificación es una estructura existente desde el año 1980, por lo que hace más importante el chequeo de la norma, ya que con el paso de los años, han sucedido distintos incidentes en cuanto a sismos, fallas de edificios por carga vertical, fallas de vigas, losas, columnas, entre otros, que han traído como consecuencia el aumento en la exigencia de las normas venezolanas sismo-resistentes.

III.5.4 Criterios adoptados en el programa ETABS.

-Se Revisaron y verificaron los planos estructurales y arquitectónicos del Edificio de Laboratorios de la Unidad Educativa Escuela Agustín Codazzi.

- Se realiza el modelaje en ETABS versión 16.0.
- El desarrollo del modelado fue realizado bajo la normativa COVENIN 1756
- Se adoptaron los siguientes patrones de carga, de tipo permanente (Dead) el cual considera el peso de la edificación, tabiquería, frisos, acabados y techo verde; Variable (Live) para entre pisos y techo.
- Se agregaron patrones de carga sísmica, en los cuales se utilizaron sismo en dirección “X” y en “Y”, como sismo horizontal. Así como también, sismo en dirección “Z”, para sismo vertical.
- Se utilizaron los mismos materiales del diseño original, concreto estructural con una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y el acero de refuerzo con resistencia a la cedencia de $F_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$.
- Las combinaciones de carga utilizadas fueron las de Norma Venezolana COVENIN 1753-2006, tabla 9-3, “Combinaciones de solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente”, se tienen las siguientes combinaciones:

1. $U = 1,4CP$
2. $U = 1,2CP + 1,6CV$
3. $U = 1,2CP + CV$
4. $U = 1,2CP + CV \pm S$
5. $U = 0,9CP \pm S$

Se usaron factores en las masas que aportan cargas sísmicas. Para la carga variable se utilizó 0,25 y para la permanente 1.

- El Módulo de Elasticidad de la Tabiquería fue obtenido del trabajo especial de grado que tiene por nombre “Análisis de riesgo de viviendas informales de mampostería confinada de bloques de arcilla” de junio del 2015, el peso específico fue calculado mediante la norma “COVENIN-MINDUR 2002-88” de la página 25.
 - Módulo de elasticidad= 9663 kgf / cm^2 .
 - Peso Específico= 1400 kgf / m^3 .
 - Espesor: 20 cm.
- El valor de reducción “R” se tomó como 1 debido a que no cumple con todos los parámetros del capítulo XVIII, corroborando que el edificio no es dúctil.
- La tabiquería posee un mallado para simular los bloques de concreto como elementos finitos y no como un bloque macizo.
- El espectro de diseño fue el siguiente:
 - Zona sísmica 5

- Factor de reducción igual a 1
- Clasificación del edificio A

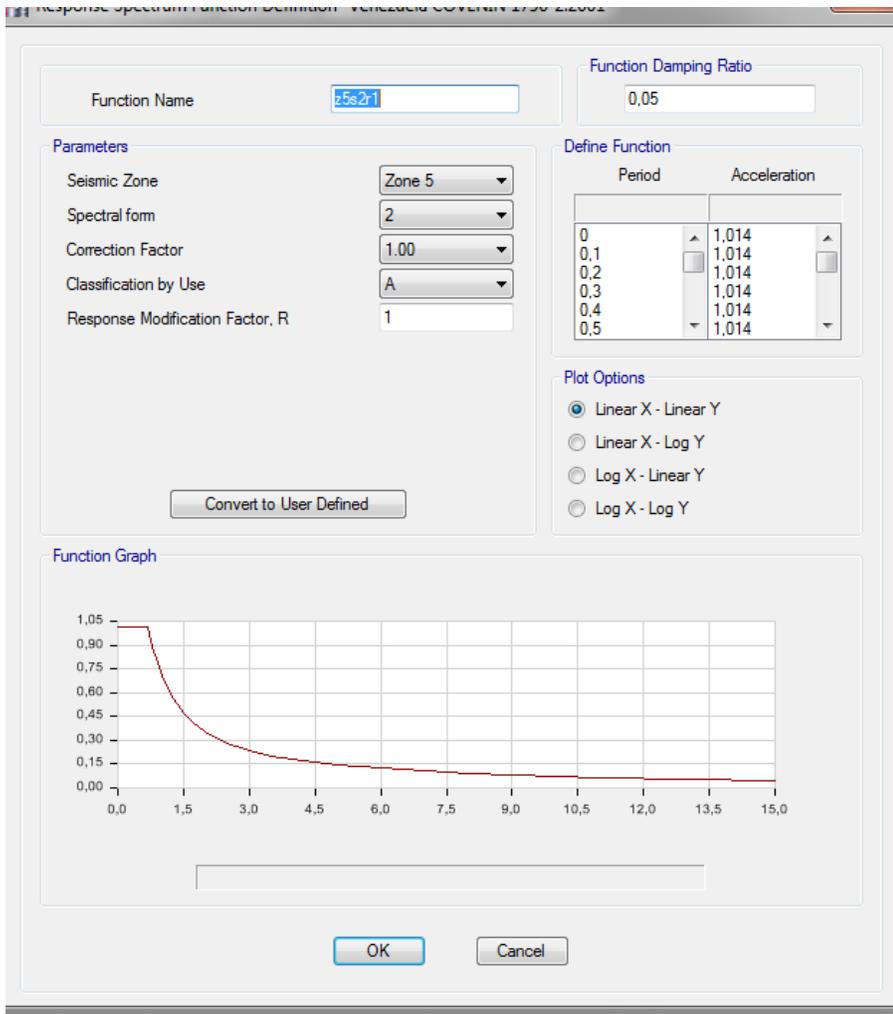


Figura N°7 Espectro de diseño. (Fuente Propia).

III.6 DISEÑO DE TECHO VERDE

III.6.1 Condiciones climatológicas

Finalizadas las mediciones de temperatura y los registros climatológicos de la zona donde se ubica el colegio, será seleccionada la

mejor alternativa de techo verde (drenaje, vegetación, área a utilizar, mantenimiento, entre otros).

III.6.2 Capacidad de la estructura.

Finalizadas las pruebas estructurales, será seleccionado el techo verde más favorable por peso a la estructura, sin que ello comprometa la estabilidad del edificio antes, durante o después de un sismo.

III.6.3 Objetivos del techo verde

Los objetivos que se buscan alcanzar con la instalación del techo verde en la Unidad Educativa Agustín Codazzi son:

Climatizar:

El edificio seleccionado no cuenta con vegetación cercana que pueda ofrecer una cubierta contra los rayos de luz, ocasionando un ambiente caluroso dentro de sus instalaciones. Con la instalación del techo verde se busca dar una solución a esta problemática.

Estético:

Esta nueva tecnología ecológica, aparte de los beneficios antes mencionados aporta cierto valor estético a la estructura, lo cual puede ocasionar visitas académicas de otros colegios o universidades, otorgando un prestigio al colegio Agustín Codazzi.

Drenaje:

El sistema de drenaje que posee la azotea es adecuado para la implementación del techo, ya que la vegetación presente se encargaría de absorber gran parte del agua procedente por lluvia.

Educativo:

Esta nueva tendencia ecológica tiene gran importancia a nivel mundial. En Venezuela existe un gran desconocimiento sobre el tema y un techo verde en la institución puede atraer la atención de la comunidad. Sería recomendable que se implementara una nueva materia en los colegios enfocado en la parte ambiental y a su vez también podría ser útil en otras materias como biología, química y física.

Alternativas de Techo verde.

Las alternativas de techo verde se pueden apreciar en la tabla n°1, expuesta anteriormente, donde se puede inferir que para cumplir con los objetivos, la mejor alternativa sería el techo verde intensivo, el cual otorga una mayor cubierta vegetal a la estructura, estética y fines educativos. No obstante tiene en contra la elevada carga que se añadiría a la estructura y un elevado mantenimiento, lo que ocasionaría un alto costo para el colegio; por ello la segunda alternativa, techo verde extensivo, debería ser la solución más

práctica.

III.7. Techos verdes en Venezuela

En Venezuela existen solo dos ejemplares de techos verdes ubicados en la ciudad de Caracas.

El primero fue inaugurado en Noviembre del 2011 en el auto mercado Central Madeirense, situado en Santa Fe, posee un área de 5000m² de techo verde y un sistema de drenaje que recolecta aguas de lluvia, para luego ser utilizadas en excusados, urinarios y riego.



Figura N°8 Techo Verde auto mercado CM. (Fuente: Noticiero digital).

El segundo fue inaugurado el 2 de marzo del 2013 en la biblioteca de los Palos Grandes en la azotea de la sala Eugenio Montejo, posee un área de 124m², amplia variedad de vegetación y ha traído grandes beneficios a la biblioteca y a la comunidad.

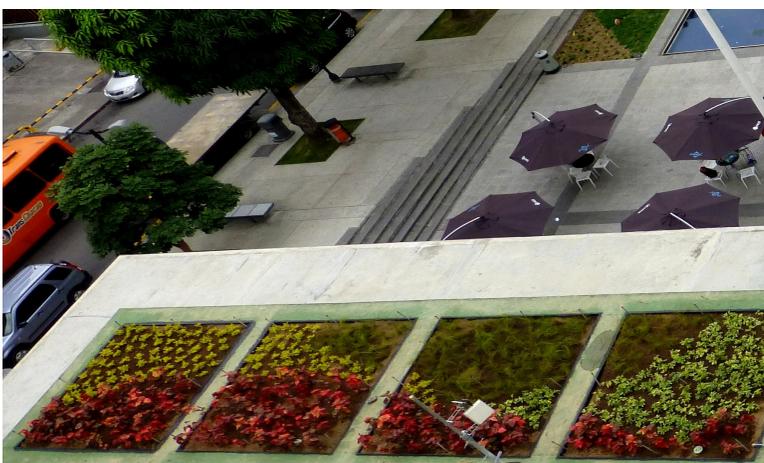


Figura N°9 Techo Verde Biblioteca los Palos Grandes. (Fuente: Camara construcción del Zulia).

CAPITULO IV

Resultados y Análisis de resultados.

IV.1 Análisis de temperatura

Las mediciones efectuadas se presentan en gráficas para una mayor apreciación. A continuación se muestra la temperatura en la azotea para las diferentes horas del día.

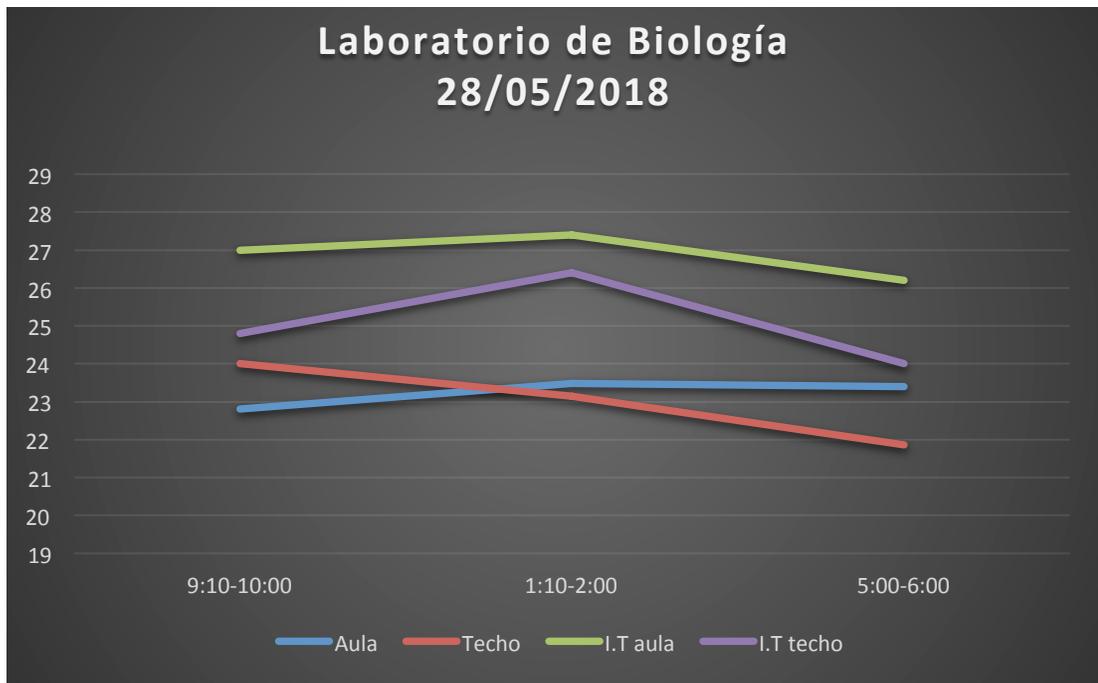
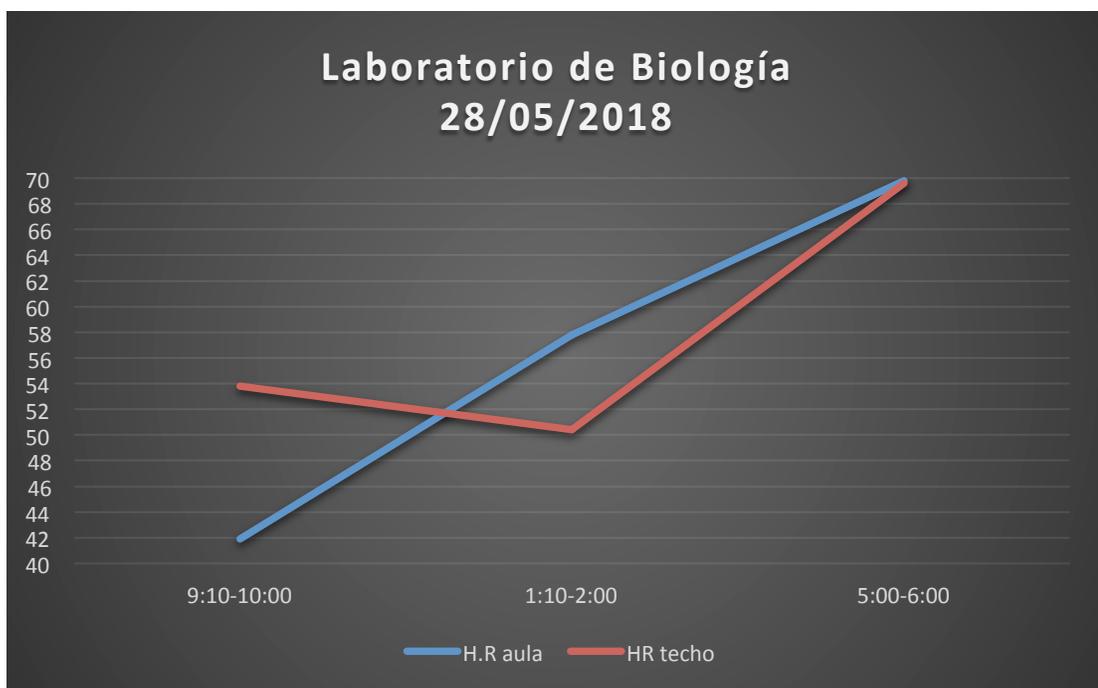


Gráfico N°3 Medición de temp. e I.T. (Índice de Temperatura) en Laboratorio de biología y techo (Día 1).



Grafica N°4 Medición de H.R. (humedad relativa) en Laboratorio de biología y techo (Día 1).

A tempranas horas de la mañana se puede apreciar que la temperatura ambiental del aula es un poco menor al de la azotea, sin embargo a medida que pasan las horas esta tendencia va cambiando debido a que ese día fue un poco nublado ocasionando que la radiación solar fuera disminuyendo.

Con respecto al índice de calor, la temperatura del aula fue superior al del techo en todo el día debido a que la temperatura seca del aire era mayor.

En las gráficas se ve reflejado que el índice de calor tanto del aula como del techo es mucho mayor (3 grados) a la temperatura ambiental esto es ocasionado por el alto porcentaje de humedad relativa del aire de ese día nublado.

Día 1

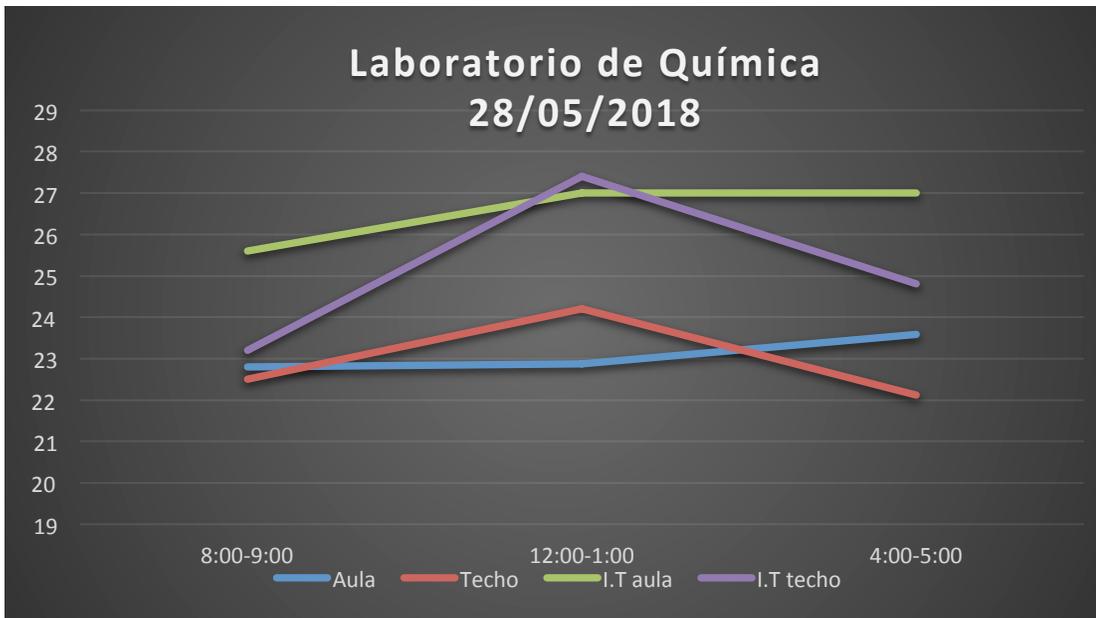


Gráfico N°5 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 1)

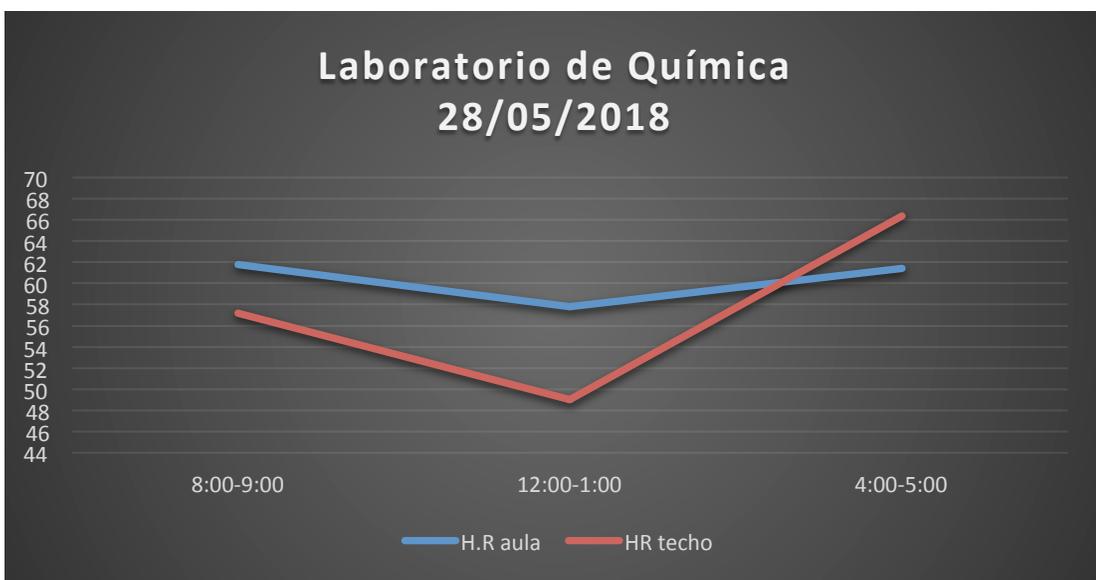
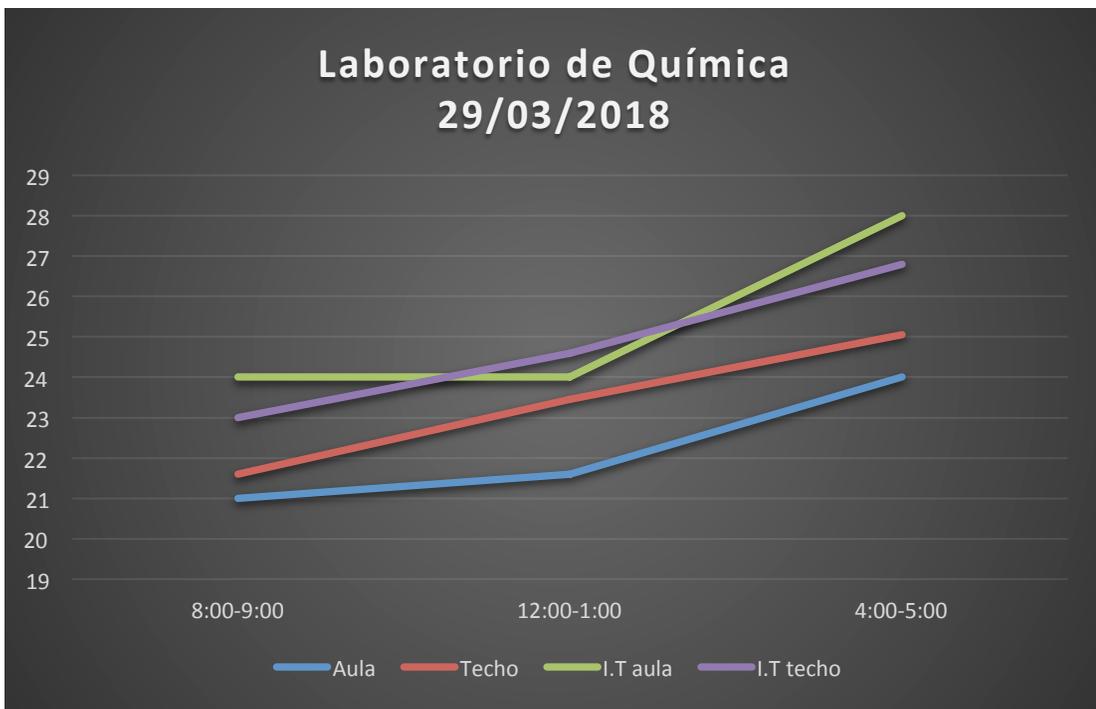


Gráfico N°6 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 1)

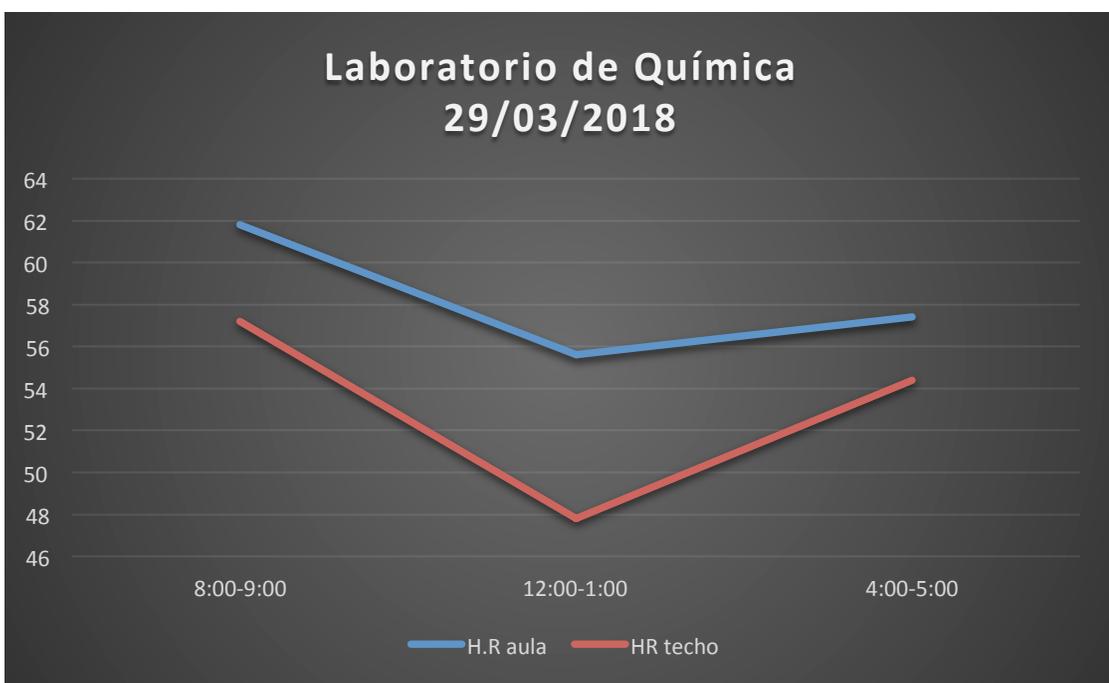
Como se mencionó anteriormente, en la mañana la diferencia de temperatura ambiental no varía mucho entre la azotea y el salón, siendo al final del día mayor la temperatura ambiental del aula. En lo referente al índice de calor se mostró el mismo comportamiento en el laboratorio de biología.

De igual manera, se confirma que la temperatura ambiental es menor al índice de temperatura tanto en el techo como en los salones.

Día 2



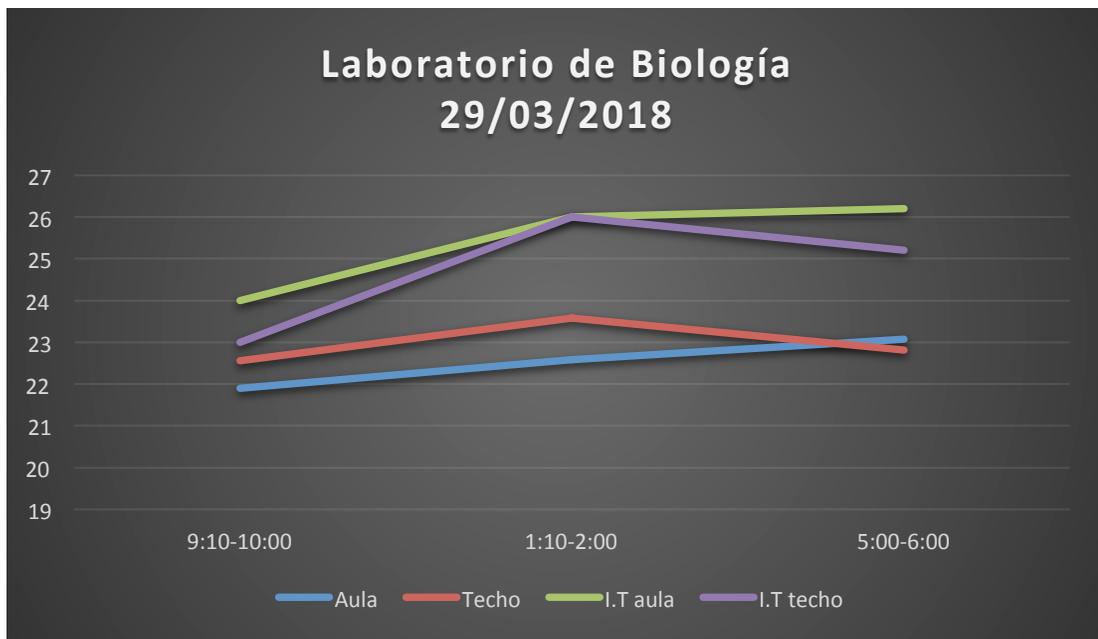
Grafica N°7 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 2)



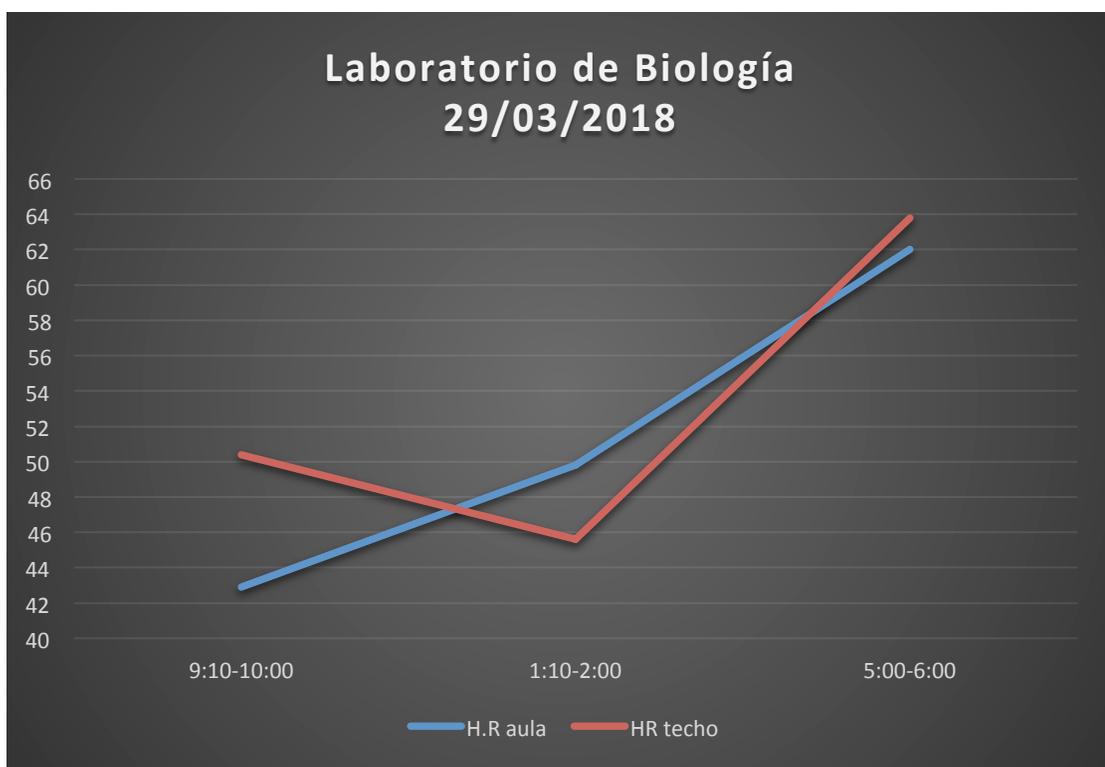
Grafica N°8 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 2)

Desde el comienzo del día se pudo observar un cielo despejado y esto se ve reflejado en el aumento de temperatura ambiental de la azotea y en la disminución de la humedad relativa a lo largo de la jornada. En el salón la temperatura es ligeramente menor debido a la presencia de paredes y techo.

A su vez, se ve este mismo comportamiento en el índice de temperatura tanto del aula como del techo, con temperaturas de 24°C al mediodía y al final del día de 28°C dentro del aula.



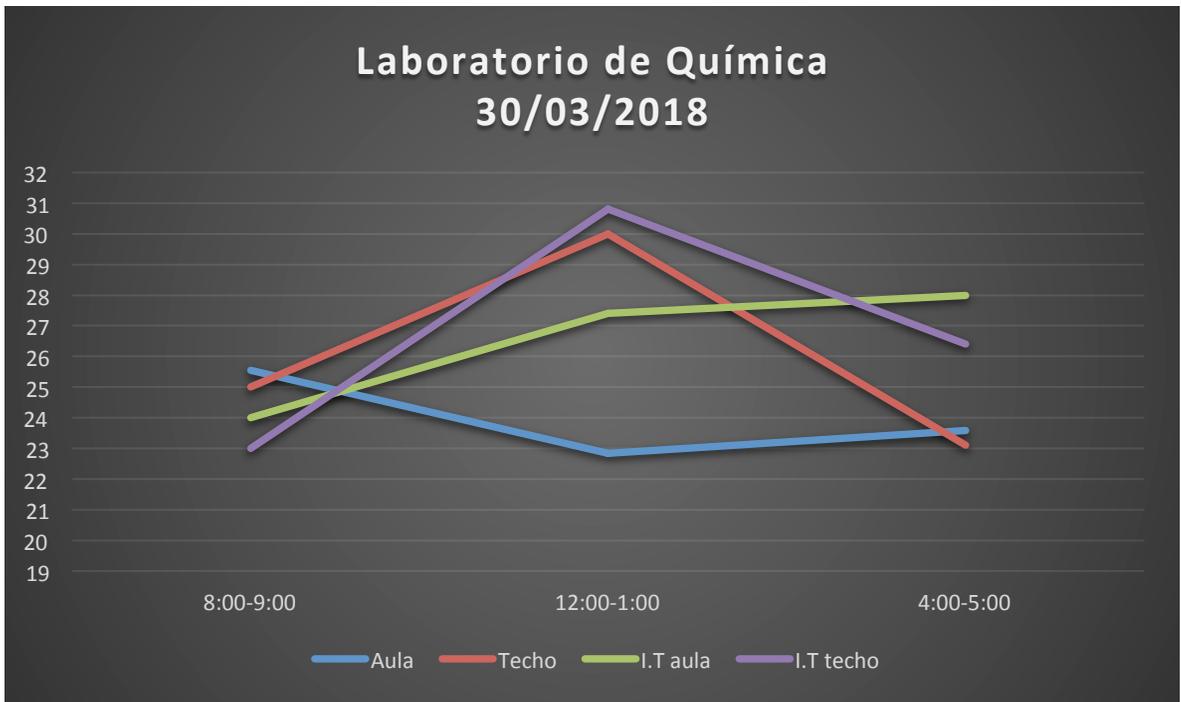
Grafica N°9 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de biología y techo (Día 2)



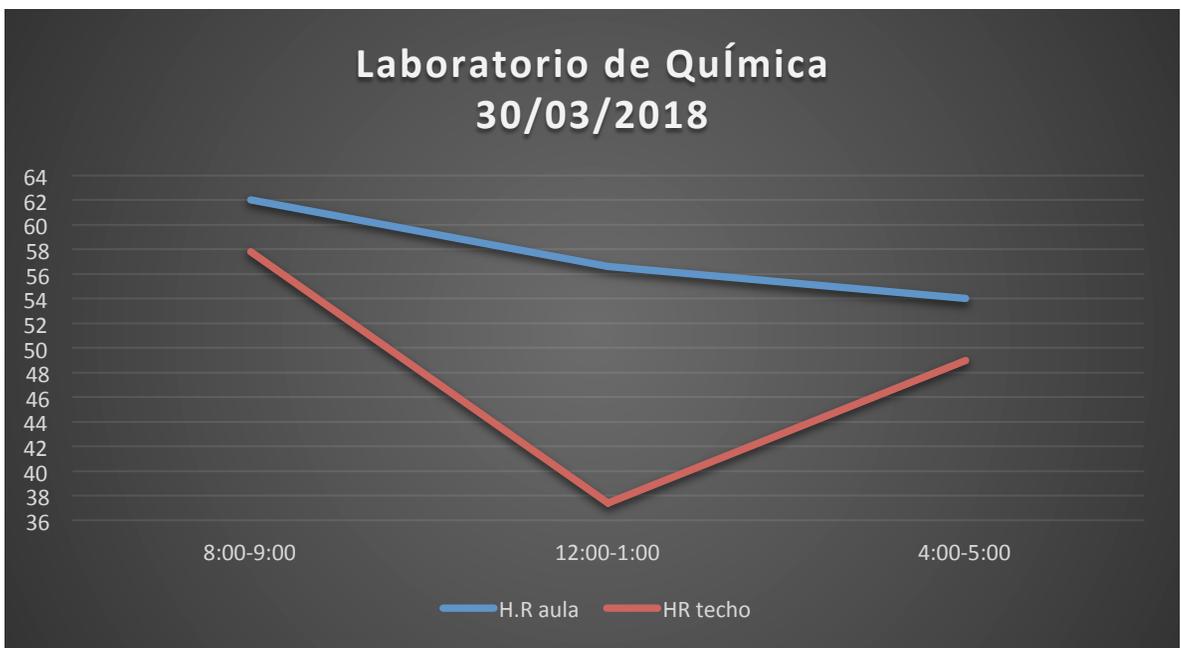
Grafica N°10 Medición de H.R. en Laboratorio de biología y techo (Día 2)

En este laboratorio se puede apreciar el mismo comportamiento que en el laboratorio de química. Existe una diferencia con respecto a la humedad relativa siendo un 10% mayor en el techo y un 5% mayor dentro del aula para el final del día, sin embargo la sensación térmica es menor con respecto al laboratorio de química.

Día 3



Grafica N°11 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de química y techo (Día 3)

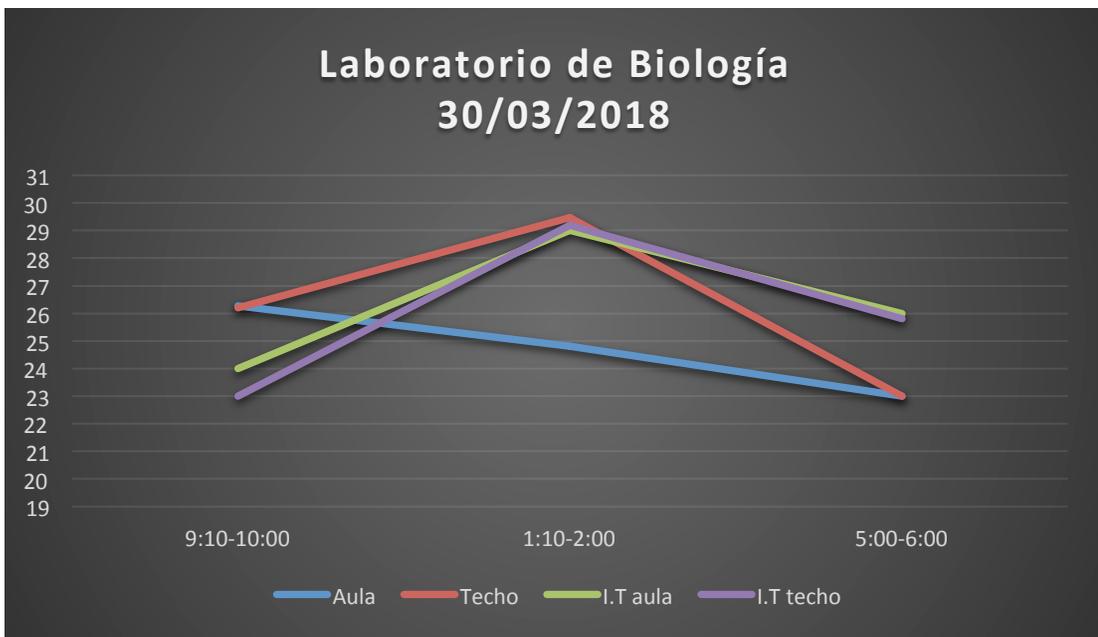


Grafica N°12 Medición de H.R. en Laboratorio de química y techo (Día 3)

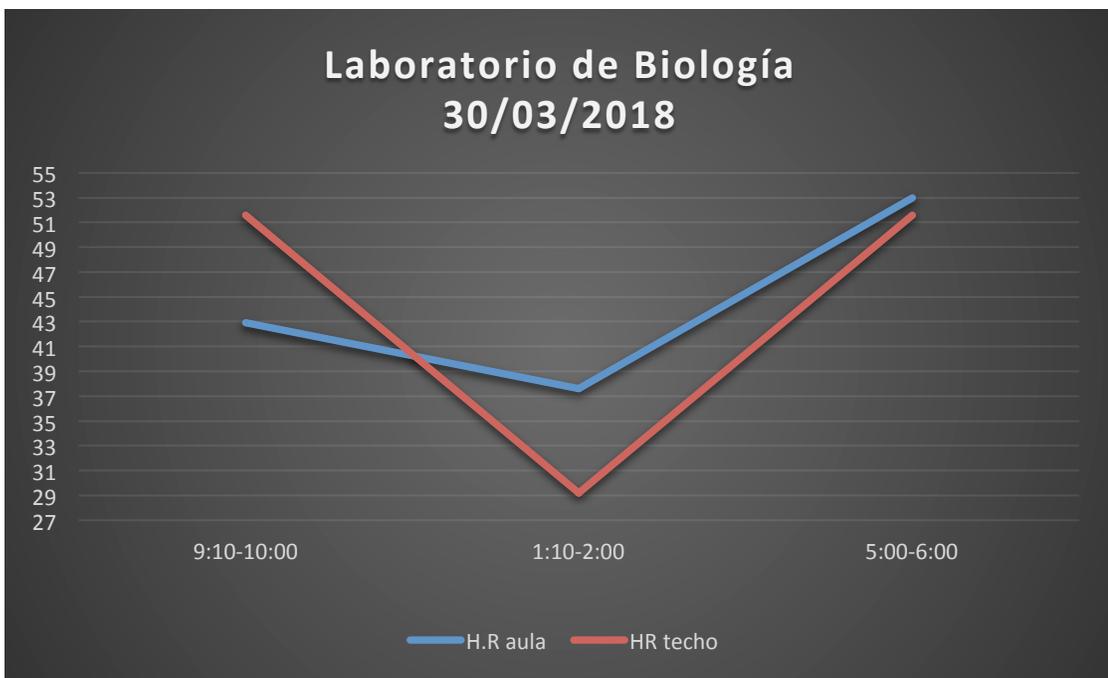
Se pudo apreciar que este día iba a ser igual que el anterior, con un cielo muy despejado, obteniendo una temperatura global de 30°C en el techo producto de la radiación solar, mientras que en el salón se obtuvo una temperatura ambiental promedio de 23°C.

Por primera vez en los 3 días de estudio se pudo apreciar que la sensación térmica del techo y su temperatura ambiental eran muy parecidas, solo al final del día se pudo observar una notable diferencia y esto debido al aumento de la humedad relativa del techo y la disminución de la radiación del calor debido a la hora (5pm).

Sin embargo la humedad relativa del salón se mantuvo en porcentajes más elevados con respecto a la azotea, ocasionando que la sensación térmica del aula sea mucho más alta (28°C), que la temperatura ambiental del mismo.



Grafica N°13 Medición de temp. e I.T. en Laboratorio de biología y techo (Día 3)



Grafica N°14 Medición de H.R. en Laboratorio de biología y techo (Día 3).

El laboratorio de biología obtuvo los valores más bajo de humedad relativa del estudio llegando a un porcentaje de 30% en el techo al mediodía, al mismo tiempo la temperatura ambiental llegó a 29°C así como su índice de temperatura y el índice de temperatura del aula.

No obstante, la temperatura ambiental del salón fue disminuyendo su valor inicial en la mañana, caso contrario del índice de temperatura que fue en aumento hasta mediodía para luego disminuir a medida que iba culminando la jornada de investigación. El aumento de la temperatura ambiental y los índices de calor se deben a la radiación solar, el aula al no estar expuesta al sol debido al techo y con un bajo porcentaje de humedad ocasionó que fuera disminuyendo la temperatura.

Después de 3 días de estudio se puede decir que la temperatura ambiental es menor a los índices de calor tanto de la azotea como de los laboratorios, esto debido a la humedad relativa presente. No obstante cuando los porcentajes de humedad relativo son bajos, la temperatura ambiental es bastante alta y los índices de calor se mantienen elevados debido a la temperatura seca del aire y la exposición a la radiación solar.

Es por ello que a pesar de que el día esté nublado (mayor humedad relativa, menor radiación solar) o despejado (menor humedad relativa, mayor radiación solar) la sensación térmica dentro del aula siempre tendrá valores por encima de los 24°C.

En la siguiente tabla se puede apreciar de mejor manera los promedios de índice de calor, la humedad relativa y temperatura ambiental de los laboratorios obtenidos en la investigación.

Laboratorio Quimica 28/03/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
8:00-9:00	22,8	22,5	25,6	61,8
12:00-1:00	22,88	24,2	27	57,8
4:00-5:00	23,58	22,12	27	61,4
29/3/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
8:00-9:00	21	21,6	24	61,8
12:00-1:00	21,6	23,46	24	55,6
4:00-5:00	24	25,06	28	57,4
30/3/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
8:00-9:00	25,54	25	24	62
12:00-1:00	22,84	30	27,4	56,6
4:00-5:00	23,58	23,1	28	54

Tabla N°3 Índice de calor, H.R. y temperatura ambiental en lab. de química

Laboratorio de Biologia 29/03/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
9:10-10:00	22,8	24	27	41,9
1:10-2:00	23,48	23,14	27,4	57,8
5:00-6:00	23,4	21,86	26,2	69,8
29/03/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
9:10-10:00	21,9	22,56	24	42,9
1:10-2:00	22,58	23,58	26	49,8
5:00-6:00	23,08	22,82	26,2	62
30/03/2018.				
	Temp Aula °C	Temp Techo °C	I.T aula °C	H.R aula %
9:10-10:00	26,28	26,2	24	42,9
1:10-2:00	24,8	29,46	29	37,6
5:00-6:00	23	23	26	53

Tabla N°4 Índice de calor, H.R. y temperatura ambiental en lab. de biología

El promedio de sensación térmica y humedad relativa de los laboratorios es de 27 °C (80°F) y 56% respectivamente, estos valores según el índice de calor del Servicio Meteorológico Nacional de Illinois ya causan incomodidad.

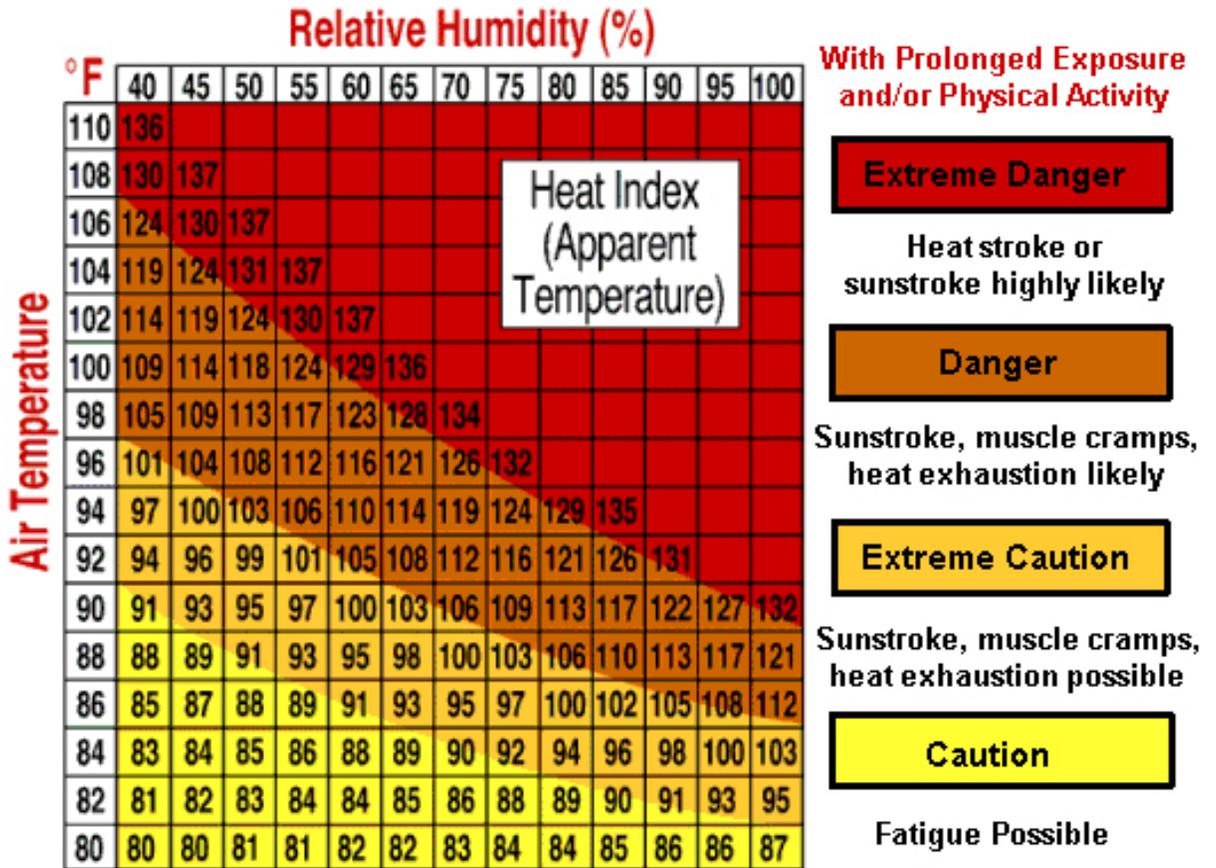


Figura N°10 Relación de Humedad relativa vs temperatura ambiental. (Fuente: National Weather Service).

Tomando en cuenta el índice de error del termómetro (+/- 0,5°C ; +/- 5%) y que se realizaron entrevistas no estructuradas al personal docente, alumnos, personal de limpieza que frecuentan los laboratorios, nos indicaron que este año no había sido tan caluroso con respecto a años anteriores; por ende se justifica la implementación de un techo verde con la intención de disminuir los índices de calor dentro de la estructura.

A su vez, en la Tabla N°3 y N°4 se puede apreciar levemente como el concreto desprende lentamente el calor obtenido, razón por la cual al finalizar la tarde la temperatura ambiental dentro de los laboratorios siempre es más elevada que en el techo.

Una vez instalado el techo verde, se debería medir la temperatura en la azotea y dentro del aula para verificar cuanto es el gradiente de temperatura en un clima tropical.

IV.2 Análisis de la estructura según COVENIN 1753-2006.

Para la revisión de la capacidad de los elementos estructurales, se basó en el capítulo XVIII de la norma COVENIN 1753-2006, “PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL”. Por las Características de la edificación, el estudio se realizó con los parámetros de ND1, ya que no cumple con los estándares necesarios para ser considerada una estructura de ND3 o ND2, debido a:

- Posee vigas en una dirección.
- En las columnas existen empalmes dentro de la longitud de confinamiento, cuando estas deberían estar colocadas en el tercio central.
- Columnas no poseen estribos en el tercio central y longitud de confinamiento.
- Columnas no cumplen con la longitud de confinamiento y separación de estribos según la norma.
- Problemas de columna corta.

IV.3 Verificación de columnas y vigas

El análisis de las columnas en estudio, se realizó suministrando las secciones de columna al programa, de manera que se procedió a diseñar las mismas, de esta forma el software proporcionaba el acero necesario según la norma. Esta información fue comparada con el acero real de los planos estructurales de diseño de la edificación, para así poder obtener una capacidad de trabajo aproximada. En las siguientes tablas se presenta la verificación de acuerdo a la capacidad de trabajo de cada columna bajo las cargas mencionadas.

COLUMNAS

Nivel	Columna	Sección (cmxcm)	Separación real (cm)	Separación requerida (cm)	PMM %	Área Acero Real (cm ²)	Acero Requerido ETABS (cm ²)	Combinación de carga más desfavorable (q)	Capacidad de Trabajo (%)
1	B31	35X35	20	7	1.06	15.51	0.08	0,9CP ± S	0.52
	C31	35X35	20	6	1.27	15.51	0.097	0,9CP ± S	0.63
	B21	35X35	20	22	0.475	40.48	0.03	1,2CP ± Cv ± S	0.07
	C21	35X35	20	22	0.468	40.48	0.03	1,2CP ± Cv ± S	0.07
	B11	35X35	20	7	1.06	15.51	0.08	0,9CP ± S	0.52
	C11	35X35	20	6	1.27	15.51	0.097	0,9CP ± S	0.63
2	B32	30X30	20	25	0.43	15.51	0.025	0,9CP ± S	0.16
	C32	30X30	20	25	0.43	15.51	0.025	0,9CP ± S	0.16
	B22	30X30	20	25	0.57	15.51	0.025	1,2CP ± Cv ± S	0.16
	C22	30X30	20	25	0.54	15.51	0.025	1,2CP ± Cv ± S	0.16
	B12	30X30	20	25	0.43	15.51	0.025	0,9CP ± S	0.16
	C12	30X30	20	25	0.437	15.51	0.025	0,9CP ± S	0.16

Tabla N°5 Verificación de columnas sin Techo Verde.

Se puede observar que algunas columnas exceden levemente el límite de 1% de PMM, esto se debe a una falla que el programa cataloga como “O/S #35 Capacity ratio exceeds limit” esto significa que la columna falla por pandeo, estas columnas son las ubicadas en el primer piso, en los ejes “B1”, “C1”, “B3”, “C3”.

VIGAS

Nivel	Sección (cmxcm)	Viga		Acero Real (cm ²)			Acero Requerido ETABS (cm ²)			Combinación de carga más desfavorable (q)	Capacidad de Trabajo (%)		
				Apoyo 1	Centro	Apoyo 2	Apoyo 1	Centro	Apoyo 2		Apoyo 1	Centro	Apoyo 2
1	30x60	VAB11	As sup	7.92	7.92	7.92	0.13	1.86	3.69	1,2CP± Cv ± S	1.6	23.5	46.6
			As inf	3.96	3.96	3.96	0.14	1.14	1.74		3.5	28.8	43.9
	30x60	VBC11	As sup	7.92	7.92	10.45	5.79	1.24	5.42	1,2CP± Cv ± S	73.1	15.7	51.9
			As inf	3.96	3.96	6.49	3.7	1.99	4.84		93.4	50.3	74.6
	30x30	VCD11	As sup	10.45	10.45	2.53	2.41	0.44	0.4	1,2CP± Cv ± S	23.1	4.2	15.8
			As inf	6.49	6.49	2.53	0.51	0.73	0.7		7.9	11.2	27.7
	30x60	VAB21	As sup	11.4	11.4	11.4	0.59	2.95	5.42	1,2CP± Cv ± S	5.2	25.9	47.5
			As inf	5.7	5.7	5.7	0.5	0.31	0.13		8.8	5.4	2.3
	30x60	VBC21	As sup	11.4	11.4	21.06	6.78	0	6.41	1,2CP± Cv ± S	59.5	0.0	30.4
			As inf	5.7	5.7	9.66	3.66	5.42	4.29		64.2	95.1	44.4
	30x30	VCD21	As sup	21.06	21.06	3.96	5.9	2.41	1.33	1,2CP± Cv ± S	28.0	11.4	33.6
			As inf	9.66	9.66	3.96	0	1.86	1.15		0.0	19.3	29.0
30x60	VAB31	As sup	7.92	7.92	7.92	0.13	1.86	3.69	1,2CP± Cv ± S	1.6	23.5	46.6	
		As inf	3.96	3.96	3.96	0.14	1.14	1.74		3.5	28.8	43.9	
30x60	VBC31	As sup	7.92	7.92	10.45	5.79	1.24	5.42	1,2CP± Cv ± S	73.1	15.7	51.9	
		As inf	3.96	3.96	6.49	3.7	1.99	4.84		93.4	50.3	74.6	
30x30	VCD31	As sup	10.45	10.45	2.53	2.41	0.44	0.4	1,2CP± Cv ± S	23.1	4.2	15.8	
		As inf	6.49	6.49	2.53	0.51	0.73	0.7		7.9	11.2	27.7	
2	30x50	VAB12	As sup	5.94	5.94	5.94	0.07	1.28	2.6	1,2CP± Cv ± S	1.2	21.5	43.8
			As inf	5.94	5.94	5.94	0.08	0.7	1.03		1.3	11.8	17.3
	30x50	VBC12	As sup	5.94	3.96	8.47	3.9	0.5	3.52	1,2CP± Cv ± S	65.7	12.6	41.6
			As inf	5.94	5.94	8.47	2.02	1.14	1.83		34.0	19.2	21.6
	30x30	VCD12	As sup	8.47	8.47	2.53	2.41	0.53	0.28	1,2CP± Cv ± S	28.5	6.3	11.1
			As inf	8.47	8.47	2.53	0.54	0.6	0.55		6.4	7.1	21.7
	30x50	VAB22	As sup	7.92	7.92	7.92	0.37	3.39	4.5	1,2CP± Cv ± S	4.7	42.8	56.8
			As inf	5.7	5.7	5.7	0.28	0.92	0.95		4.9	16.1	16.7
	30x50	VBC22	As sup	7.92	7.92	11.88	5.09	0	4.42	1,2CP± Cv ± S	64.3	0.0	37.2
			As inf	5.7	5.7	9.66	3.57	4.42	2.96		62.6	77.5	30.6
	30x30	VCD22	As sup	11.88	11.88	3.96	5.54	2.47	0.62	1,2CP± Cv ± S	46.6	20.8	15.7
			As inf	9.66	9.66	3.96	0	1.19	0.56		0.0	12.3	14.1
30x50	VAB32	As sup	5.94	5.94	5.94	0.07	1.28	2.6	1,2CP± Cv ± S	1.2	21.5	43.8	
		As inf	5.94	5.94	5.94	0.08	0.7	1.03		1.3	11.8	17.3	
30x50	VBC32	As sup	5.94	3.96	8.47	3.9	0.5	3.52	1,2CP± Cv ± S	65.7	12.6	41.6	
		As inf	5.94	5.94	8.47	2.02	1.14	1.83		34.0	19.2	21.6	
30x30	VCD32	As sup	8.47	8.47	2.53	2.41	0.53	0.28	1,2CP± Cv ± S	28.5	6.3	11.1	
		As inf	8.47	8.47	2.53	0.54	0.6	0.55		6.4	7.1	21.7	

Tabla N°6 Verificación de vigas sin Techo Verde.

Las secciones de los elementos estructurales de vigas, se suministraron al programa, luego se realizaron distintas tablas, donde se muestra el acero necesario para la condición y combinación más desfavorable, el cual fue comparado con el diseño original obtenido de los planos estructurales del edificio.

En la tabla anterior se muestra la capacidad de trabajo de cada viga en forma de porcentaje, las vigas más propensas a fallar son la VBC11 y la VBC31 ambas con un porcentaje de trabajo de 93%. Sin embargo es menor al 100% por lo cual se acepta el chequeo de todos los elementos.

IV.4 Viga de refuerzo

Se evidencia que a falta de vigas en una dirección, los muros en esa dirección actúan como paredes portantes, lo cual ayuda a la resistencia estructural de la edificación, pero no es suficiente para garantizar el soporte estructural del techo verde. Se recomienda la instalación de un perfil IPN 280, como viga de refuerzo. En la siguiente figura se muestra donde se implementará las vigas de refuerzo

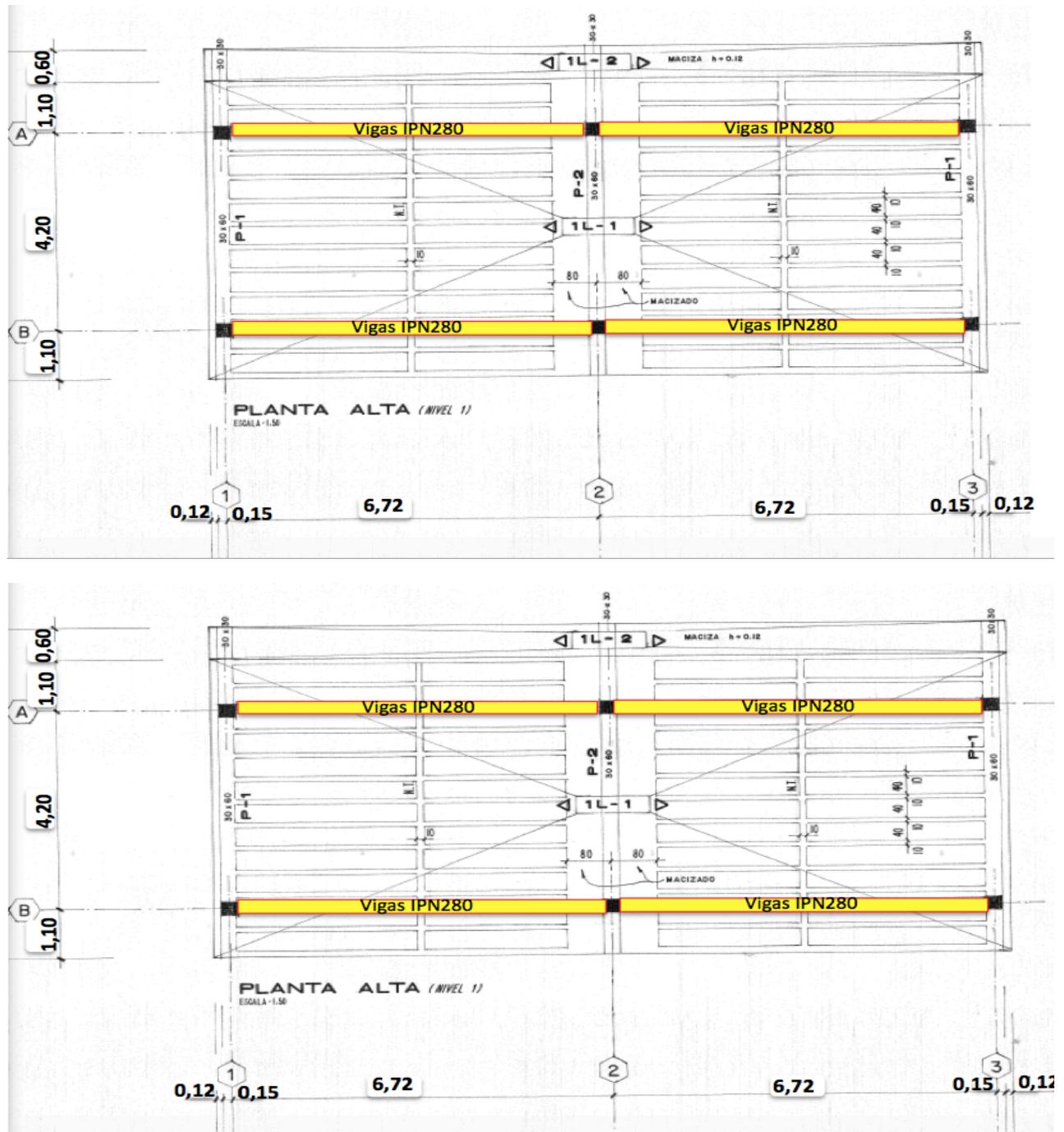


Figura N°11 Ubicación de la viga de refuerzo. (Fuente propia)

Los cálculos de resistencia y servicio de la viga se muestran en el **anexo N°7** y en el **anexo N°8** se muestra como será la conexión entre el perfil IPN280 y la columna.

IV.5 Verificación de columnas y vigas con refuerzos y con el techo verde.

Debido a los problemas estructurales que presenta la estructura el modelo de techo verde que se escogió fue el de tipo extensivo, ya que presenta una carga mucho menor (200kg/m^2), con respecto al intensivo (1200kg/m^2). El área destinada para su instalación no es el 100% de la azotea, se tiene que dejar un espacio para que los visitantes puedan caminar a su alrededor y de esta forma poder apreciarlo e interactuar con él. (en el **anexo N°9** se muestra un plano con las medidas destinadas al techo). Pero en el programa ETABS se modeló como si abarcara la totalidad del techo ya que no hay herramientas para que cumpla con este parámetro. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

COLUMNAS

Nivel	Columna	Sección (cmxcm)	Separación real (cm)	Separación requerida (cm)	PMM %	Área Acero Real (cm ²)	Acero Requerido ETABS (cm ²)	Combinación de carga más desfavorable (q)	Capacidad de Trabajo (%)
1	B31	35x35	20	8	1.09	15.51	0.08	0,9CP ± S	0.52
	C31	35x35	20	7	1.06	51.51	0.084	0,9CP ± S	0.16
	B21	35x35	20	22	0.541	20	0.0292	1,2CP± Cv ± S	0.15
	C21	35x35	20	22	0.538	20	0.0292	1,2CP± Cv ± S	0.15
	B11	35x35	20	8	1.09	15.51	0.08	0,9CP ± S	0.52
	C11	35x35	20	6	1.06	15.51	0.084	0,9CP ± S	0.54
2	B32	30x30	20	20	0.535	15.51	0.0323	0,9CP ± S	0.21
	C32	30x30	20	20	0.538	15.51	0.0313	1,2CP± Cv ± S	0.20
	B22	30x30	20	25	0.663	15.51	0.025	1,2CP± Cv ± S	0.16
	C22	30x30	20	25	0.676	15.51	0.025	1,2CP± Cv ± S	0.16
	B12	30x30	20	20	0.535	15.51	0.0323	0,9CP ± S	0.21
	C12	30x30	20	20	0.538	15.51	0.031	1,2CP± Cv ± S	0.20

Tabla N°7 Verificación de columnas con refuerzo y Techo Verde

VIGAS

Nivel	Sección (cmxcm)	Viga		Acero Real (cm ²)			Acero Requerido ETABS (cm ²)			Combinación de carga más desfavorable (q)	Capacidad de Trabajo (%)		
				Apoyo 1	Centro	Apoyo 2	Apoyo 1	Centro	Apoyo 2		Apoyo 1	Centro	Apoyo 2
1	30x60	VAB11	As sup	7.92	7.92	7.92	0.14	1.77	3.56	1,2CP±Cv±S	1.8	22.3	44.9
			As inf	3.96	3.96	3.96	0.15	1.06	1.62		3.8	26.8	40.9
	30x60	VBC11	As sup	7.92	7.92	10.45	6.31	1.44	5.55	1,2CP±Cv±S	79.7	18.2	53.1
			As inf	3.96	3.96	6.49	3.7	2.22	5.39		93.4	56.1	83.1
	30x30	VCD11	As sup	10.45	10.45	2.53	2.41	0.37	0.33	1,2CP±Cv±S	23.1	3.5	13.0
			As inf	6.49	6.49	2.53	0.53	0.61	0.56		8.2	9.4	22.1
	30x60	VAB21	As sup	11.4	11.4	11.4	0.61	2.44	4.81	1,2CP±Cv±S	5.4	21.4	42.2
			As inf	5.7	5.7	5.7	0.5	0.19	0.03		8.8	3.3	0.5
	30x60	VBC21	As sup	11.4	11.4	21.06	6.94	0	6.89	1,2CP±Cv±S	60.9	0.0	32.7
			As inf	5.7	5.7	9.66	3.84	5.42	4.57		67.4	95.1	47.3
	30x30	VCD21	As sup	21.06	21.06	3.96	5.73	2.39	1.38	1,2CP±Cv±S	27.2	11.3	34.8
			As inf	9.66	9.66	3.96	0	1.91	1.17		0.0	19.8	29.5
30x60	VAB31	As sup	7.92	7.92	7.92	0.14	1.77	3.56	1,2CP±Cv±S	1.8	22.3	44.9	
		As inf	3.96	3.96	3.96	0.15	1.06	1.62		3.8	26.8	40.9	
30x60	VBC31	As sup	7.92	7.92	10.45	6.31	1.44	5.55	1,2CP±Cv±S	79.7	18.2	53.1	
		As inf	3.96	3.96	6.49	3.7	2.22	5.39		93.4	56.1	83.1	
30x30	VCD31	As sup	10.45	10.45	2.53	2.41	0.37	0.33	1,2CP±Cv±S	23.1	3.5	13.0	
		As inf	6.49	6.49	2.53	0.53	0.61	0.56		8.2	9.4	22.1	
2	30x50	VAB12	As sup	5.94	5.94	5.94	0.08	1.19	2.59	1,2CP±Cv±S	1.3	20.0	43.6
			As inf	5.94	5.94	5.94	0.08	0.52	0.68		1.3	8.8	11.4
	30x50	VBC12	As sup	5.94	3.96	8.47	4.36	0.57	3.84	1,2CP±Cv±S	73.4	14.4	45.3
			As inf	5.94	5.94	8.47	2.08	1.37	1.81		35.0	23.1	21.4
	30x30	VCD12	As sup	8.47	8.47	2.53	2.41	0.4	0.13	0,9CP±S	28.5	4.7	5.1
			As inf	8.47	8.47	2.53	0.36	0.43	0.35		4.3	5.1	13.8
	30x50	VAB22	As sup	7.92	7.92	7.92	0.35	2.21	4.4	1,4CP	4.4	27.9	55.6
			As inf	5.7	5.7	5.7	0.22	0	0		3.9	0.0	0.0
	30x50	VBC22	As sup	7.92	7.92	11.88	5.52	0	5.25	1,2CP±Cv±S	69.7	0.0	44.2
			As inf	5.7	5.7	9.66	3.34	5.22	3.55		58.6	91.6	36.7
	30x30	VCD22	As sup	11.88	11.88	3.96	5.37	2.41	0.52	1,4CP	45.2	20.3	13.1
			As inf	9.66	9.66	3.96	0	1.29	0.43		0.0	13.4	10.9
30x50	VAB32	As sup	5.94	5.94	5.94	0.08	1.19	2.59	1,2CP±Cv±S	1.3	20.0	43.6	
		As inf	5.94	5.94	5.94	0.08	0.52	0.68		1.3	8.8	11.4	
30x50	VBC32	As sup	5.94	3.96	8.47	4.36	0.57	3.84	1,2CP±Cv±S	73.4	14.4	45.3	
		As inf	5.94	5.94	8.47	2.08	1.37	1.81		35.0	23.1	21.4	
30x30	VCD31	As sup	8.47	8.47	2.53	2.41	0.4	0.13	0,9CP±S	28.5	4.7	5.1	
		As inf	8.47	8.47	2.53	0.36	0.43	0.35		4.3	5.1	13.8	

Tabla N°8 Verificación de vigas con refuerzo y Techo Verde

Se puede observar que algunas columnas siguen excediendo levemente el límite de 1% de PMM, sin embargo se aprecia una mejora con la viga de refuerzo ya que a pesar de que las columnas están cargadas con el peso del techo verde el % de PMM de la columna C11 y C31 disminuyó considerablemente esto debido a la mejor distribución de fuerzas y momentos que ofrece el tener vigas en dos direcciones. Otra solución sería aumentar la sección de las columnas B31, C31, B11 y C11 a 60x60cm, colocando conectores de corte como refuerzo transversal y cabillas longitudinales que resistan el esfuerzo torsor. En el anexo N°16 se muestra el comportamiento del pórtico con esta nueva sección implementada.

En el caso de las vigas no varía mucho el modelo sin techo y con techo, todas las vigas continúan con un % de trabajo menor al 100%, razón por la cual se sigue aceptando el chequeo de todos los elementos.

El diseño estructural ideal para este edificio sería de que cumpliera con todo lo especificado en el capítulo XVIII de la norma COVENIN 1753-2006, ‘‘PROYECTO Y CONSTRUCCION DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL’’ según el

ND3, y debido a que es éste un colegio, es viable desde su diseño la construcción de una cubierta verde en la azotea.

IV.6. Techo verde implementado

Haciendo énfasis en la condición que se encuentra el edificio de Laboratorios de la institución, la opción escogida es la de un techo verde extensivo considerando los siguientes parámetros:

- **Carga:** Al ser un edificio viejo, no es conveniente agregarle una nueva carga que influya en la capacidad de diseño de la estructura, siendo la edificación construida según la norma COVENIN del año 1967.
- **Mantenimiento:** Los costos asociados al mantenimiento son bajos para este tipo de techo en general.
- **Espesor de sustrato y vegetación:** El espesor con este tipo de techo no supera los 15 cm, por ende la carga que aporta a la estructura no castiga de una manera elevada a la edificación.
- **Beneficios:** Disminución de la temperatura en la estructura, disminución de los costos eléctricos, crea una concientización de lo estudiantes sobre el impacto ambiental y mejora el ambiente.

VI.6.1 Área destinada para el techo verde.

El área está conformada por caminerías y vegetación.

-Caminerías

Poseerán un ancho adecuado, aproximadamente de 1m., para la visita de alumnos, docentes, personal administrativo y personal de mantenimiento.

-Vegetación

El área de la vegetación será de 52,98m² y el tipo de vegetación escogida se explicará más adelante.

-Barandas metálicas

Colocadas perimetralmente en el techo por seguridad del alumnado, visitantes y personal de mantenimiento.

IV.6.2 Tipo de Vegetación

El tipo de vegetación, como se mencionó anteriormente, depende del beneficio que deseamos obtener y en este caso es el de aislación térmica, por ello recomendamos utilizar vegetación de hierbas o pastos de diferente composición, como indica Mike:

Con los techos de pastos silvestres y vegetación de pasto hierba, con sustratos de 12 a 18cm, se logran los más densos colchones de vegetación con la mayor superficie de hoja verde y por lo tanto los mejores efectos de aislación térmica, de protección al calor del verano y limpieza del aire.

Aparte de la regulación térmica se pueden obtener otros beneficios como:

1. Crece naturalmente sin ser sembrada.
2. Se las arregla con un escaso espesor de sustrato desde 3 hasta 15 cm sin agua ni nutrientes, y forma una duradera y cerrada capa de plantas.
3. Puede sobrevivir sin cuidados.
4. Es resistente a la sequía y a las heladas.
5. Hierbas silvestres como tomillo, lavanda y claveles producen aromas agradables.

IV.6.3 Capa de Sustratos.

Debido al tipo de vegetación y a la limitación del peso la capa del sustrato recomendada será de 12 a 15cm de espesor para una vegetación de césped pobre y que posea las siguientes características:

- Es conveniente que el sustrato no contenga demasiado humus, puede emplearse arena para empobrecer la tierra o de utilizar tierra de suelo que no sea muy arcillosa.
- No debería tener más de 20% de arcilla y limo (granulometría hasta 0,06 mm).
- Empobrecer la tierra madre con 25 hasta 75 vol.% de minerales livianos de granulometría 0-16 mm, como por ejemplo piedra pómez, lava, pizarra expandida, arcilla expandida partida, material reciclado de ladrillos porosos de arcilla y piedra pómez.

IV.6.4 Capa de filtro.

Para esta capa se recomienda goma vulcanizada o geocompuestos para drenajes por no ser materiales importados, de no ser posible se buscará en el mercado internacional un filtro que se adapte a la capa de sustrato seleccionada.

IV.6.5 Capa de drenaje

La complejidad de este techo radica en la pendiente del techo, a simple vista se puede observar que la inclinación existente es menor al 5%, es por ello que se recomienda la acumulación de tierra, un desnivel de concreto o una correspondiente construcción de madera por debajo para alcanzar el desnivel deseado.

De esta manera, se puede ejecutar un techo verde de una sola capa, es decir no es necesario la capa de drenaje ya que el sustrato cumple con la función de almacenar agua y el de desviar el agua sobrante.

Para lograr esta función se le debe agregar al sustrato partículas de grano grueso, de material mineral poroso como, los que se ha recomendado, piedra pómez, pizarra expandida, arcilla expandida o escoria. Además, estas partículas tienen los siguientes efectos positivos: reducen el peso del sustrato, aumentan su efecto de aislación térmica, facilitan la respiración de las raíces y, a causa de su valor de pH, hacen efecto de tope contra la lluvia acida.

A su vez, debido a que la pendiente recomendada no es mayor a 20% no es necesario preocuparse por el deslizamiento del sustrato. Logrando un techo verde de fácil instalación y muy económica construcción.

IV.6.6 Capa anti-raíz

Para ahorrar en costos, se recomienda una capa de 0,8 o 1 mm del mismo material que se utiliza para toldo de camiones. Otra alternativa sería utilizar planchas negras de polietileno de alta densidad con espesor de 2mm, previamente soldadas en la fábrica con soldadura automática. Cualquiera de las 2 alternativas escogida debe ser ejecutada por empresas especializadas en su instalación.

IV.6.7 Capa impermeable.

Antes de sugerir una nueva capa, se comprobó el estado del manto asfáltico presente en la azotea y nos informaron que su instalación posee menos de 2 años, por lo cual no es necesario la instalación de una nueva capa impermeable.

IV.7 Mantenimiento

IV.7.1. Personal y equipo

Se requiere de un jardinero especializado con sus equipos respectivos

tales como: desmalezadora a gasolina, cuchara de jardinería, rastrillo, tijeras de jardinería, bolsas plásticas para recolección de desechos, y ocasionalmente material para fumigación.

IV.7.2 Poda de área verde

Los expertos recomiendan no cortar más de 1/3 de la longitud de las plantas, no cortar cuando está mojado en la caso de utilizar un cortacésped, debido a que el césped se amontona en la cuchilla y las hojas de las cuchillas no deben estar desgastadas ya que pueden ser el punto de entrada de organismos portadores de enfermedades a la planta y por ende debilitarla.

IV.7.3 Riego

En techos verdes de un denso colchón de pasto no es necesario regar ya que generan mucha humedad. En caso de ser necesario se puede instalar una llave de agua en la azotea y realizar un riego artificial por goteo.

Cabe destacar que éstas son algunas recomendaciones a raíz de la vegetación escogida, siempre será mejor contar con la ayuda de expertos en el area.

IV.8 Modelado propuesto del Techo verde.

Tomando en cuenta todo lo estudiado, se presenta a continuación el modelo propuesto final, gracias a la ayuda del software Revit.

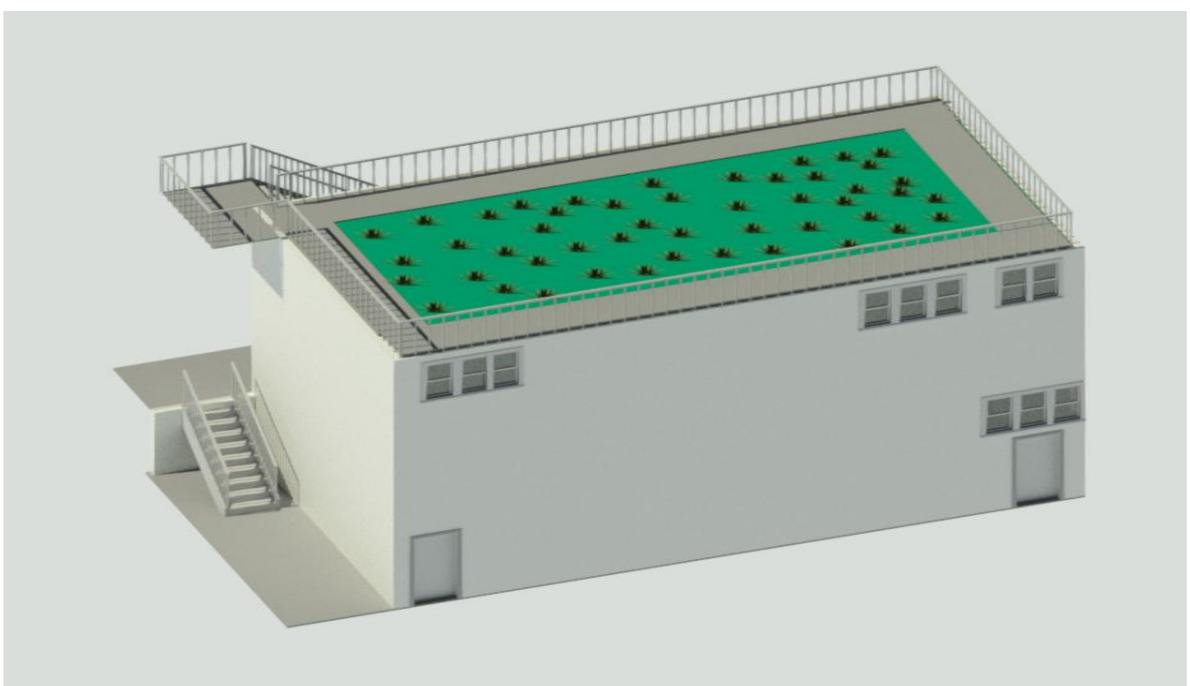


Figura N°12 Fachada principal del modelo final. (Fuente propia).

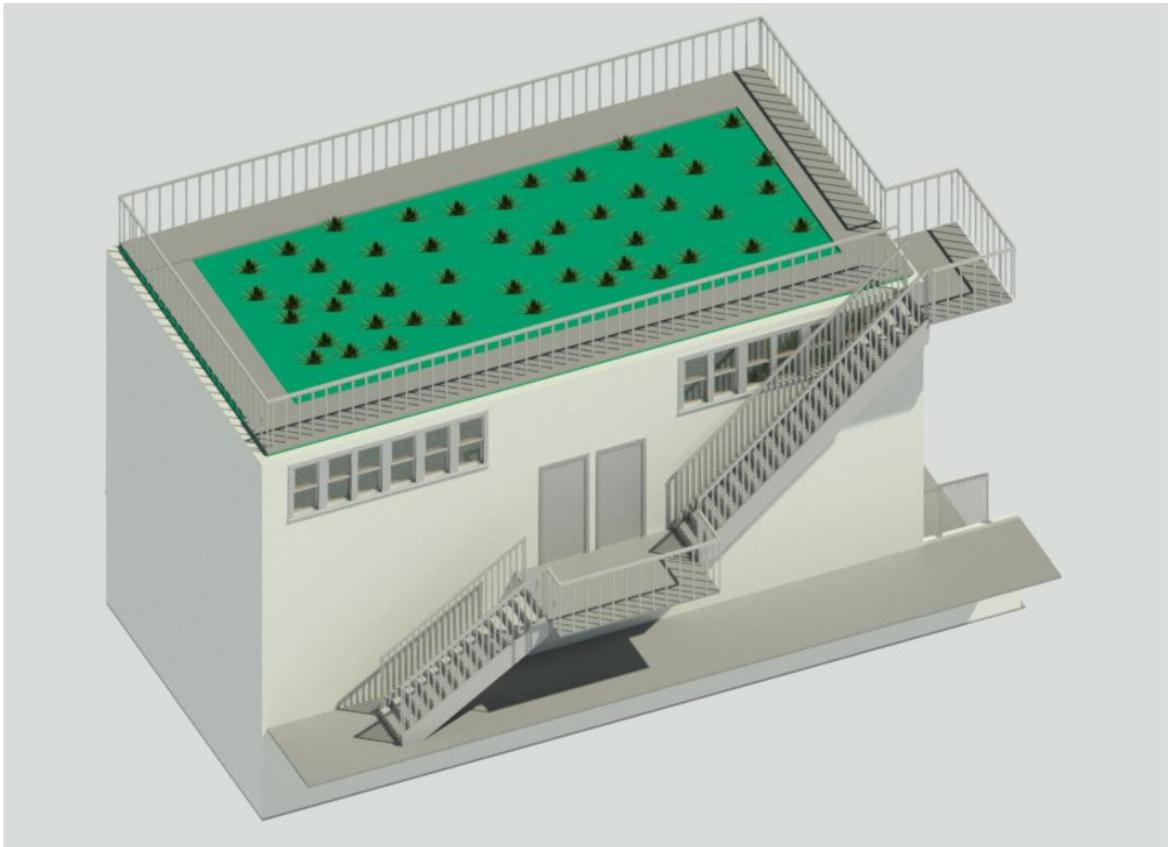


Figura N°13 Fachada posterior del modelo final (fuente propia).

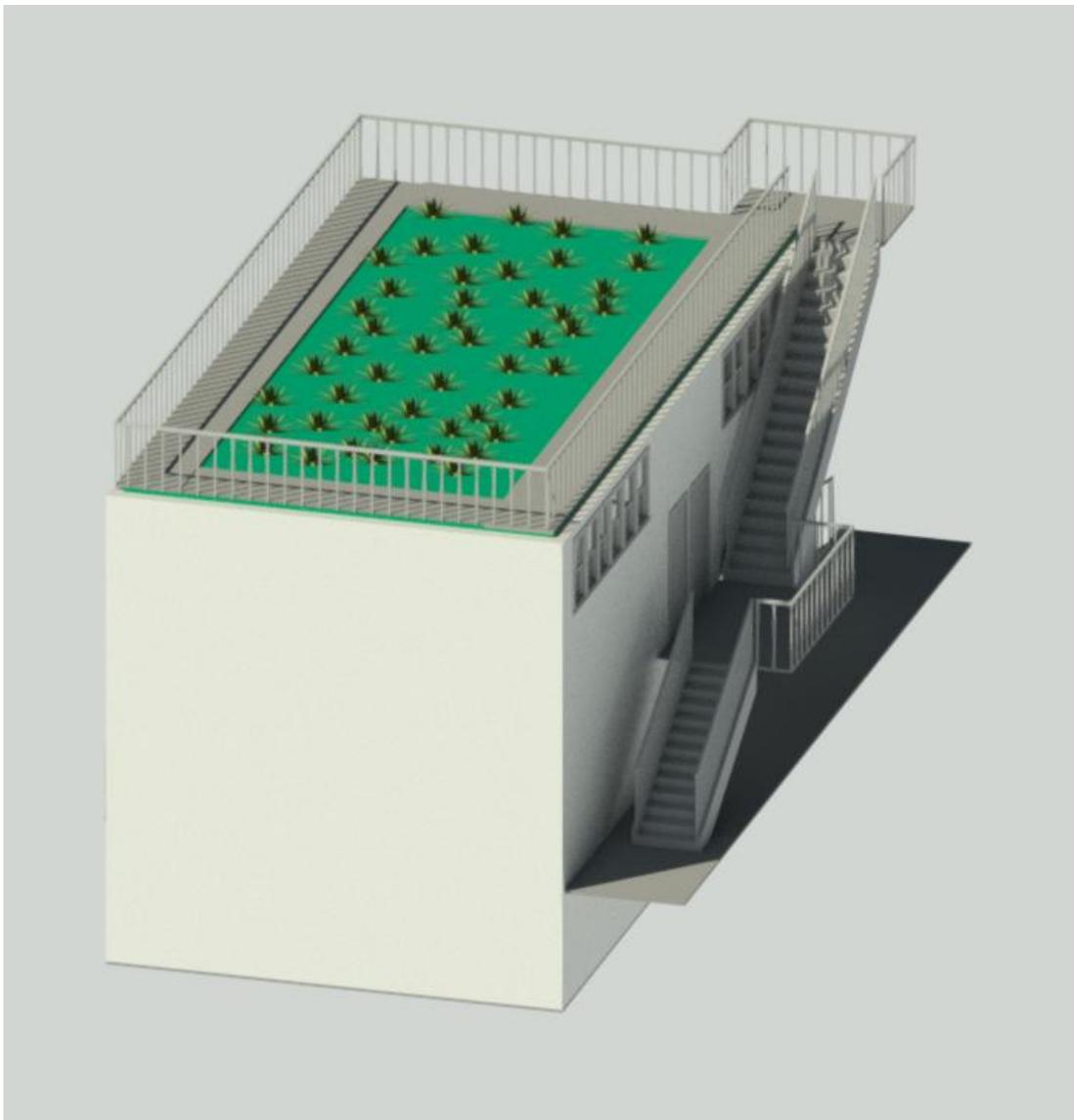


Figura N°14 Fachada lateral del modelo final. (fuente propia).

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones.

Este estudio demuestra que es factible la instalación de un techo verde en el edificio de Laboratorios de la escuela Agustín Codazzi solo si se refuerza la estructura, ya que establece un clima de confort en los salones.

Las mediciones efectuadas en el colegio en el período de Semana Santa revelan que las temperaturas alcanzan valores mayores a los 24°C los cuales según las referencias consultadas es superior a la temperatura que debe tener un salón de clase en estas condiciones.

El modelaje de las estructuras revela que el edificio posee fallas relevantes: posee vigas en una dirección y en las columnas existen empalmes dentro de la longitud de confinamiento, cuando éstas deberían estar colocadas en el tercio central, no poseen estribos en el tercio central, no cumplen con la longitud de confinamiento y separación de estribos según la norma y poseen problemas de columna corta; por ende es necesario reforzar la estructura para garantizar la seguridad de los estudiantes y además para la colocación del techo verde.

En cuanto a la factibilidad del estudio realizado, el techo es accesible, hay posibilidad de colocar escaleras, posee puntos de agua cerca, buen sistema de drenaje, sería lo primero que se vería al entrar al colegio, ayudaría a los estudiantes a entender mejor la problemática ambiental y sería un buen lugar de recreación al aire libre.

Se conceptualiza un techo verde de tipo liviano, de baja necesidad de mantenimiento, compuesto de hierbas y pastos de diferente composición.

Las condiciones de diseño del techo hacen de él un sitio de aprendizaje, ya que al ser visitado puede servir como elemento de concientización para el cambio climático.

V.1 RECOMENDACIONES

Se comprobó que para poder implementar el techo verde se debe primero colocar las vigas IPN 280 en la dirección transversal, opcionalmente para mayor seguridad de la estructura se recomienda aumentar el ancho de las columnas del primer piso a 60x60 para que tenga mayor radio de giro y no falle por pandeo, colocar conectores de corte como refuerzo transversal, cabillas longitudinales que

resistan el esfuerzo torsor. En el **Anexo N°18** se puede observar como las columnas mejoran con el aumento de sección.

Para la implementación de un techo verde en cuanto al sitio, se deben verificar los parámetros ambientales y los beneficios que se podrían obtener; en cuanto a la estructura se recomendaría realizarlo en edificios nuevos, es decir, que cumplan con la norma sísmica vigente; aunque implementarlo en edificios viejos nos daría información de las fallas de estas edificaciones.

A su vez, al momento de la instalación del techo verde se recomienda que sea por medio de personal especializado e implementando materiales nacionales para disminuir costos. Se recomienda también verificar la condición del manto asfáltico

Si se quiere aprovechar todo el potencial del techo verde, se puede diseñar un sistema de recolección de aguas pluviales que se almacene en un tanque, para luego ser filtrada y utilizarla como agua grises para excusados o urinarios del baño que se encuentra cerca de los laboratorios.

Debido a los beneficios que otorga los techos verdes al medio ambiente, se recomienda que dentro del pensum de ingeniería civil se contemple temáticas o asignaciones de trabajo relacionados con esta nueva tecnología ecológica.

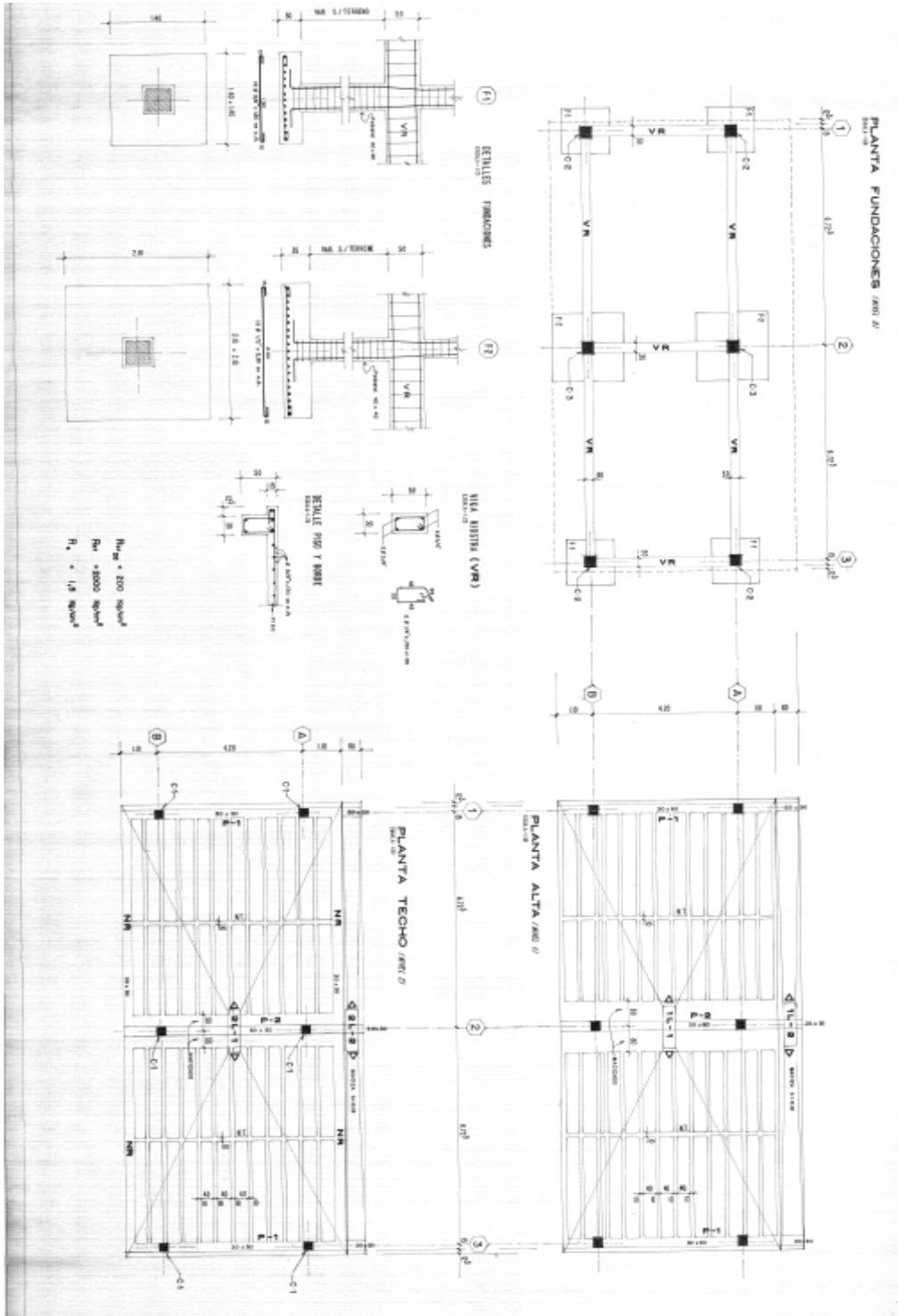
ANEXOS



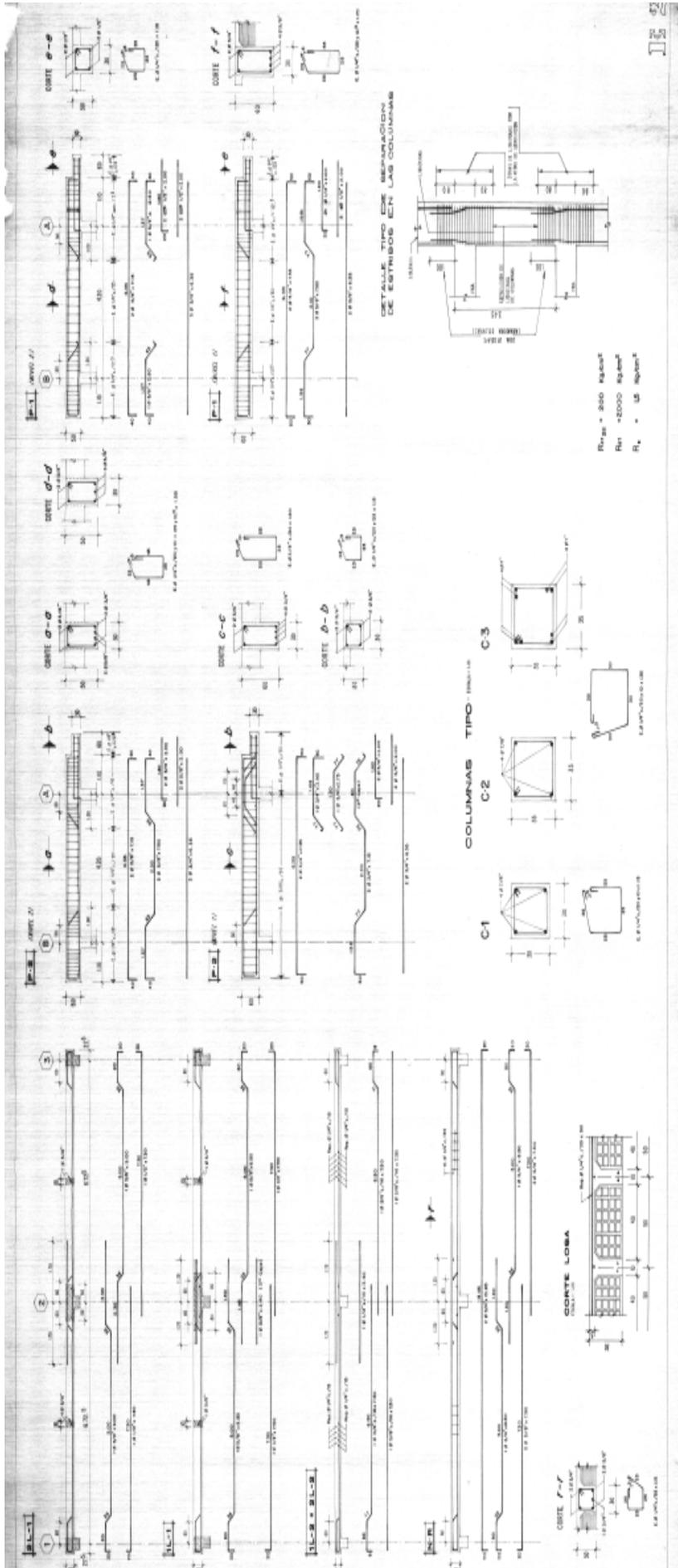
ANEXO N°1 Localización geográfica. (Fuente: Goglemaps)



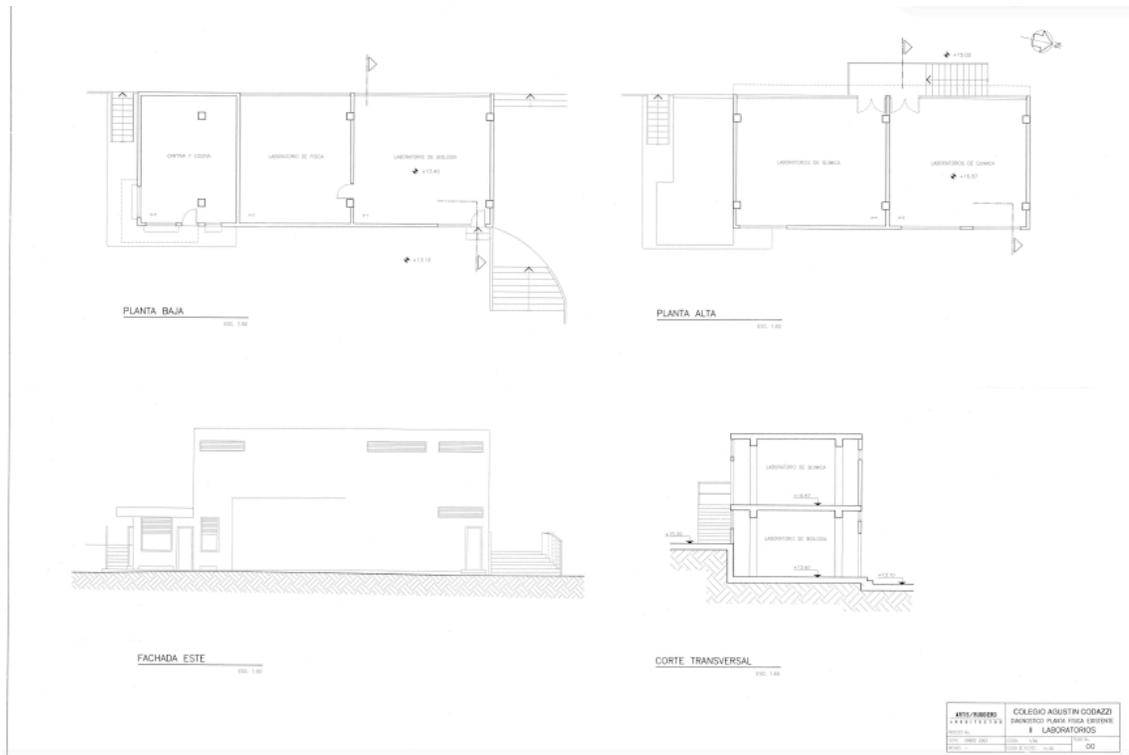
ANEXO N°2 Ubicación del edificio dentro del campus de la institución (Fuente propia).



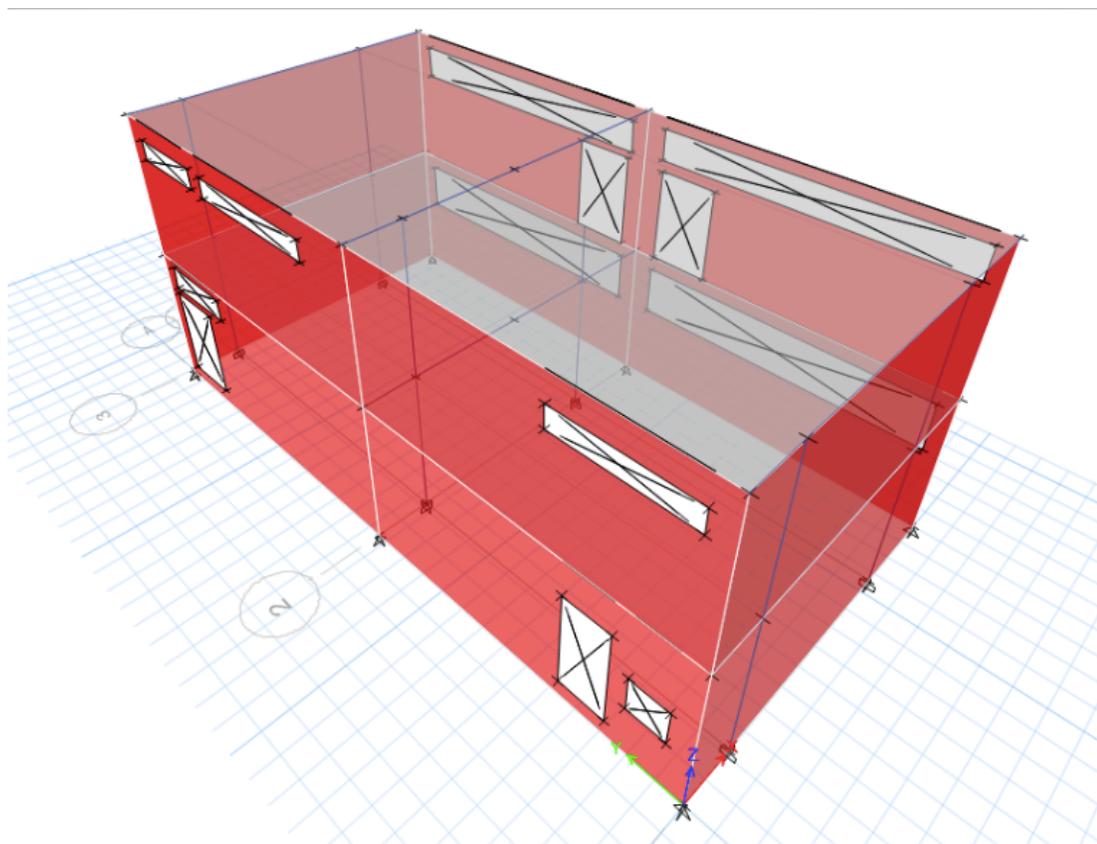
ANEXO N°3 PLANO ESTRUCTURAL 1 (Fuente propia).



ANEXO N°4 PLANO ESTRUCTURAL 2 (Fuente propia)



ANEXO N°5 Azotea (Fuente propia).



ANEXO N°6 Edificio modelado en ETABS (Fuente propia).

ANEXO N° 7 Cálculo del perfil IPN 280

- **Diseño viga de acero**

$$PP=(0,05*0,5+0,1*0,25)*1*2500+5*6,5=157,5\text{Kg}$$

$$PP=\frac{157,5}{1*0,5} = 315 \text{ kg/m}^2$$

$$Cp=PP+Acabado+friso+tabiqueria=315+100+30+150=595\text{kg/m}^2$$

$$Cv=300 \text{ kg/m}^2$$

$$W=1,2Cp+1,6Cv=1,2*595+1,6*300=1194 \text{ kg/m}^2$$

$$W=1,4Cp=1,4*595=833 \text{ kg/m}^2$$

$$Vx=4011,84 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{max}=6739,89\text{kg}\cdot\text{m}$$

$$Cb= 1,14$$

Se escoge el perfil IPN 280, ya que se realizaron los cálculos con perfiles menores, caso del IPN 200, IPN 220, IPN 240 y IPN 260 y no cumplieron

- **CEDENCIA**

$$\text{IPN } 280 * 47,9$$

$$Mn=Mp=Fy * Zx= 2530*632= 15989,6 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

- **PANDEO LATERAL TORSIONAL**

$$Lp=1,76*ry*(E/Fy)^{1/2}=1,76*2,45*(2,1 * 10^6/2530)^{1/2}=124,23\text{cm}$$

$$Lb=672\text{cm}$$

$$Lr=1,95*rts*(E/0,7Fy)*((Jc/S*ho)+((Jc/(S * ho))^1 + 6,76 * (0,7 * \frac{Fy}{E})^2)^{1/2})^{1/2}$$

$$Lr=1,95*1,95*(2,1 * 10^6/2530)*((36,4/542*22,5)+(((36,4/542 * 22,5))^1 + 6,76 * (0,7 * \frac{2530}{2,1*10^6})^2)^{1/2})^{1/2}=2,99\text{cm}$$

$$Lb > Lr$$

$$Mn=Fcr*Sx \leq Mp$$

$$Fcr = \frac{1,14*\pi^2*2,1*10^6*\sqrt{1+0,078*\frac{36,4}{542*22,5}*(\frac{672}{2,99})^2}}{(\frac{672}{2,99})^2}=1670,91$$

$$Mn=1670,91*542=9056,36 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\Phi Mn=0,9*(9056,36)=8150,72\text{kg}\cdot\text{m}$$

$$\Phi Mn > Mu$$

$$8150,72\text{kg}\cdot\text{m} > 6739\text{kg}\cdot\text{m}$$

(CUMPLE)

• CORTE

$$A_w = d * t_w = 28 * 1$$

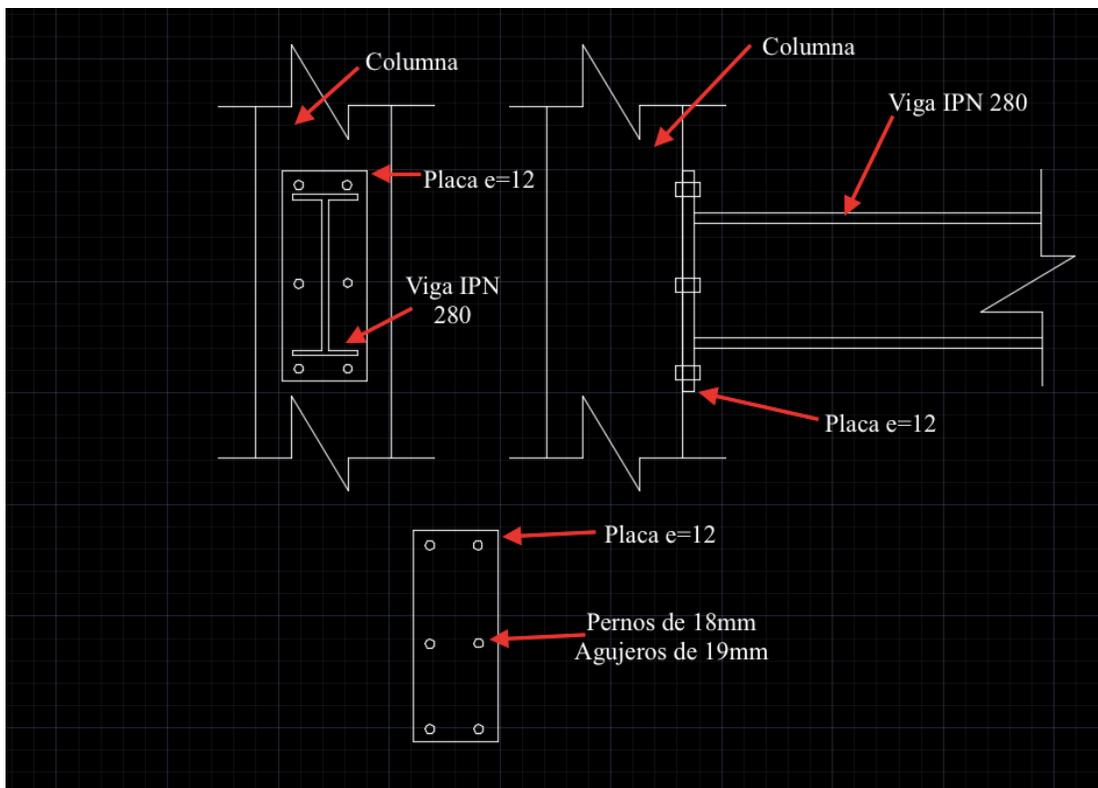
$$C_v: \frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$2,23 \leq 64,63$$

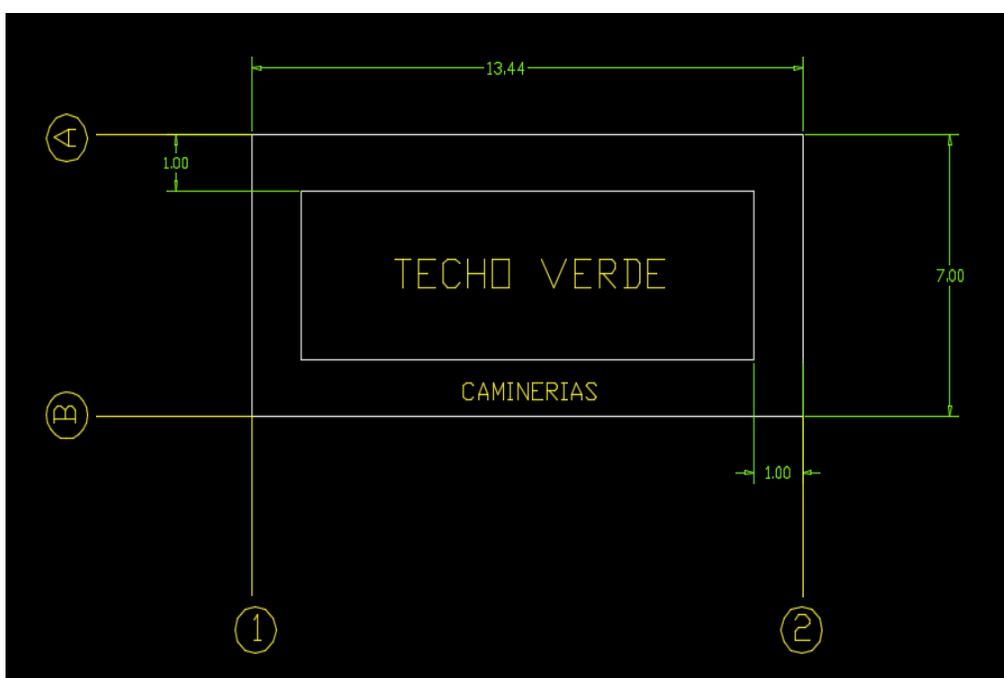
$$C_v = 1 ; \Phi_v = 1$$

$$V_n = V_n = 0,6 * F_y * A_w * C_v = 0,6 * 2530 * (28 * 1) * 1 = 42929,04 \text{ kg}$$

$$V_n = 42929,04 \text{ kg} > 4011,84 \text{ Kg} \quad \text{(CUMPLE)}$$



ANEXO N°8 Conexión viga-columna.



ANEXO N°9 Área destinada al techo verde.



ANEXO N°10 Foto de la azotea dirección sur (Fuente propia).



ANEXO N°11 Foto de la azotea dirección norte (Fuente propia).



ANEXO N°12 Fachada principal (Fuente propia).



ANEXO N°13 Fachada posterior de los laboratorios (Fuente propia).



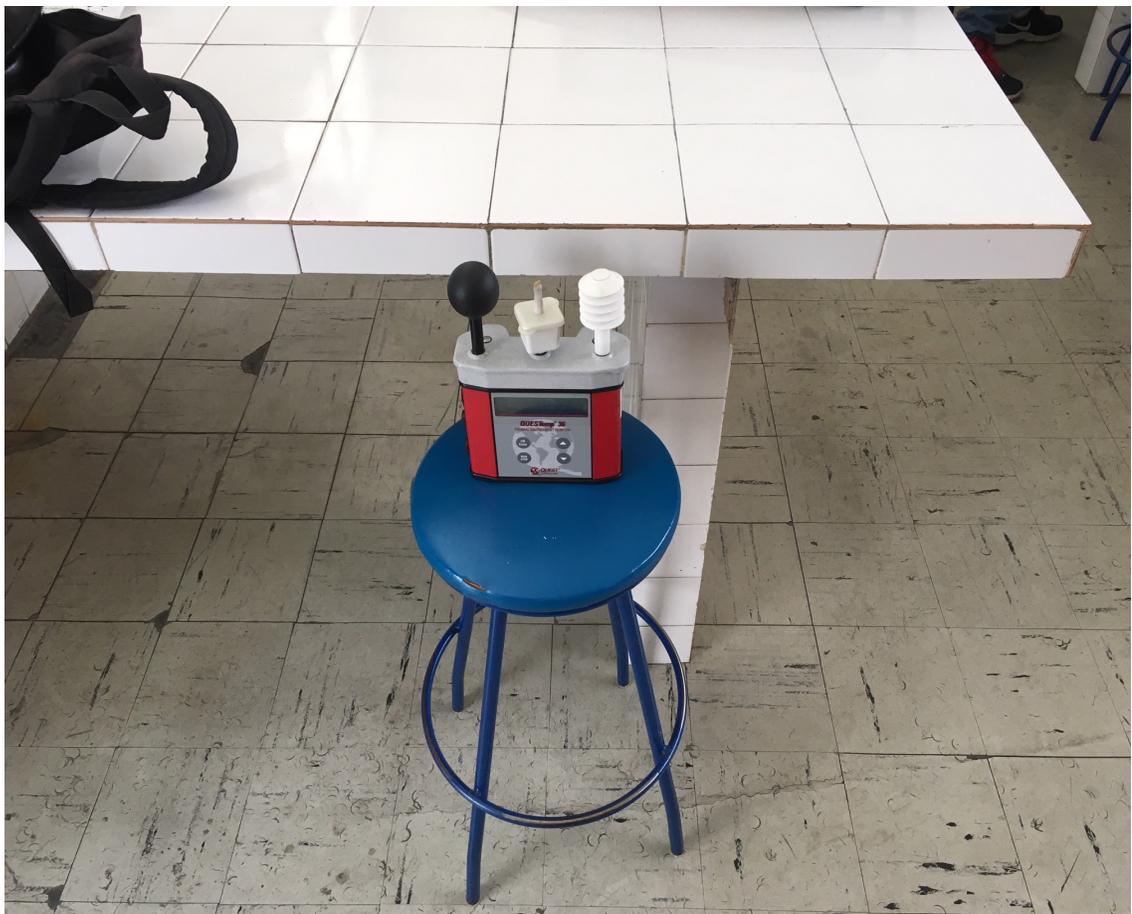
ANEXO N°14 Foto del laboratorio de química (Fuente propia).



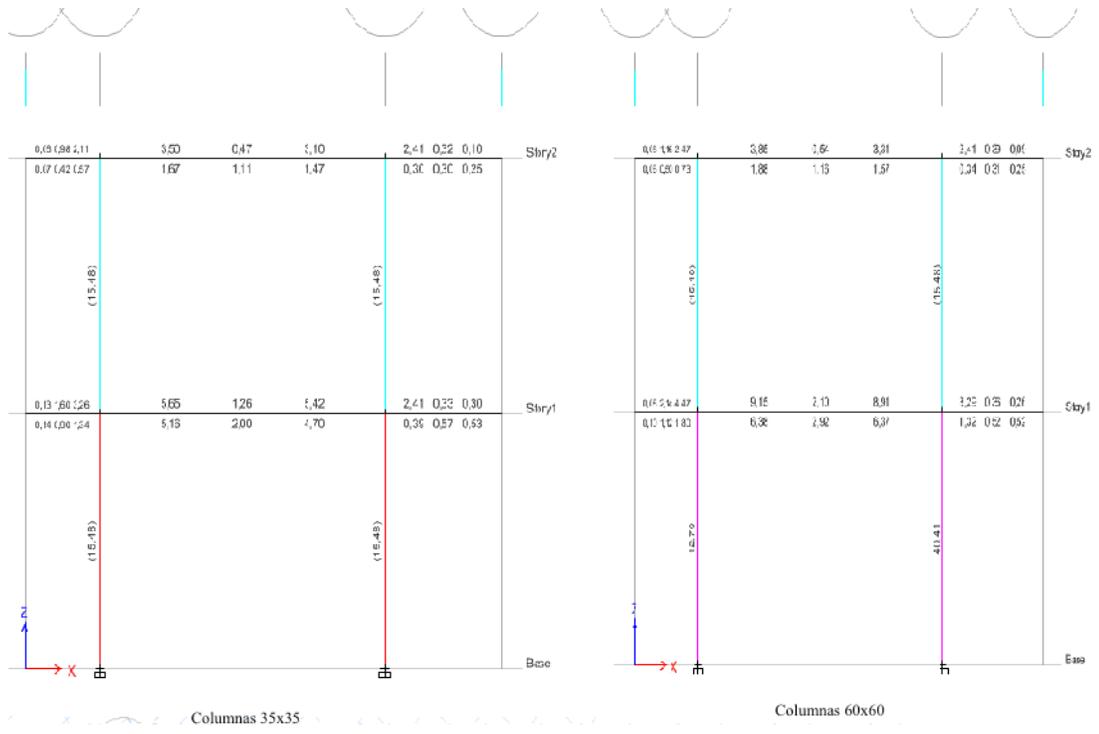
ANEXO N°15 Foto del laboratorio de biología (Fuente propia).



ANEXO N°16 (Foto 1) Termómetro ambiental QUESTemp 36 (Fuente propia).



ANEXO N°17 (Foto 2) Termómetro ambiental QUESTemp 36. (Fuente propia)



Anexo N°18 columnas 35x35 vs columnas 60x60 (Fuente propia).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acuña R. y Estévez C. (2013) Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el Edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. [Resumen en línea] Trabajo Especial de Grado. UCAB, Caracas. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS6647.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría Distrital del Ambiente (2011) Guía de Techos Verdes. [Documento en Línea] Disponible en: http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=f807042d-064e-4a7a-adf1-75e1e4b7aaaa&groupId=10157

Alonso M., Fidalgo M. y Labajo J. (2004) El clima de las ciudades: Isla de calor de Salamanca [Revista en línea] *Revista Salud Ambient.* 2004; 4(1-2): 25-29. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/clima.pdf>

Bosque V., (2008) Proyecto para un Pabellón V Sostenible. [Resumen en línea] Informe Final de Proyecto de Grado. USB, Caracas. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000145460.pdf>.

Bricomania (S.F). Pinzamiento de arbustos de hoja persistente [figura en un blog]. Hogarmania. Recuperado de <https://www.hogarmania.com/jardineria/tecnicas/poda/201506/pinzamiento-arbustos-hoja-persistente-29527.html>

Caracas Digital (S.F.) el supermercado más verde de Venezuela Central Madeirense construye nueva sucursal ecológica en la alameda. [Figura en un blog]. Caracas Digital. Recuperado de: [Http://www.caracasdigital.com/index.php?keyword=NM&x=1435](http://www.caracasdigital.com/index.php?keyword=NM&x=1435)

S.A (2014). Techos verdes podrian bajar temperatura hasta 3 grados. Cámara de construcción del Zulia. Recuperado de <http://cczulia.org.ve/techo-verde-podrian-bajar-temperatura-hasta-3-grados/>

Cedar Lake Ventures, Inc (S.F) Clima de la ciudad de caracas. Recuperado el 1 de septiembre de 2018 de <http://es.weatherspark.com/d/27706/3/30/Tiempo-promedio-el-30-de-mazo-en-Caracas-Venezuela>

Córdova K., (2011) Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre – 2009, marzo – 2010. *Terra Nueva Etapa* [Revista en línea], Vol. XXVII, núm. 42, julio-diciembre, 2011, pp. 95-122 UCV, Caracas, Venezuela, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=7212170600>

El Maaz A. y Urdaneta A. (2011) Bambú como alternativa ecológica para la construcción de viviendas de interés social. [Resumen en línea] Trabajo Especial de Grado. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo. Disponible en: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-11-04521.pdf>

García I., (2010) Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. [Documento en Línea] Disponible en: http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf

Gernot, M. (S.F). Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.

Grey, J. (2017) a Green roof. [Figura en un blog]. Sustainablebuild. Recuperado de: <http://www.sustainablebuild.co.uk/roofplants.html>

Gudynas E., (1999) Concepciones de la naturaleza y desarrollo en América Latina. *Persona y Sociedad* [Revista en línea]: 13 (1): 101-125, Santiago de Chile. Disponible en: <http://www.ecologiasocial.com/publicacionesclaes/GudynasConcepcionesNaturalezaPSC199.pdf>

Jardineriaon (S.F.) ¿Qué son las plantas herbáceas? [Figura en un blog]. Jardineriaon. Recuperado de <https://www.jardineriaon.com/que-son-las-plantas-herbaceas.html>

Sanchez, J. (2016). ¿Qué son los techos verdes, pros y contras? [figura en un blog]. Casas Ecológicas. Recuperado de <http://icasasecológicas.com/los-techos-verdes-ventajas-desventajas/>.

Mummery, L. (2008) *Heat Islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Nueva York, Estados Unidos.

Ochoa J., (2012) Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en las edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas. [Resumen en línea] Trabajo Especial de Grado. UCV, Caracas. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/9732>

Saldiña L. (2017) Propuesta para la implementación de un techo verde en el edificio casa del estudiante del campus UCAB Guayana. Trabajo Especial de Grado. UCAB, Caracas.

Sandó Y., (2011) Hacia la construcción de una arquitectura sostenible en Venezuela. [Resumen en línea] Trabajo Final de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13371/TFMedificaci%C3%B3n-Arq.YovannaSand%C3%B3Marval-doc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Soto, R (2014). ¿Que es el efecto Invernadero?. Disponible en: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>.

Valbuena M., (2012) Implementación de un techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia) [Resumen en línea] Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8985>

Verdecora. (S.F). Como cuidar sus plantas suculentas.[mensaje en un blog]. Recuperado de <https://verdecora.es/blog/plantas-suculentas-cuidados>.