

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Evaluación del uso de Jardines verticales como alternativa ecológica en
edificaciones urbanas**

Trabajo de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Luis Rodolfo Acuña Cubillo

Director del Proyecto de Graduación:

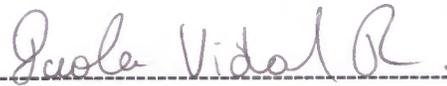
Ing. Paola Vidal

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica Febrero, 2019



Estudiante
Luis Acuña Cubillo



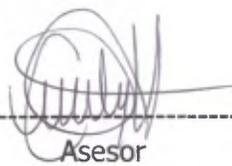
Directora
Ing. Paola Vidal Rivera



Asesor
Ing. Alberto Montalvo Pacheco



Asesor
Ing. Erick Mata Abdelnour



Asesor
Arq. Emily Vargas Soto

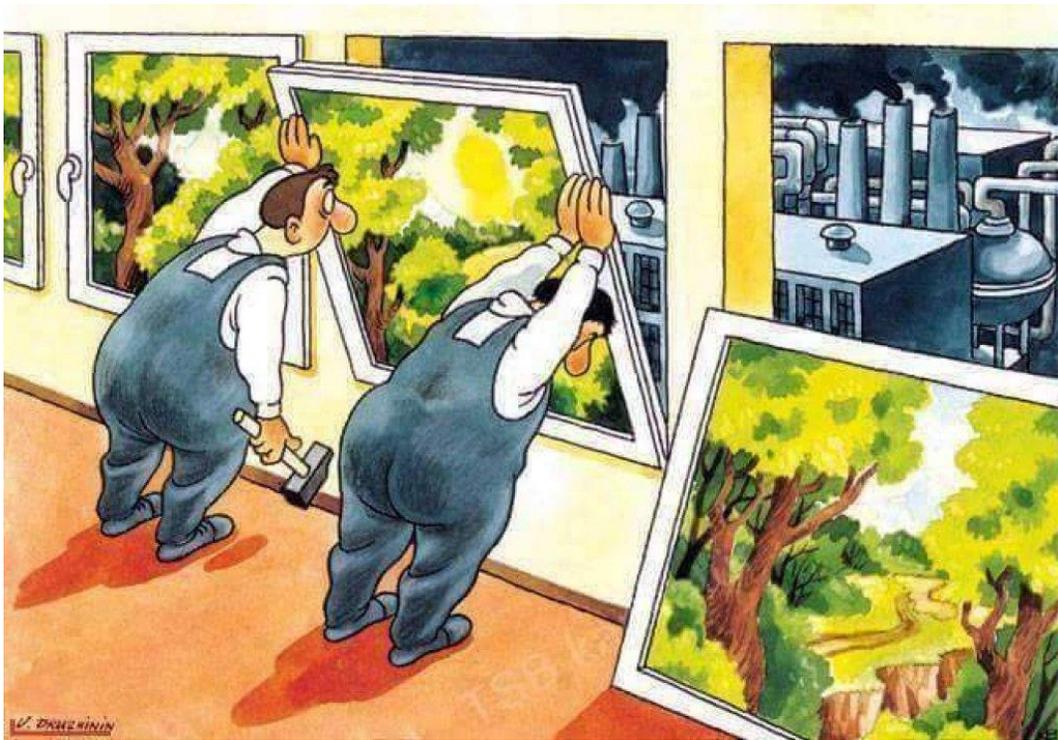
Fecha: 2019, febrero, 5.

El suscrito, Luis Rodolfo Acuña Cubillo, cédula 7-0233-0979, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B30051, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación Evaluación del uso de Jardines verticales como alternativa ecológica en edificaciones urbanas, bajo la Dirección de la Licenciada Paola Vidal Rivera, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota:

De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.



V. Dkuzminin

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios por permitirme llegar hasta aquí y porque a pesar de lo grave de la salud de mi madre me dio la oportunidad de celebrar con ella este logro.

A mis amigos quienes fueron un gran apoyo emocional todo el tiempo.

A mis padres por apoyarme y confiar en mí siempre; además de anteponer mis necesidades sobre las propias y siempre preocuparse de que yo tuviera la educación que ellos no pudieron tener.

A mis dos hermanos, los cuales son también mis mejores amigos y compañeros de la vida; quienes me han demostrado ser un apoyo incondicional y que harían lo que sea por mi bienestar.

A mi novia y futura esposa Cindy quien me apoyo y alentó para continuar, a pesar de las adversidades.

A mis profesores quienes dedicaron tiempo y esmero al enseñarme, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Agradecimiento

A mis compañeros y futuros colegas quienes fueron mi compañía durante todos los retos que se nos presentaron.

A mi asesor el Ing. Alberto Montalvo y la empresa Plantica CR. que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y me brindaron su confianza y apoyo para poder desarrollar esta investigación.

Le agradezco a la arquitecta Emily Vargas por haberme brindado la ayuda, guía y el apoyo para realizar esta investigación.

A mi asesor el ing. Erick Mata quien siempre estuvo dispuesto a ayudar y estuvo a mi lado apoyándome.

A mi directora, la Ing. Paola Vidal que fue la que me brindo su confianza para desarrollar un tema de auditoria propia, me brindo la guía para desarrollarlo y fue quien me recomendó y me ayudo a conseguir mi comité de asesores; ya que sin ellos no hubiera sido posible realizar esta investigación.

Al Laboratorio de Ingeniería Ambiental y el Laboratorio de Arquitectura Tropical, por su ayuda y comprensión a lo largo de las mediciones.

Al canal de televisión Enlace y la empresa GTI, quienes me brindaron su ayuda permitiendo colocar los medidores y recopilar la información que necesitaba.

Tabla de contenido

RESUMEN	1
CAPÍTULO 1	2
1.1 Justificación	2
1.1.1 Problema específico	2
1.1.2 Importancia	3
1.2 Antecedentes teóricos y prácticos del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General:	5
1.3.2 Objetivos Específicos:	5
1.4 Delimitación del problema	6
1.4.1 Alcance	6
1.4.2 Limitaciones.....	7
CAPÍTULO 2	8
2 Marco teórico.....	8
2.1 Jardines verticales	8
2.2 Clasificación de los jardines verticales	10
2.3 Efecto isla de calor.....	12
2.4 Humedad relativa	14
2.5 Efecto de CO ₂ en las edificaciones.....	15
2.6 Velocidad y dirección del viento.....	16
2.7 Confort en las edificaciones.....	17
2.8 Normas y reglamentos aplicables a jardines verticales	18
CAPÍTULO 3	21
3 Descripción de la metodología utilizada.....	21
3.1 Determinación del proceso constructivo.....	21
3.2 Medición de parámetros en jardines verticales	21
3.2.1 Ubicación de los sitios de estudio.....	21
3.2.1 Descripción de los jardines y áreas de estudio	22
3.2.2 Equipo de medición	26
3.2.1 Montaje del equipo de medición.....	29
3.3 Análisis de Confort	40

3.4	Comparación con alternativas artificiales.....	48
CAPÍTULO 4		49
4.1	Descripción del método constructivo y precio de un jardín vertical.....	49
4.2	Resultados	57
4.2.1	Resultados: oficinas de GTI.....	58
4.2.2	Resultados: recepción del edificio de Enlace	60
4.3	Análisis comparativo entre el uso de jardines verticales y métodos artificiales	69
CAPÍTULO 5		76
5.1	Análisis de resultados	76
5.1.1	Análisis de las mediciones	76
5.1.2	Análisis del modelo de Ecotect	79
5.1.3	Análisis de las encuestas.....	81
5.1.4	Comparación entre el sistema de aire acondicionado y los jardines verticales	82
5.2	Conclusiones.....	83
5.3	Recomendaciones	85
Referencias.....		87
Anexo 1: Encuesta sobre confort		91
Anexo 2: Oferta de compra e instalación de aire acondicionado		93
Anexo 3: Tarifas eléctricas de la CNFL		96

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Características del medidor HOBO U-12-012.....	27
Cuadro 2. Características del medidor Extech Modelo SD800	28
Cuadro 3. Datos meteorológicos de la estación meteorológica Tobías Bolaños	43
Cuadro 4. Características del distanciómetro LEICA Disto D510	45
Cuadro 5. Ubicación y descripción de las mediciones en las oficinas de GTI	57
Cuadro 6. Resumen de las encuestas realizadas, periodo de la mañana	67
Cuadro 7. Resumen de las encuestas realizadas, periodo de la tarde.....	68
Cuadro 8. Especificación del equipo de aire acondicionado	72
Cuadro 9. Flujo acumulado en el presente.....	75

Índice de figuras

Figura 1. Jardines colgantes de Babilonia	8
Figura 2. Capas de un jardín vertical	9
Figura 3. Jardín vertical tipo fieltro.....	10
Figura 4. Jardín vertical tipo bolsillos	10
Figura 5. Jardín vertical tipo contenedor plástico.....	11
Figura 6. Jardín vertical instalado sobre malla metálica	11
Figura 7. Jardín vertical flotante	12
Figura 8. Efecto de isla de calor	14
Figura 9. Ubicación de oficinas GTI.....	22
Figura 10. Ubicación de las oficinas de Enlace.	22
Figura 11. Jardín vertical en las oficinas de GTI.....	23
Figura 12. Entrada edificio de Enlace.....	24
Figura 13. Jardín vertical principal en la recepción de Enlace	25
Figura 14. Jardín vertical secundario en la recepción de Enlace	25
Figura 15. Medidor HOBO U-12-012	27
Figura 16. Medidor Extech Modelo SD800.....	28
Figura 17. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #3.....	29
Figura 18. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #4.....	30
Figura 19. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #8.....	31
Figura 20. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #9.....	31
Figura 21. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #13.....	32
Figura 22. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #14.....	33
Figura 23. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #1, recepción de Enlace	34
Figura 24. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #2, recepción de Enlace	35
Figura 25. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #3, recepción de Enlace	36
Figura 26. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #4, recepción de Enlace	37
Figura 27. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #1, oficinas de GTI.....	38
Figura 28. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #2, oficinas de GTI.....	39
Figura 29. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #3, oficinas de GTI.....	39
Figura 30. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #4, oficinas de GTI.....	40
Figura 31. A) Habitación sin jardín, B) Habitación con jardín	41
Figura 32. Inserción de datos en Weather tool	44
Figura 33. Climograma de Pavas	45
Figura 34. Plano de Sitio, recepción de Enlace TV	47
Figura 35. Modelo de la recepción de Enlace TV.....	47
Figura 36. Colocación de la estructura sobre la pared existente.....	50
Figura 37. Tablilla plástica sobre la estructura	51
Figura 38. Colocación del geotextil.....	52

Figura 39. Plantas colocadas en el jardín vertical de ENLACE	53
Figura 40. Separación de las diferentes plantas	53
Figura 41. Colocación de las plantas en el geotextil	54
Figura 42. Colocación de plantas a lo largo del jardín	55
Figura 43. Jardín en fase de crecimiento.....	56
Figura 44. Gráfica de temperatura medidor HOBO, oficinas de GTI.....	58
Figura 45. Gráfica de humedad relativa medidor HOBO, oficinas de GTI.....	58
Figura 46. Gráfica de intensidad de luz medidor HOBO, oficinas de GTI.....	59
Figura 47. Gráfica de temperatura medidor Extech, oficinas de GTI.....	59
Figura 48. Gráfica de humedad relativa medidor Extech, oficinas de GTI.....	60
Figura 49. Gráfica de contenido de CO ₂ medidor Extech, oficinas de GTI	60
Figura 50. Vista en planta con la ubicación de los medidores HOBO, recepción de Enlace	61
Figura 51. Gráfica de temperatura medidor HOBO, recepción de Enlace	61
Figura 52. Gráfica de humedad relativa medidor HOBO, recepción de Enlace.....	62
Figura 53. Gráfica de intensidad de luz medidor HOBO, recepción de Enlace	62
Figura 54. Vista en planta con la ubicación de los medidores Extech, recepción de Enlace	63
Figura 55. Gráfica de temperatura medidor Extech, recepción de Enlace	63
Figura 56. Gráfica de humedad relativa medidor Extech, recepción de Enlace.....	64
Figura 57. Gráfica de concentración de CO ₂ medidor Extech, recepción de Enlace	64
Figura 58. Grilla de temperatura en el exterior, modelo de Ecotect.....	65
Figura 59. Grilla de temperatura junto al área donde se ubica el jardín, modelo de Ecotect	65
Figura 60. Grilla de temperatura en la sala de espera, modelo de Ecotect	66
Figura 61. Grilla de temperatura pasillo, modelo de Ecotect	67
Figura 62. Área de influencia del jardín vertical	69
Figura 63. Área abarcada por el sistema de aire acondicionado	71

Acuña Cubillo, Luis Rodolfo.

Evaluación del uso de Jardines verticales como alternativa ecológica en edificaciones urbanas.

Tesis Ingeniería Civil – San José, C.R.:

L. R. Acuña C., 2019

X, 90,[6]h. ils. Col. - 31 refs.

RESUMEN

Se busca estudiar el efecto de un jardín vertical dentro de edificaciones ubicadas en la gran área metropolitana de Costa Rica mediante la medición continua de diferentes parámetros durante un periodo de tiempo, en dos diferentes edificaciones.

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron dos diferentes análisis, el primero fue un análisis comparativo entre dos habitaciones con características similares, pero donde una de estas carecía de jardín y el segundo fue un análisis cuantitativo mediante la elaboración de un modelo generado a partir de datos climáticos de la zona y las características de la edificación estudiada.

Gracias a ambos análisis y a encuestas aplicadas a ocupantes de una de las edificaciones se logra determinar las ventajas asociadas al confort de los ocupantes de la edificación.

Como resultado de este estudio, se logra determinar una mayor estabilidad en la temperatura y en la humedad; además de una disminución en el contenido de dióxido de carbono en el aire debido a la presencia del jardín vertical en las habitaciones estudiadas.

En este estudio se analiza también la constructibilidad de este sistema y se realiza una comparación entre este y otros métodos artificiales y convencionales de mejora del confort en edificaciones. Tomando como parámetros de comparación, facilidad de implementación, mejoras del confort en los distintos parámetros y los costos asociados a la instalación y mantenimiento.

JARDINES VERTICALES, GREEN WALL, PARED VEGETAL, CONFORT, COSTA RICA, CONSTRUCCION SOSTENIBLE.

Ing. Paola Vidal Rivera
Escuela de Ingeniería Civil

CAPÍTULO 1

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

La humanidad enfrenta en la actualidad los efectos provocados por el cambio climático, un proceso meteorológico que se presenta como un problema a nivel global y se manifiesta con mayor intensidad en países en desarrollo como el caso de Costa Rica, atribuido de forma directa o indirecta a actividades humanas. El uso inadecuado y principalmente la sobre explotación de los recursos naturales, causan alteraciones al estado natural del ambiente provocando consigo la alteración de la composición de la atmósfera que repercute en la desestabilización del clima, dando como resultado el deterioro del ambiente y el aumento de la vulnerabilidad de ecosistemas naturales y de la humanidad ante la posibilidad de fenómenos climáticos adversos (Hoyano, 1998).

El crecimiento poblacional acelerado en la zona del Gran Área Metropolitana (GAM), producto de la migración campo-ciudad en busca de más y mejores fuentes de empleo en conjunto con el problema de la falta de espacio y el alto precio del metro cuadrado de terreno, provocan la ausencia de zonas verdes en las ciudades, lo que ha llevado a la necesidad de plantearse una alternativa por parte de los diseñadores como lo es la implementación de ciertas técnicas de Naturalización Urbana como los jardines verticales (González Coto, 2013).

De acuerdo con Barrientos, por medio de una medición en la calidad del aire de la GAM se encontraron restos de elementos muy perjudiciales para la salud como sulfato, cloruro, nitrato, fosfato, sodio, manganeso y níquel; además, en las mediciones se encontró la presencia ciertas sustancias perjudiciales (PM10 y PM2.5). Y se demostró que la presencia de PM10 en el aire de la GAM es de 37 microgramos por metro cúbico, cuando el límite permitido según la Organización Mundial de la salud (OMS) es de 2 microgramos por metro cúbico, para el PM2.5, encontró que la concentración de este fue de en 26 microgramos por

metro cúbico, cuando el promedio que establece la OMS es de 10 microgramos por metro cúbico (Barrientos, 2010).

La gama de posibles contaminantes dentro de edificaciones urbanas es muy amplia, debido a que puede presentar diversos orígenes; ya que inclusive los propios ocupantes del edificio pueden ser una fuente importante de contaminación debido a que el ser humano produce de forma natural dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, partículas pequeñas y aerosol biológicos. Además de otros posibles contaminantes como el humo de tabaco el cual puede contener más de 3000 compuestos, entre ellos, monóxido de carbono (CO), aldehídos, óxidos de nitrógeno, metales, etc., (Mondelo, Torada, & Santiago, 2001).

1.1.2 Importancia

Con la elaboración de Jardines verticales se busca integrar la jardinería en las edificaciones para mejorar la calidad ambiental y optimizar los recursos energéticos haciendo las construcciones eficientes y sostenibles.

El uso de jardines verticales en edificaciones trae consigo ciertas ventajas considerables que derivan del proceso de evapotranspiración; ya que, a través de esto, las plantas aumentan la humedad ambiental y regula la temperatura, creando un microclima que mejora el ambiente preexistente antes de su implementación. Además, gracias al proceso de fotosíntesis en las plantas se da un aumento en la cantidad de oxígeno y disminución en el dióxido de carbono en el aire circundante; Según la OMS por cada persona se requiere un metro cuadrado de vegetación para purificar el aire requerido por la misma (Navarro Portilla, 2013).

Con la implementación de jardines verticales se pretende una disminución en el consumo de energía eléctrica, ya que la capa vegetal existente, crea en el muro o pared envolvente con características de aislamiento orgánico; protegiendo el sobrecalentamiento de los espacios interiores y exteriores, produciendo brisas frescas en las edificaciones y proporcionando ventilación y regulación térmica natural. Además, cabe destacar que la implementación de estos jardines genera un sistema de regulación para las diversas

estaciones; ya que las especies vegetales interceptan los rayos solares antes de que se generen las fluctuaciones térmicas durante el verano, y durante el invierno estos sistemas generan una óptima barrera de protección del viento (Navarro Portilla, 2013).

En nuestro país contamos con un clima tropical con características propias, donde las temperaturas durante la época seca pueden ser superiores a los 30°C en algunas zonas; además de épocas con altas intensidades de lluvia, por lo que la implementación de los jardines verticales en nuestro país ayudaría a mitigar las distintas condiciones de nuestro clima.

1.2 Antecedentes teóricos y prácticos del problema

Existen estudios realizados en distintas ciudades del mundo sobre el efecto que tienen los jardines verticales en las edificaciones. Sin embargo, no existen estudios registrados en Costa Rica sobre el impacto que tiene los jardines verticales en el ambiente o estudios en regiones con características similares a la nuestra. Por lo que con este trabajo se estudiarán las siguientes variables en un jardín vertical en nuestro país:

- Proceso constructivo y adaptación
- Humedad relativa
- Contenido de dióxido de Carbono en el aire
- Temperatura
- Confort de los ocupantes

Existen estudios sobre los flujos de calor a través de fachadas con y sin presencia del sistema, en la ciudad de La Rochelle en Francia. A pesar de que este estudio se realizó en un lugar con temperaturas y características climáticas muy diferentes a las de Costa Rica, sirve como una guía y fuente de información para el desarrollo de esta investigación; considerando que los resultados de esta investigación no son aplicables y pueden variar en nuestro país (Schaafsma, Belarbi, & Collinsa, 2017).

La Secretaría de Ambiente de la Alcaldía Mayor de Bogotá Colombia, en su documento llamado Guía para la elaboración de techos verdes y jardines verticales, destaca los beneficios de estos y una guía del procedimiento para la elaboración de jardines verticales y techos verdes en el país latinoamericano.

Los aportes de un jardín vertical son muchos y son destacados en el artículo elaborado por Collins, Schaafsmab y Hudson llamado "The value of green walls to urban biodiversity" (2010), donde se estima el valor percibido por el público de las paredes verdes en la biodiversidad urbana, medido desde su forma de su voluntad de pago o sus siglas en inglés "WTP", realizado en la Ciudad de Southampton en Inglaterra, con lo que se obtiene de comparación para determinar qué tan importante son los jardines verticales para los usuarios de edificaciones o los visitantes de las mismas.

En Costa Rica se cuenta con la investigación realizada por Alberto Montalvo (2014), en su tesis llamada "Análisis experimental de un techo verde en Costa Rica", donde realizó mediciones para determinar el comportamiento de la escorrentía de un techo verde, y el cual puede servir como guía para tener una visión preliminar de cómo es el comportamiento de un proyecto verde en edificaciones en nuestro país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Evaluar los beneficios de la implementación de jardines verticales tipo fieltro como alternativa de mejora ecológica en edificaciones urbanas.

1.3.2 Objetivos Específicos:

Determinar el proceso constructivo y los requerimientos necesarios para la construcción de un jardín vertical tipo fieltro.

Determinar los parámetros ambientales afectados por jardines verticales tipo fieltro en una edificación

Establecer las ventajas de la construcción de jardines verticales tipo fieltro en edificaciones urbanas.

Realizar una comparación entre el uso de jardines verticales como método de climatización natural con respecto a otros métodos artificiales.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcance

- La investigación está dirigida al estudio de jardines verticales tipo fieltro dentro de las zonas urbanas ubicadas dentro de la GAM, por lo que las mediciones se realizaran las mediciones en dos jardines verticales tipo fieltro el primero ubicado en Pavas del Catón central de San José de Costa Rica y el segundo en el cantón de Curridabat de San José de Costa Rica; durante la época seca en el periodo entre los meses de abril a mayo.
- Para la determinación del proceso constructivo, se brindarán los pasos a seguir, materiales necesarios, forma de adaptación y mantenimiento necesario; a partir del registro tomado durante la construcción del Jardín vertical ubicado en Pavas por la empresa Plantica CR.
- Durante las mediciones en campo se estudiarán distintas variables como la temperatura, humedad relativa, contenido de CO₂ del aire y confort de los ocupantes de la edificación.
- No se tomará en cuenta el efecto de retención hidráulica de los jardines; ya que lo que se quiere es determinar el efecto de confort en los ocupantes de la edificación y para ello se analizarán jardines interiores.
- La determinación de los beneficios implicados en la elaboración de jardines verticales tipo fieltro se realizará por medio de dos análisis. El primero será de manera cuantitativa comparando los costos y beneficios a partir de las mediciones del sistema con los implicados con la climatización mediante métodos artificiales y la

segunda manera será de manera cualitativa analizando los resultados y opinión de los encuestados.

- Para la determinación de las ventajas de la implementación de jardines verticales se realizarán mediciones tanto en zonas cercanas a la ubicación del jardín vertical como en zonas donde no intervenga ningún jardín vertical, pero con características similares, para poder tener un parámetro de comparación. Además, se utilizarán datos del lugar del instituto Meteorológico Nacional como otro parámetro de comparación.

1.4.2 Limitaciones

- Equipo: se debe considerar el equipo como una posible fuente de error; ya que puede intervenir factores como la calibración y una incertidumbre asociada al mismo. Además debido a falta de disponibilidad de los equipos, se debe adaptar las mediciones a la fecha y periodo disponible de los mismos.
- Ubicación: los jardines verticales que se van a instrumentar ya están previamente ubicados en el lugar, por lo que los resultados van a estar definidos por las características del sitio. Para la ubicación de los medidores, se tiene la limitante que estos deben estar conectados a la corriente eléctrica por lo que se debe colocar en puntos estratégicos cercanos a la corriente eléctrica.
- No se tiene disponibilidad del desarrollo de un proyecto para el periodo de estudio, por lo que el estudio del proceso constructivo se deberá hacer mediante una recopilación de un proyecto ya construido.
- No se tiene disponibilidad de datos climatológicos de más de 6 años, ni del año actual; por lo que se deberá realizar la estimación de parámetros con los datos disponibles.
- Tipo de planta: no se puede determinar cuál es el efecto del tipo de planta, ya que se estudiarán jardines previamente plantados donde no se realizará cambio de la capa vegetal

CAPÍTULO 2

2 Marco teórico

2.1 Jardines verticales

Hay registros de la existencia de jardines verticales desde el año 600 A.C, tomando como punto de partida los jardines colgantes de Babilonia; Aunque conceptualmente la técnica se retomó en realidad hasta siglos después en el año 1963 donde se presenta un sistema de pared verde a través del arquitecto y paisajista estadounidense Stanley Hart White, y se incrementa su popularidad en países europeos tales como Francia, España y Alemania. Donde resalta la labor de un gran expositor en el tema, el francés Patrick Blac, quien fue el desarrollador bastante el concepto en los años 80; Su obra más destacada fue la obra Caixa Forum de Madrid (González Coto, 2013).



Figura 1. Jardines colgantes de Babilonia
Fuente: <http://vilssa.com/los-jardines-colgantes-de-babilonia#> (2017)

No obstante, desde la creación de la técnica hasta la actualidad han surgido múltiples tecnologías relacionadas a esta, las cuales incluyen multiplicidad de estructuras independientes o integrales en las edificaciones e incorporan diversos materiales como geotextiles, fieltro hidrófilo usados para conservar la humedad requerida para la estructura.

En la actualidad los jardines verticales o muros verdes se componen de las siguientes capas a partir de la pared o muro, 1) muro o pared existente 2) aislante plástico como barrera de humedad 3) geotextil para retener la humedad 4) Capa vegetal, además el sistema debe contar con un sistema de riego por aspersión, un recipiente recolector de agua en la base y un tablero de control de aspersión.

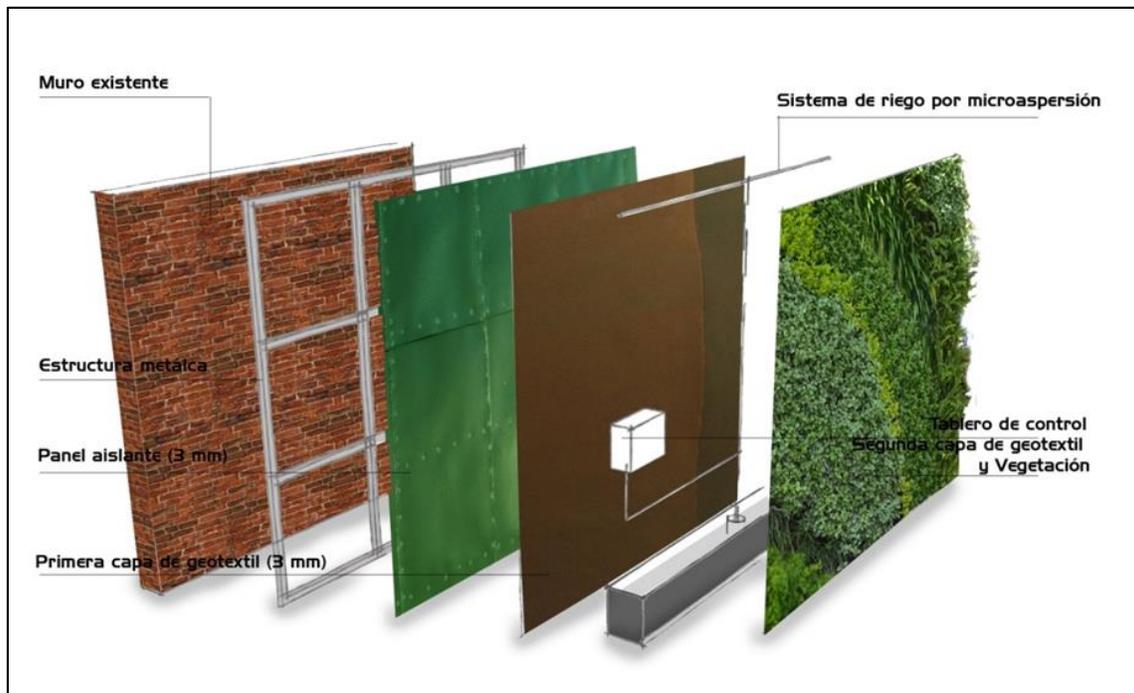


Figura 2. Capas de un jardín vertical
Fuente: Plantica, 2018

2.2 Clasificación de los jardines verticales

Según la guía para la elaboración de techos verdes y jardines verticales elaborada por la Secretaría Ambiental de la Alcaldía Mayor de Bogotá Colombia (2015), los jardines verticales se pueden clasificar de la siguiente forma según su instalación:

- a) Filtro: Sistema que emplea geotextil sobre una estructura con implementación de un sistema de riego automatizado, que no requiere sustrato para el crecimiento de las plantas ni mantenimiento diario.



Figura 3. Jardín vertical tipo filtro
Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá, 2015

- b) Bolsillos: Consiste en bolsas de Geotextil donde se colocan las plantas, permite una instalación sencilla y paulatina; Sin embargo requiere de riego de forma manual y un mantenimiento más periódico, además, se requiere la colocación de un sustrato para el crecimiento de la planta.

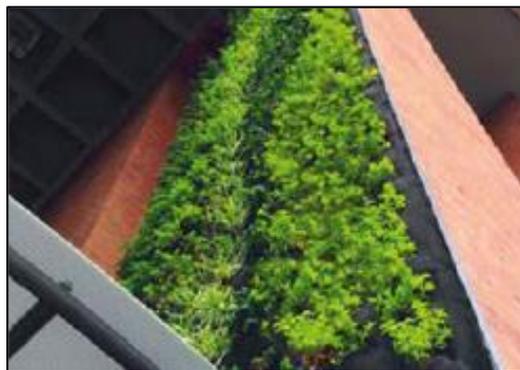


Figura 4. Jardín vertical tipo bolsillos
Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá, 2015

- c) Contenedores de plástico: Contenedores de alta perdurabilidad y peso ligero, en donde se coloca un sustrato necesario para el crecimiento de la planta. Requiere mantenimiento constante, de un sustrato y riego de forma manual.



Figura 5. Jardín vertical tipo contenedor plástico
Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá, 2015

- d) Malla metálica: Sistema modular instalado sobre una estructura metálica, permite la pre-siembra, en este tipo de jardín vertical la planta requiere del contacto con el suelo para el crecimiento de sus raíces.



Figura 6. Jardín vertical instalado sobre malla metálica
Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá, 2015

- e) Sistema Flotante: Consiste en el diseño de tenso estructuras, que permiten el desarrollo de plantas trepadoras o enredaderas sobre la fachada de una edificación

para generar sombra, requieren de maceteros y de un sustrato para el desarrollo de la planta.



Figura 7. Jardín vertical flotante
Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá, 2015

Para el caso de esta investigación el estudio se realizará en jardines verticales tipo fieltro; ya que son los que requieren mantenimiento menos periódico, no requieren de sustrato o contacto con el suelo, por lo que su aplicación es versátil; aunque de mayor complejidad en el proceso constructivo.

2.3 Efecto isla de calor

En las superficies de edificaciones y pavimentos la absorción térmica en comparación a la que tiene la vegetación y superficies sobre el suelo es mucho menor, lo que provoca temperaturas más altas en zonas urbanas, con diferencias que puede estar entre 4° y 5° en las madrugadas, a este fenómeno se le conoce como isla de calor (Montalvo, 2014).

Por otro lado, los materiales empleados en la construcción que encontramos en las ciudades no reflejan gran parte de la energía que nos llega del sol a lo largo del día, acumulando aún más calor y provocando temperaturas extremas en las ciudades durante horas del día de altas temperaturas (Piñero, 2017).

En esencia, los materiales como el concreto y el asfalto absorben calor durante el día principalmente durante las horas del mediodía cuando las temperaturas son mayores y liberan ese calor durante las horas de la tarde y noche provocando que se mantengan temperaturas altas durante esas horas cuando la temperatura debería bajar debido a la disminución de la radiación solar (Chandler, 2018).

El fenómeno se principalmente a las siguientes causas (Blender, 2015):

- La capacidad térmica de los materiales de construcción de absorber energía solar, su baja reflectancia, reflexión de calor entre superficies y un aumento en el área abarcada por estos.
- La obstrucción de los movimientos de aire por la presencia de los edificios que dificultan la salida de masas de aire caliente y la entrada de aire frío durante las noches.
- Reducción de la evapo transpiración debido a la reducción de la vegetación y el aumento del pavimento impermeable
- Emisión de calor antropogénico y de contaminantes atmosféricos que provocan una capa de niebla toxica que dificulta aún más la salida de calor durante las noches.

El efecto de isla de calor depende principalmente de la modificación que se realiza en zonas urbanas, y depende de varios factores: los cañones urbanos, las propiedades térmicas de los materiales de construcción, la sustitución de zonas verdes por superficies que limitan la evapo transpiración y la disminución de albedo urbano (Susca, Gaffin, & Dell’Osso, 2011). En la figura 8 se muestra las diferencias de temperatura en diferentes zonas dentro de una ciudad.

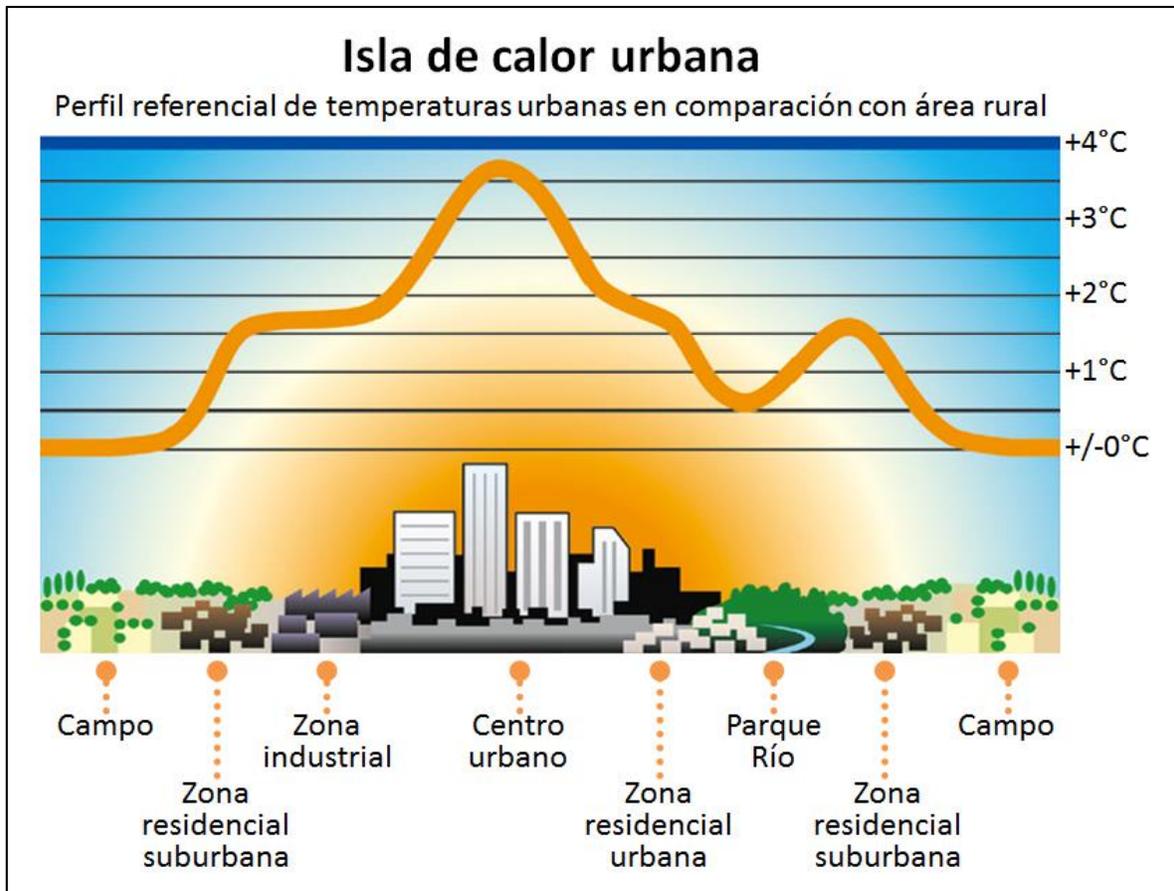


Figura 8. Efecto de isla de calor
Fuente: Blender, 2015

2.4 Humedad relativa

Se conoce como humedad relativa a la cantidad de agua o vapor de agua que está presente en el aire. Esta humedad llega al aire a través de la evaporación de agua mediante diversos sistemas naturales como la evapotranspiración de las plantas, respiración y transpiración de seres vivos, evaporación de los océanos y procesos industriales y domésticos como el agua que se evapora en las cocinas (Verger, 2017).

Cuando el aire ya no puede absorber más vapor de agua se llega al punto que se conoce como cantidad de saturación, valor de saturación o vapor de saturación. Si la temperatura de un ambiente aumenta, también aumenta el vapor de saturación en un mismo volumen. Por lo que el aire frío, por lo general, no es capaz de contener mucha agua (Verger, 2017).

Teniendo claro qué es la humedad y qué es el vapor de saturación, podemos empezar a hablar de humedad relativa y humedad absoluta:

- La humedad absoluta (HA): es la cantidad de vapor de agua contenida en un m³ de aire y expresada en g/m³.
- La humedad relativa (HR): es la relación entre la humedad absoluta y el vapor de saturación por lo que normalmente se expresa en %.

La humedad relativa ideal de una habitación se encuentra entre el rango entre los 30 a 50 por ciento, con valores aceptables hasta un valor de 70 por ciento (Murprotec España, 2005).

Cuando la humedad presenta valores fuera del rango aceptable empiezan a parecer problemas de diversos tipos entre los que se puede mencionar, problemas respiratorios o infecciones provocados por la sequedad de la mucosa; además de daños a la estructura como agrietamiento del concreto y contracción de la madera cuando los valores de humedad son inferiores al 30 por ciento, de igual manera cuando los valores de humedad superan el 70 por ciento se empiezan a presentar problemas como el crecimiento de moho y el desarrollo de plagas (Murprotec España, 2005).

2.5 Efecto de CO₂ en las edificaciones

Más allá de las consecuencias sobre el planeta (calentamiento global, alteración de los sistemas biológicos, etc.), las altas concentraciones de CO₂ problema que repercute directamente en el ser humano. Es importante destacar los siguientes aspectos (Mairal, 2013):

- El CO₂ es un gas presente en la atmósfera de forma natural en una concentración de 250 a 350 ppm.
- 350 a 1000 ppm es la concentración de calidad aceptable en un recinto cerrado. Tal es el caso de una edificación.
- De 1000 a 2000 ppm, la calidad del aire es considerada baja.
- De 2000 ppm a 5000 empieza a causar problemas (dolor de cabeza, insomnio, náuseas). Es aire viciado.

- A partir de 5,000 ppm alteran la presencia de otros gases presentes en el aire, creándose una atmósfera tóxica o deficiente en oxígeno de consecuencias fatales según incrementa la concentración.

Recurrir a fuentes de energía renovables en nuestras casas y negocios, controlar el consumo de recursos naturales, segregar selectivamente nuestros residuos, plantar árboles para compensar nuestra "huella de carbono" u optimizar nuestros desplazamientos son pequeñas manifestaciones de nuestro cambio de mentalidad hacia el objetivo global: el consumo responsable de recursos naturales.

Según el diario "La Republica" en Costa Rica las emisiones de CO₂ en el 2014 marcaba 1,6 toneladas de emisiones por habitante; cifra que subió al compararlo en 2000 cuando era de 1,4. Provocando que sobrepase las emisiones promedio de la región (Barquero, 2017).

Según el director de la Asociación de Edificación Sostenible Green Building de España, Luis Álvarez Udem el sector de la construcción tiene un impacto medioambiental significativo por la producción de materiales, transporte de los mismos, construcción y mantenimiento de edificios y por el posterior derribo de este una vez alcanzado el final de su vida útil. Es necesario fomentar la sostenibilidad en la edificación, ha dicho, ya que la eficiencia energética en la construcción es clave en la lucha contra el cambio climático (La Vanguardia ediciones, 2010).

El uso abusivo del aire acondicionado, afirma Luis A.Udem, es "la consecuencia de la insuficiente preparación de los edificios para aislarse del calor que no contempla una regulación en el proceso de construcción".

2.6 Velocidad y dirección del viento

El viento es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal, a lo largo de la superficie terrestre. La dirección, depende directamente de la distribución de las presiones, ya que este tiende a moverse desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas.

El estudio de estos fenómenos es importante en edificaciones; ya que contribuyen como fuerzas que actúan sobre estas y es un parámetro a considerar para dimensionar estructuras de edificios como silos, grandes galpones y edificaciones elevadas. Además, el viento tanto dentro como fuera del edificio arrastra consigo condiciones, como humedad, temperatura y sedimentos que varía el microclima de la edificación (Empresa Canaltiempo21, 2003).

2.7 Confort en las edificaciones

El término "habitabilidad" en una edificación engloba una serie de aspectos, que se plantean como esenciales para la construcción de edificaciones con un adecuado nivel de calidad y confort. Puede afirmarse que la calidad de una construcción se caracteriza por la mayor o menor satisfacción de los ocupantes de una edificación, las cuales vienen dadas por factores objetivos y subjetivos (Hobaico & Cedre de Bello, 2006).

El factor objetivo se plantea en términos de las exigencias humanas respecto a la edificación, mientras que el factor subjetivo se refiere a la calidad de vidas que pueda ofrecer dicha edificación. Según las arquitectas Hobaico & Cedre de Bello, 2006; para lograr los requerimientos de habitabilidad de una edificación se contemplan los siguientes ámbitos:

- Localización
- Seguridad
- Áreas mínimas
- Calidad espacial
- Higiene
- Protección ambiental
- Iluminación y calidad de luz
- Comportamiento acústico y térmico, etc

Para lograr el confort deseado existen dos diferentes tipos de estrategias de climatización, las cuales son las pasivas y activas.

- **Estrategias de diseño pasivas:** Son aquellas que se aplican al diseño arquitectónico con el fin de aprovechar las características del entorno, reduciendo la necesidad de instalaciones o instrumentos adicionales para alcanzar el confort. Son

las más difíciles de diseñar y de controlar, su efecto es continuo, pero con menor intensidad y su efecto esta propenso a verse afectado por factores externos (GestorEnergético.com, 2018). Los jardines verticales son un tipo de estrategia pasiva pues su efecto no requiere el consumo permanente de energía y su efecto es continuo.

- **Estrategias de diseño activas:** Son metodologías cuyo uso requiere de consumo de energía, su efecto es mucho más perceptible pero su uso prolongado puede llegar a ser muy costoso un ejemplo tipo de este tipo de estrategia de climatización son los sistemas de aires acondicionados pues requiere de un gasto considerable de energía para su funcionamiento y aunque su efecto tiene mayor intensidad su efecto se disipa después de que este se apaga (GestorEnergético.com, 2018).

2.8 Normas y reglamentos aplicables a jardines verticales

Una normativa aplicable a los jardines verticales es la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) la cual fue desarrollado por la USGBC (United States Building Council) con el fin de promover edificaciones bajo ciertos parámetros de eficiencia ambiental (usgbc.org, 2016).

Los Jardines verticales según la normativa LEED puede potencialmente puntuar en las siguientes categorías:

1. Ciudades sostenibles: Los jardines verticales exteriores retienen el agua y reducen el caudal máximo de agua de lluvia. También puede ser considerado como un tratamiento al agua ya que retiene partículas sólidas y otros contaminantes. Además, evitan el efecto isla de calor, disminuyendo la acumulación de calor durante el día.
2. Paisajismo de eficiencia hídrica: puede ser diseñado de acuerdo a la zona, con plantas que no requieran riego adicional.

3. Atmosfera y energía: El uso de jardines verticales pueden llegar a disminuir inclusive hasta un 50% el uso de energía en algunos tipos de edificios. Esta disminución en la demanda es gracias al uso de aparatos para el aire acondicionado menos potentes y más baratos (ecotelhado, 2013).
4. Innovación y diseño: Puede también ser considerado como una innovación en diseño por mejorar el lugar de trabajo, creando espacios para el ocio y la contemplación de la naturaleza. Además, reduce hasta en un 40% la interferencia de ruido externo (ecotelhado, 2013).

Otra certificación similar a la anterior es la certificación BREEAM perteneciente a Europa, la cual es una herramienta para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios desarrollada por el Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido. Entre sus áreas de calificación se encuentra la de urbanismo la cual evalúa los impactos ambientales resultantes de la urbanización y evalúa la sostenibilidad de acuerdo a ocho categorías de sostenibilidad, de las cuales la instalación de los jardines verticales permite aportar puntos en las siguientes 5 categorías que se muestran a continuación (Igne Green Urban Garden, 2016):

1. Clima y Energía: Que evalúa de adaptación y mitigación de la forma edificada.
2. Diseño del Lugar: diseño y distribución del área local.
3. Ecología: protección del valor ecológico del lugar.
4. Recursos: uso sostenible de los recursos.
5. Edificios: prestaciones de sostenibilidad generales de los edificios.

Otra normativa más enfocada al tema de confort en espacios dentro de las edificaciones es la normativa ASHRAE por su nombre en inglés "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" es una asociación de tecnología para edificios que se enfocan en los sistemas de eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria (ASHRAE, 2018).

De manera más puntual la Secretaría Distrital del ambiente a cargo de la Alcaldía Mayor de Bogotá Colombia, en su resolución 6619 de diciembre del 2011 establecen las características y condiciones para el diseño e implementación de jardines verticales en el distrito capital. Donde se establecen las características generales y especificaciones técnicas, tramites de autorización e implementación y las disposiciones finales sobre los jardines verticales en el distrito capital (Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá Colombia, 2011).

Actualmente en Costa Rica no existe normativa o reglamentos aplicables a jardines verticales o a la construcción sostenible en general.

CAPÍTULO 3

3 Descripción de la metodología utilizada

La investigación se realizó en 4 fases que se detallan a continuación:

3.1 Determinación del proceso constructivo

Tal y como se mencionó anteriormente, existen varios tipos de jardines verticales con distintos métodos constructivos. Por lo que se hizo una revisión previa de los distintos tipos de jardines y se decidió estudiar los jardines verticales tipo fieltro, ya que es mucho más adaptable a diferentes condiciones, no requiere mantenimiento diario, es automatizado y no requiere el uso de sustrato el cual acarrea diversidad de complicaciones.

Se trabajó en conjunto con el gerente general de Plantica en Costa Rica Alberto Montalvo Pacheco, para realizar un instructivo de construcción mediante la información recopilada y el registro fotográfico de la construcción del jardín vertical ubicado en la recepción de las oficinas centrales del Canal de televisión Enlace.

3.2 Medición de parámetros en jardines verticales

3.2.1 Ubicación de los sitios de estudio

Para la medición de parámetros, se utilizarán dos edificaciones con jardines verticales una de ellas son las oficinas de Gestión Técnica de Información (GTI), en Curridabat de San Pedro. Ubicada 600 m este y 500 Norte del multiplaza (ver Figura 9).



Figura 11. Jardín vertical en las oficinas de GTI

Tal y como se observa en la figura anterior, este jardín se encuentra en el exterior con dirección hacia el sur, y no está techado por lo que si tiene incidencia de factores externos como lluvia y algunas horas de sol.

Esta zona de estudio consta de un cuarto exterior que es donde se encuentra el jardín, posee un ventanal con ventanas corridísimas con dirección hacia el oeste que comunican la zona exterior con la sala de reuniones y es por donde se da la entrada de luz solar y de corrientes de aire del exterior.

Por otra parte, en el edificio de Enlace se tiene dos jardines el jardín principal tiene un área mucho mayor que el anterior con un área de 25 m² aproximadamente y se encuentra en la recepción del edificio muy cerca de la entrada principal del edificio tal y como se muestra en la figura 12 y 13.

La recepción cuenta con dos entradas, la principal es la que se muestra en la figura 12 y es la única que permanece abierta por lo que es la única entrada de aire del exterior, y está ubicada frente al jardín con dirección hacia el este. En general toda la fachada este de la recepción son ventanales, por lo que la incidencia de luz solar se da con mayor intensidad

durante la mañana; sin embargo por la arquitectura del edificio la incidencia de luz solar no se da de manera directa en el interior, el resto de la recepción son pasillos y áreas de estar hechos de material liviano.



Figura 12. Entrada edificio de Enlace



Figura 13. Jardín vertical principal en la recepción de Enlace

El jardín secundario tiene un área mucho menor con 3 m², y tiene la forma del logotipo de Enlace por lo que es redondo; este jardín está ubicado en un costado del escritorio de recepción en uno de los pasillos que dan al interior del edificio, en la figura 14 se puede observar la ubicación y el detalle de dicho jardín.



Figura 14. Jardín vertical secundario en la recepción de Enlace

3.2.2 Equipo de medición

Mediante el uso de equipo de medición continua facilitado por el Laboratorio de Arquitectura Tropical y el Laboratorio de Ingeniería Ambiental ambos de la UCR, los cuales se colocarán en puntos estratégicos como las entradas, las zonas de tránsito de las personas, lugares cercanos a la ubicación del jardín, habitaciones continuas, etc; de forma que se pueda percibir el efecto del jardín a lo largo del lugar y en habitaciones cercanas; además se realizarán encuestas a los ocupantes de la edificación para determinar su grado de confort.

Como lo que se quiere lograr con este estudio es determinar como un jardín vertical puede mejorar las condiciones ambientales en las edificaciones se estudiaron los parámetros que pueden afectar tanto el confort de los ocupantes como el estado de la misma. Para ello se usó como base la normativa ASHRAE la cual considera entre los parámetros más relevantes en el estudio de confort de una habitación la temperatura, la presencia de luz y el ruido.

Aparte de los parámetros se considera que la calidad del aire es un parámetro de gran importancia; ya que puede afectar la calidad de vida de las personas y por último se tomó en cuenta la humedad del lugar debido a que porcentajes fuera del rango recomendado puede provocar daños tanto a la edificación como problemas respiratorios en las personas.

Para este estudio se decidió no medir el ruido en el lugar, ya que al tratarse de un edificio de oficinas ubicado dentro de una zona residencial los niveles de sonido siempre se iban a mantener por debajo de los límites sin considerar que el efecto del jardín iba a ser imperceptible a tratarse de niveles bajos de sonido dentro de una distancia muy corta.

Para la medición de los parámetros antes mencionados se utilizó el siguiente equipo de medición:

Medidores HOBO U-12-012: Miden la Humedad Relativa, Intensidad de la luz y temperatura. En la figura 15 se muestra dicho medidor.



Figura 15. Medidor HOBO U-12-012
Fuente: ONSET, 2012

Posee las siguientes características (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Características del medidor HOBO U-12-012

	Escala	Precisión	Resolución
Temperatura	-20 ° a 70 ° C	± 0,35 ° C	0.03 ° C
	-4 ° a 158 ° F	± 0,63 ° F	0.05 ° F
Humedad Relativa	10% a 90%	± 2.5%	0.05%
	Por debajo del 10% y por encima del 90%	± 5%	
Intensidad de la luz	1 a 3000 (lumens / ft2)	± 2 (lumens / ft2)	
	Máximo varía de 1500 a 4500 (lumens / ft2)		

Fuente: ONSET, 2012

Medidor Extech Modelo SD800: Miden la humedad relativa, temperatura y velocidad del viento. En la figura 16 podemos observar el medidor mencionado.



Figura 16. Medidor Extech Modelo SD800
Fuente: Extech instrument, 2013

En el cuadro 2, se resumen las características de este medidor.

Cuadro 2. Características del medidor Extech Modelo SD800

	Escala	Precisión	Resolución
Temperatura	00.0 a 50.0 °C	± 0.8°C	0.1°C
	32.0 a 122.0°F	± 1.5°F	0.1°F
Humedad Relativa	10 a 70%	± 4% HR	0.1%
	70 a 90%	± (4% de lectura + 1% HR)	
CO₂	≤1000 ppm	± 40ppm	1 ppm
	>1000 a ≤3000ppm:	± 5% de la lectura	
	>3000ppm	±250ppm típica	

Fuente: Extech instrument, 2013

3.2.1 Montaje del equipo de medición

A continuación, se explica y se muestra la ubicación de los medidores en los dos sitios de estudio. Los números utilizados para identificar cada medidor es acorde al número asignado en los laboratorios que facilitaron su préstamo.

Ubicación de los medidores HOBO U-12-012:

- Recepción del edificio de Enlace canal 23:
 - Medidor #3: Se ubicó en un costado del escritorio de la recepcionista muy cerca donde se encuentra su silla para medir cual es el nivel de confort percibido por ella y el efecto a la par del jardín. En la figura 17 se muestra la ubicación.

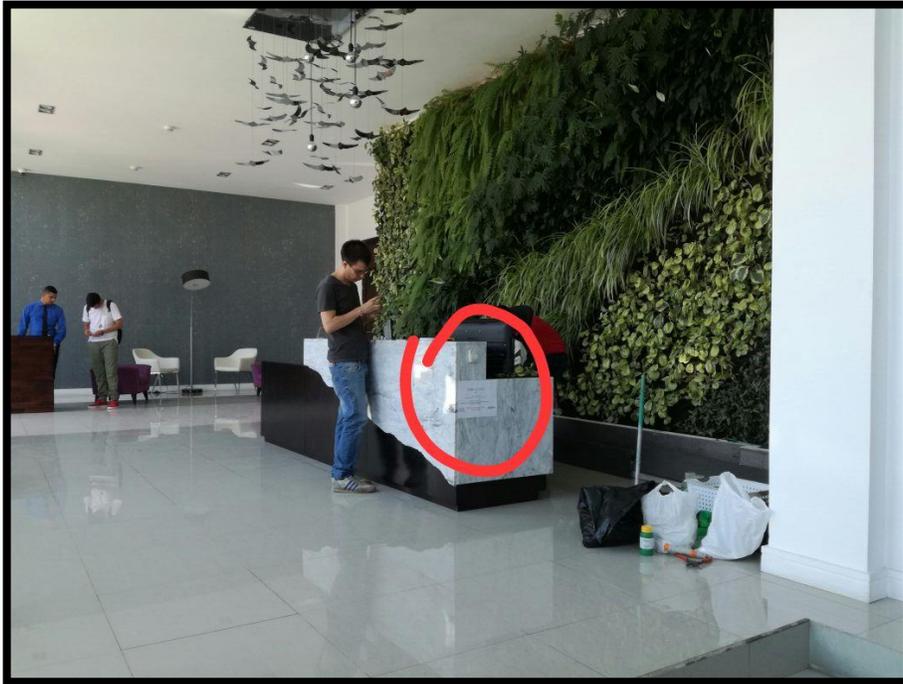


Figura 17. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #3

- Medidor #4: Se ubicó la sala de espera dentro de la recepción para poder medir cual era el efecto en lugares cercanos al jardín (Ver figura 18).



Figura 18. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #4

- Medidor #8: Este medidor se ubicó frente al jardín con la forma del logotipo de enlace, para poder determinar si este jardín a pesar de su tamaño si tenía un efecto perceptible (Ver figura 19).

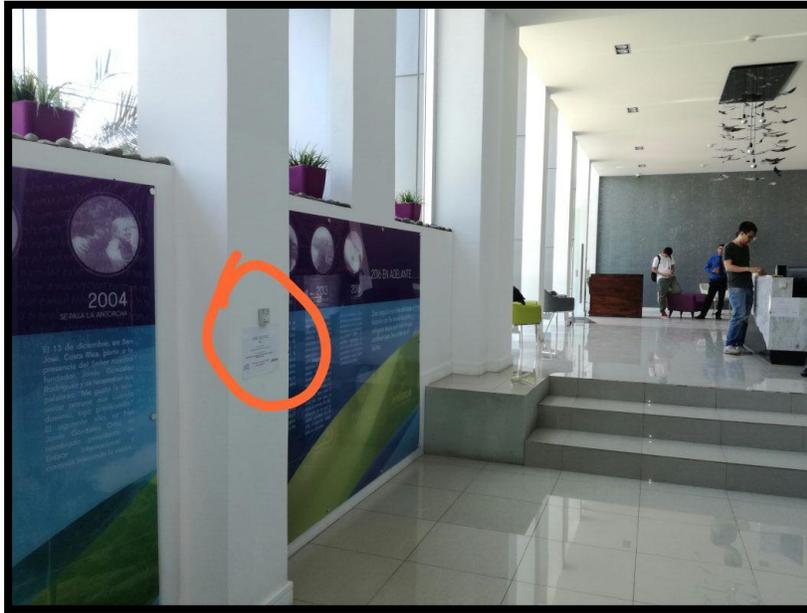


Figura 19. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #8

- Medidor #9: Este medidor se ubicó en la entrada principal de las oficinas de Enlace, del lado exterior para poder medir los parámetros ambientales externos (Ver figura 20).



Figura 20. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #9

- Oficinas de GTI:
 - Medidor #13: Este medidor se ubicó en una zona con características similares a la zona donde está ubicada el jardín, para poder hacer una comparación directa en zonas similares, pero una de las dos sin presencia de jardín (Ver figura 21).



Figura 21. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #13

- Medidor #14: Este medidor se ubicó en un costado del jardín, a una altura y con dirección igual al HOBO #13 de forma que los datos medidos por ambos se pudieran comparar (Ver figura 22).

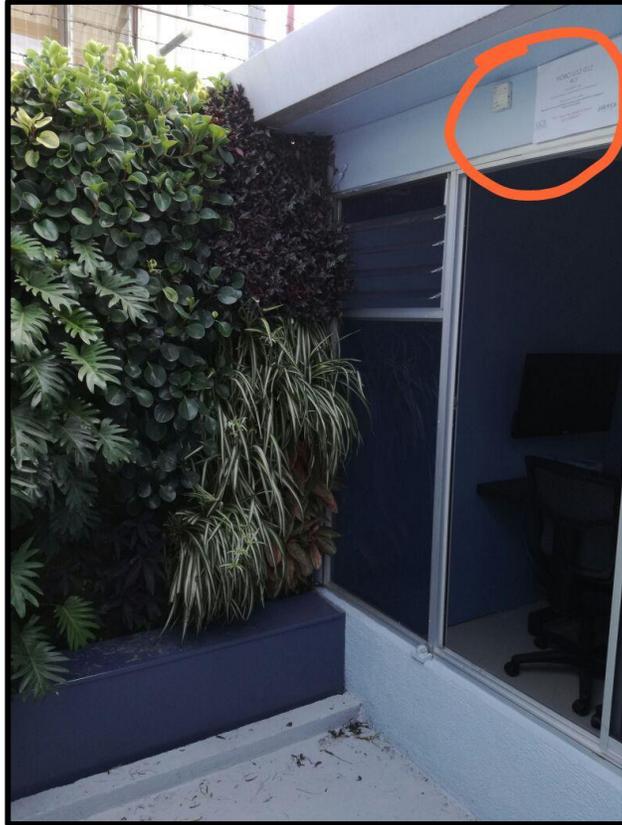


Figura 22. Ubicación del medidor HOBO U-12-012 #14

La medición con los medidores "HOBO U-12-012 #14", se realizó de manera continua hora a hora durante 10 días, comprendidos desde las 12 mediodía del 10 de abril del 2018 hasta las 8 de la mañana del 19 de abril del mismo año. Por razones pertinentes al Laboratorio de Arquitectura Tropical de la Universidad de Costa Rica, se tuvo que devolver el equipo antes de completar los 15 días de medición que se tenían planeados, por lo que se decide realizar las mediciones con los medidores "Extech Modelo SD800" facilitados por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR.

A continuación, se detalla la ubicación de los medidores "Extech Modelo SD800", tanto en la recepción de Enlace como en las oficinas de GTI. Para que los datos obtenidos por ambos medidores fueran comparables se procuró que estos estuvieran ubicados en lugares similares.

Ubicación de los medidores Extech Modelo SD800:

- Recepción del edificio de Enlace canal 23:
 - Medidor #1: De manera similar al HOBO #3, se ubicó en un costado del escritorio de la recepcionista, cerca del jardín principal. En la figura 23 se muestra la ubicación.

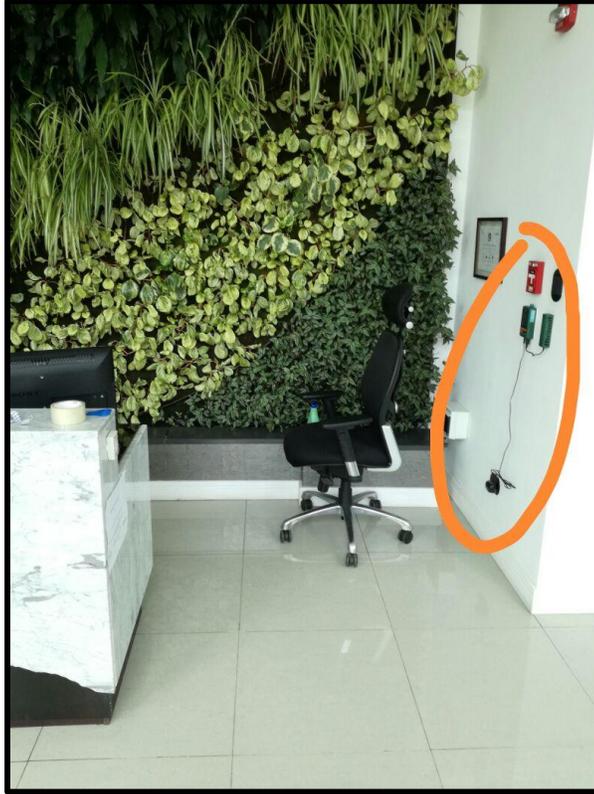


Figura 23. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #1, recepción de Enlace

- Medidor #2: Este medidor se ubicó frente al jardín con la forma del logotipo de enlace a metro y medio de donde se ubicó el "HOBO #8" (Ver figura 24).

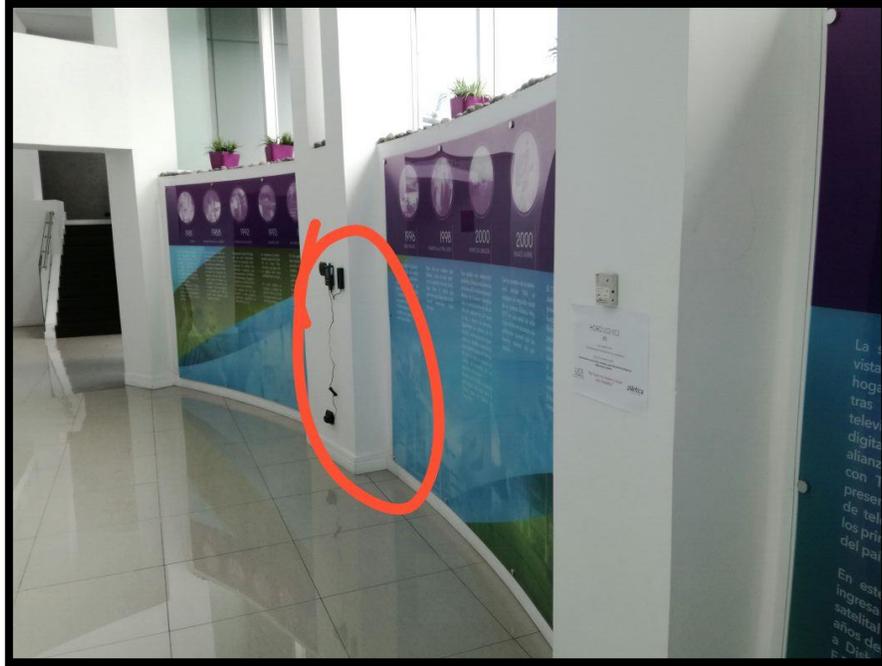


Figura 24. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #2, recepción de Enlace

- Medidor #3: Se ubicó la sala de espera dentro de la recepción, justo en el mismo lugar donde se ubicó el "HOBO #4" (Ver figura 25).



Figura 25. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #3, recepción de Enlace

- Medidor #4: Este medidor se ubicó en la entrada principal de las oficinas de Enlace, en la columna opuesta a donde se ubicó el "HOBO #9". En la figura 20 se puede ver como se marca con color rojo la ubicación del Medidor Extech #4 y con verde donde estaba ubicado el HOBO #9.



Figura 26. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #4, recepción de Enlace

- Oficinas de GTI:
 - Medidor #1: Este medidor se ubicó en un costado del jardín en el mismo lugar donde estaba ubicado el "HOBO #14" (Ver figura 27).



Figura 27. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #1, oficinas de GTI

- Medidor #2: Este medidor se ubicó dentro de la sala de conferencias, ubicada a la par del jardín para medir el confort de sus ocupantes (Ver figura 28).



Figura 28. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #2, oficinas de GTI

- Medidor #3: Este medidor se ubicó en una zona con características similares a la zona donde está ubicada el jardín, en el mismo punto donde se ubicó el "HOBO #13" (Ver figura 29).



Figura 29. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #3, oficinas de GTI

- Medidor #4: De manera similar al medidor "Extech #2" se colocó el medidor "Extech #4" dentro de la habitación contiguo a la zona sin jardín estudiada para determinar la consecuencia debido a la ausencia del jardín en dicha habitación (Ver figura 30).



Figura 30. Ubicación del medidor Extech Modelo SD800 #4, oficinas de GTI

Los medidores "Extech Modelo SD800", midieron de manera continua hora a hora durante 16 días consecutivos en la recepción de Enlace Canal 23, durante el periodo comprendido desde las 9 de la mañana del 19 de abril hasta las 3 de la tarde del 4 de mayo del 2018. Por otro lado, las mediciones realizadas en las oficinas de GTI con los medidores "Extech Modelo SD800", se realizaron durante 9 días en el periodo comprendido en los periodos comprendidos entre el 24 de mayo a las 11 de la mañana y el primero de junio a las 2 de la tarde.

3.3 Análisis de Confort

La interpretación del efecto del confort producido por la presencia del jardín vertical, como ya se mencionó anteriormente se consideró en el estudio del confort la temperatura del lugar, la humedad relativa, la calidad del aire, incidencia a la luz y por último la percepción y opinión de los ocupantes. El estudio del confort se realizó de tres formas que se explican a continuación:

- Comparación de dos habitaciones con y sin presencia de jardín:

Para este caso se utilizaron las instalaciones de GTI, ya que tenía la facilidad de tener una habitación con características muy similares a la habitación con el jardín vertical. En la figura 31 se puede observar la comparación entre ambas habitaciones, a la derecha se observa la habitación con jardín y a la izquierda la habitación sin jardín.



Figura 31. A) Habitación sin jardín, B) Habitación con jardín

Como se puede observar ambas habitaciones tienen una habitación contigua separada por una puerta corrediza de vidrio, ambas están expuestas a luz solar y a la lluvia, las dos tienen la misma dirección y su tamaño es muy similar; ya que la que tiene el jardín tiene dimensiones de 3x2 m y la otra de 1,5x5 m.

- Análisis mediante un modelo:

Para el análisis del confort térmico generado por el jardín vertical ubicado en las instalaciones de Enlace canal 23, se utilizó el programa de simulación de comportamiento climático digital "Ecotec" del grupo "Autodesk". Este programa permite realizar las simulaciones climáticas con un alto nivel de precisión una vez a partir de la creación de un archivo climático personalizado por medio de la plataforma llamada "Weather Tools" la cual es una extensión contenida dentro del mismo software. El modo de poder crear este archivo

depende de la inserción correcta de datos muy específicos (de al menos cada hora tomada en un plazo de un año) proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN).

Gracias a los datos facilitados por el Laboratorio de Arquitectura Tropical de la UCR, los cuales habían sido previamente brindados por el IMN mediante una solicitud formal se logró usar la estación óptima para este estudio, la cual resulto ser la Estación Meteorológica Aeropuerto Internacional Tobías Bolaños ubicada en Pavas.

Tal y como se muestra en el cuadro 3; la estación provee: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, y dirección del viento. Todos estos datos pertenecientes al intervalo de años que va desde el 2008 hasta el 2016, a partir de esta información se obtuvo el promedio durante estos años para obtener un año tipo representando con un alto nivel de fidelidad las condiciones climáticas de la región de estudio.

Cuadro 3. Datos meteorológicos de la estación meteorológica Tobías Bolaños

				2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	PROMEDIO
	dy	hr											
1	1	1	1	18,5	20,1	19,8	19,9	20	20,6	20,8	21,8	20,19	
1	1	1	2	18,4	19,9	19,7	19,7	19,8	20,9	20,2	21,5	20,01	
1	1	1	3	18,3	19,6	19,9	19,4	19,6	20,7	20	21,7	19,90	
1	1	1	4	18,2	19,4	19,5	19,4	19,4	20,7	19,9	21,1	19,70	
1	1	1	5	18,3	19,3	19,7	19,3	19,3	20,5	19,9	21,2	19,69	
1	1	1	6	18,1	19,2	19,3	19,2	19,9	20,5	20,1	21,1	19,68	
1	1	1	7	18,7	20	19,7	19,7	20,2	20,5	20,2	21,2	20,03	
1	1	1	8	19,8	21,6	21,6	20,9	21,2	22	21	21,8	21,24	
1	1	1	9	20,8	22,2	23	22,2	23	22,8	22	23,4	22,43	
1	1	1	10	21,8	22,9	24,2	23,2	24	23,8	22,2	24,6	23,34	
1	1	1	11	22,3	24,2	25	24,2	25,3	24,6	22,4	24,8	24,10	
1	1	1	12	23,4	24,6	25,5	25,2	25,5	24,2	22,9	25,4	24,59	
1	1	1	13	22,9	24,5	26,1	24,7	25,7	24,3	23,2	26	24,68	
1	1	1	14	22,1	25	25,9	24,8	25,5	23,7	24,1	25,5	24,58	
1	1	1	15	21,9	24,7	25,5	24,5	25,1	22,9	24	24,8	24,18	
1	1	1	16	21,2	24,2	25,3	24,1	23,7	23,6	23,6	24,2	23,74	
1	1	1	17	20,4	22,9	23,7	22,8	22,4	22,1	22,5	23,1	22,49	

Fuente: IMN, 2017

El proceso que se utilizó para la creación del archivo climático en Ecotect consistió de los siguientes pasos:

1. Primero se debe organizar los datos climáticos en columnas de Excel, cuyo orden sea conocido y guardarlo en formato "csv".
2. Se abre la extensión de Ecotect llamada "Weather tools", Una vez abierto se debe ingresar a "File", "Open", "Separated Values Files" y se busca el archivo "csv" anteriormente creado.
3. Una vez agregado el archivo se seleccionan las variables siguiendo un orden coherente según el orden de las columnas, verificando que las unidades esten bien y realizando conversión de las unidades de ser necesario, tal y como se muestra en la figura 32.

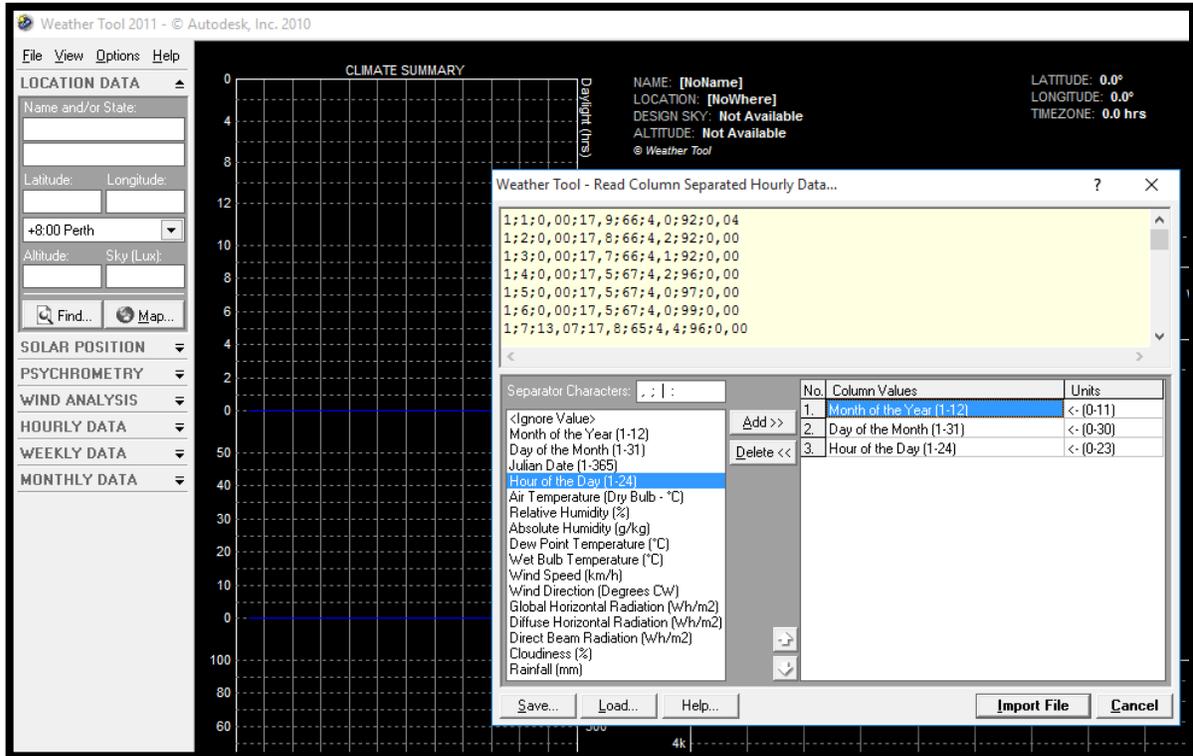


Figura 32. Inserción de datos en Weather tool

4. Una vez terminado guarde el archivo con la información pertinente incluyendo: latitud, longitud y altura, en file, save as, weather data file.
5. Una vez creado el archivo es importante verificar si las variables proveen la descripción grafica fiel a los datos insertados. Por lo tanto, se recomienda que se verifique las opciones de: resumen mensual, semanal y horario para poder estar seguros de que la información recibida es la correcta. En la figura 33 se logra observar el climograma terminado.

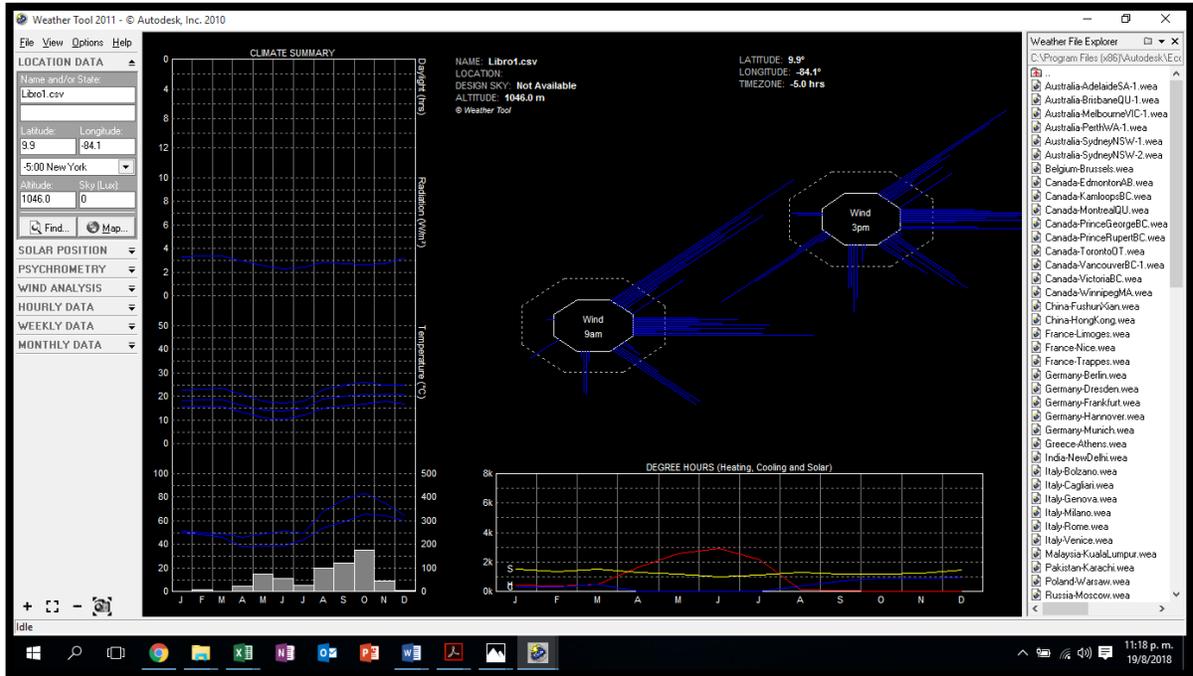


Figura 33. Climograma de Pavas
Fuente: Autor

Una vez terminado el archivo climático para la zona se procedió a realizar el modelo del lugar en estudio, para ello se realizó un levantamiento a partir de un distanciómetro. Para este caso se utilizó un distanciómetro de la marca “LEICA”, modelo Disto D510 cuyas características se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características del distanciómetro LEICA Disto D510

Rango de medición	0,05 a200 m
Precisión	± 1 mm
Unidades de medida	m, ft, in, yd
Ø del puntero láser	6, 30, 60 mm
Tipo de protección	IP65 (protección contra agua y polvo)

Fuente: LEICA Instruments, 2018

Además, se utilizó la aplicación para teléfonos inteligentes llamada “Magicplan”, con la cual se hizo un plano de sitio el cual se muestra en la figura 34.

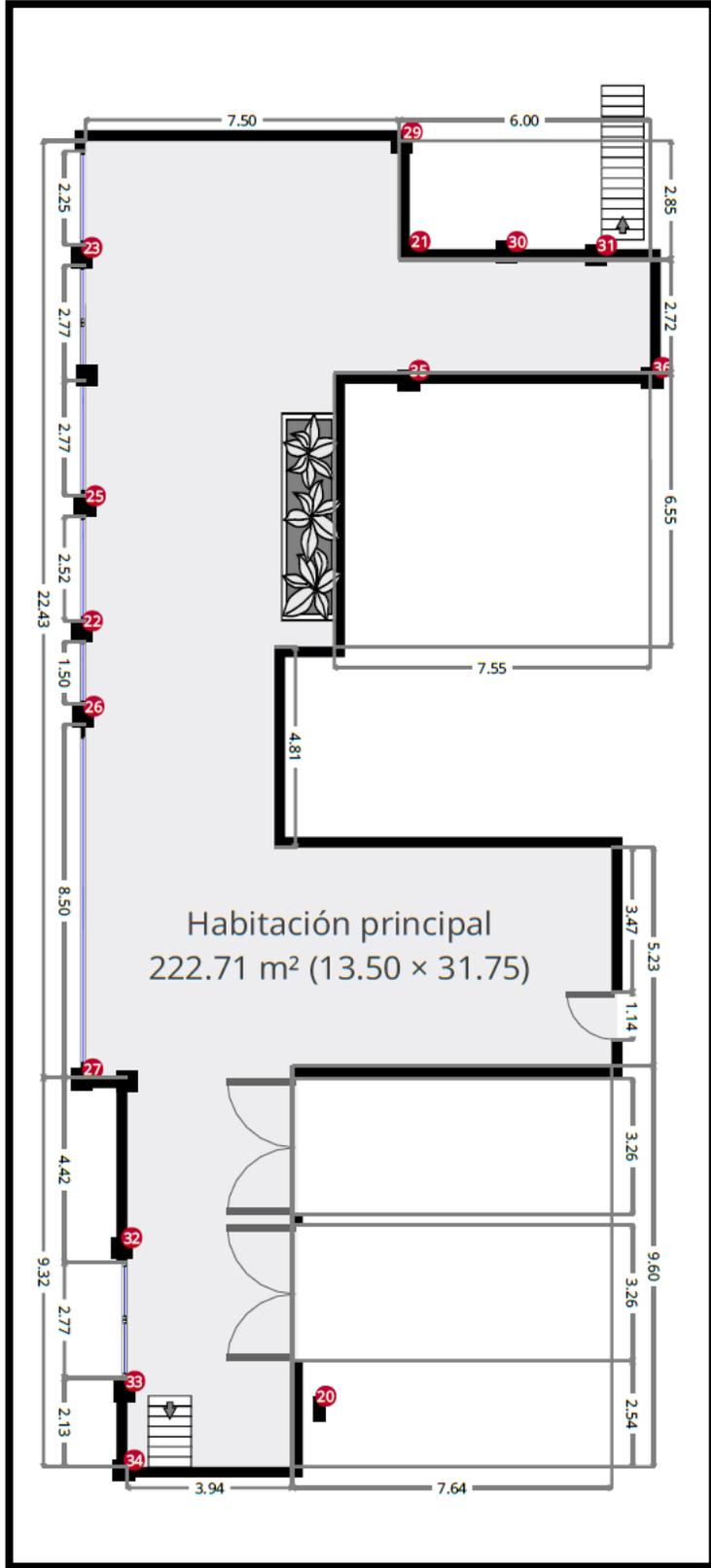


Figura 34. Plano de Sitio, recepción de Enlace TV

Fuente: Autor

A partir del plano de sitio previamente mostrado y visitas al sitio, se realizó el modelo de "ecotect". Cabe destacar que para la creación del modelo es necesario conocer y corroborar todas las dimensiones, los materiales de todos los elementos, los espesores de los mismos y su orientación y ubicación; ya que toda esta información es necesario para la correcta creación del modelo. En la figura 35 se observa una vista del modelo terminado.

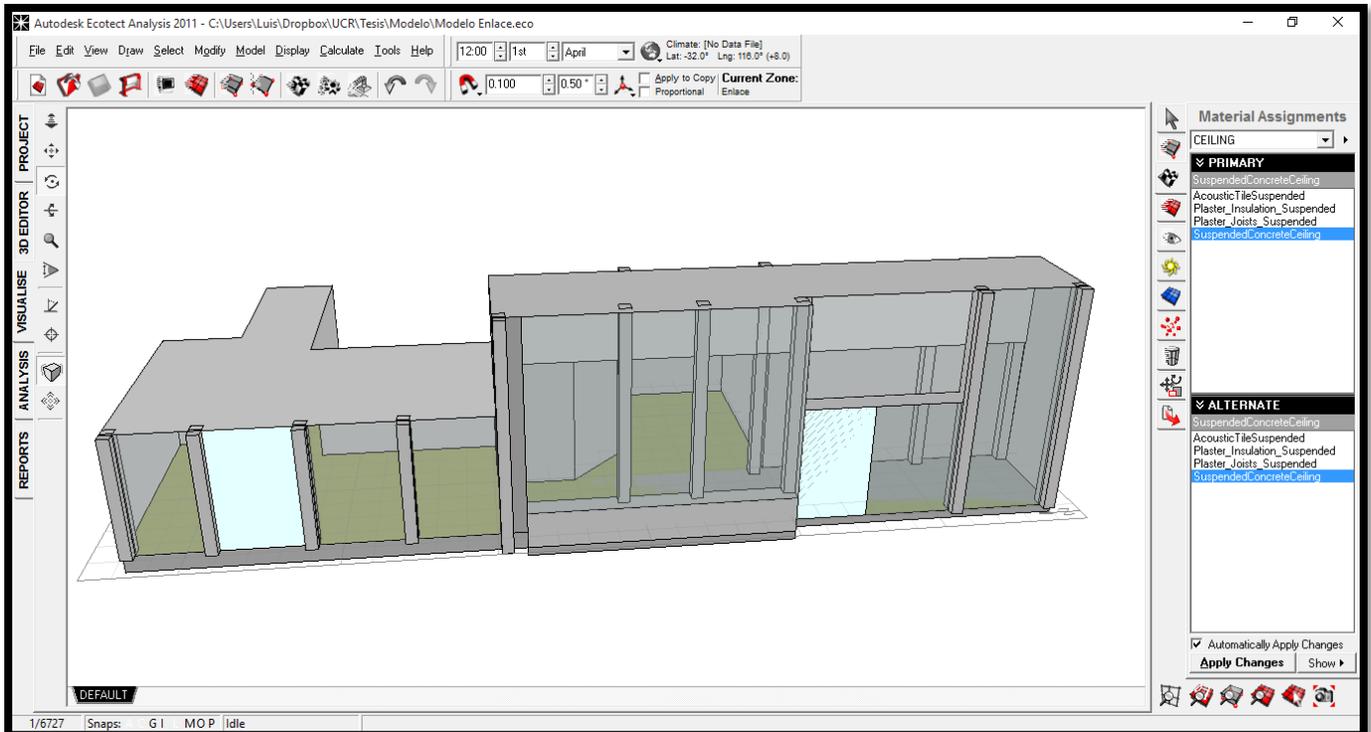


Figura 35. Modelo de la recepción de Enlace TV

- Opinión de los ocupantes:

Para poder determinar si realmente hay un cambio en el confort percibido por los ocupantes de una edificación es necesario la opinión de las personas que ocupaban dicha edificación, para ello se realizaron encuesta en las instalaciones de enlace. En el anexo 1, se muestra la encuesta aplicada.

La encuesta fue basada en la normativa ASHRAE y se realizó durante los días 8,9 y 10 de agosto del 2018 y se realizó dos veces durante esos días, una en la mañana y otra en la tarde, en promedio de 15 a 20 personas del total de 65 personas aproximadamente que ocupan que transitan esta área se entrevistó en cada turno. En general, se trataban de personas adultas en su mayoría de mediana edad.

3.4 Comparación con alternativas artificiales

Una vez se determinó el efecto del jardín vertical en el ambiente donde este estaba ubicado, se procedió a comparar esta alternativa con alternativas de climatización tradicionales tales como los aires acondicionados, para ello se contactó con un proveedor de aire acondicionado de la región y se realizó una comparación tomando en cuenta la mejora en el confort dentro de la edificación generada por cada uno, los costos tanto iniciales como a lo largo de su uso, su facilidad constructiva e implementación; y finalmente, las ventajas y desventajas de cada uno de estos.

CAPÍTULO 4

4.1 Descripción del método constructivo y precio de un jardín vertical

Para la descripción del proceso constructivo de un jardín vertical se usara como ejemplo el jardín instalado en la recepción de Enlace el cual es de tipo fieltro, se debe considerar que la metodología constructiva, implementación y materiales pueden variar si el jardín vertical es de otro tipo.

Los materiales a utilizar son los siguientes:

- Tiras de acero.
- Tanqueta plástica de PVC.
- Una bomba.
- Tablilla plástica.
- Geotextil.
- Plantas hidropónicas

La cantidad de materiales a utilizar varía según el tamaño del jardín pero en general son los mismos para todos los jardines tipo fieltro.

A continuación, se describen los pasos usados durante la construcción del jardín vertical ubicado en la recepción de las oficinas de ENLACE:

1. Se debe preparar la superficie donde se ubicará el jardín, para ello se deja libre la pared o muro.
2. Se construye la estructura sobre la que se colocara el jardín esta puede ser fabricada en acero en cuadros de 0,5x0,5 m y se construye el tanque del sistema el cual puede es una tanqueta plástica, PVC o de concreto impermeabilizado.
3. Se ancla la estructura a la pared o muro con tornillos, para ello se debe tener cuidado de que esta quede firme y que las paredes tengan el espesor y la resistencia

suficiente para soportar la misma, cabe destacar que en general la carga que provocada por el sistema es muy baja y en su mayoría es generada por la estructura. En la figura 36 se muestra la estructura y el tanque.



Figura 36. Colocación de la estructura sobre la pared existente
Fuente: Montalvo, 2017

4. Una vez colocada la estructura se coloca sobre esta tablilla plástica con tornillos para techo para aislar e impermeabilizar la pared (ver figura 37).



Figura 37. Tablilla plástica sobre la estructura
Fuente: Montalvo, 2017

5. Sobre las tablillas plásticas se coloca el geotextil a todo lo largo donde se colocarán las plantas y debajo de este en la parte superior una manguera perforada para riego, tal y como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Colocación del geotextil
Fuente: Montalvo, 2017

6. Cuando ya se tiene lista la base, se procede a buscar las plantas. Se debe tomar en cuenta que los tipos de planta dependen del gusto de cada persona y se debe considerar si el jardín estará ubicado en el interior o exterior al elegir el tipo de planta, en general se recomiendan usar plantas de follajes, helechos o suculentas las cuales se pueden conseguir fácilmente en un vivero y son de crecimiento rápido.



Figura 39. Plantas colocadas en el jardín vertical de ENLACE
Fuente: Montalvo, 2017

Para este jardín se utilizaron un total de 600 plantas de 7 tipos diferentes, entre las cuales se encuentran helechos, peperonias, etc.

7. Se recomienda dar la separación a los diferentes tipos de planta para forma al jardín mediante piezas de acero tal y como se muestra en la figura 40. Este paso es opcional pero se recomienda tener diferentes tipos de plantas para evitar que en caso de una plaga se vea afectado todo el jardín.



Figura 40. Separación de las diferentes plantas
Fuente: Montalvo, 2017

8. Se colocan las plantas sobre el geotextil, para ello se corta el geotextil y se forman pequeñas bolsas que se llenan con las plantas y se engrapan tal y como lo muestra la figura 41.



Figura 41. Colocación de las plantas en el geotextil

Fuente: Montalvo, 2017

Se debe tomar en cuenta que este sistema no necesita de la presencia de sustrato para el crecimiento de las plantas, por lo que se debe colocar las raíces limpias dentro del geotextil.

9. Se continúa el proceso de colocación de las plantas en todo el resto del jardín a partir del diseño que se haya propuesto previamente, se recomienda usar varios tipos de plantas para que en caso de que se dé una plaga en una planta se pueda controlar fácilmente.



Figura 42. Colocación de plantas a lo largo del jardín
Fuente: Montalvo, 2017

10. Finalmente se tiene el jardín completamente plantado, por lo que se debe dar un par de semanas para que las plantas se adapten al medio de crecimiento y el jardín entre en su operación adecuada.



Figura 43. Jardín en fase de crecimiento
Fuente: Montalvo, 2017

11. Una vez colocado el jardín se coloca la bomba para el riego, la misma debe contar con un cronometro de activación que debe de activarse dependiendo del lugar y requerimiento de las plantas en general cada 5 horas aproximadamente, para este caso se utilizó una bomba de 0,5 HP de potencia y con un caudal de 20 litros por segundo.
12. El agua utilizada para el riego hay que añadirle nutrientes, para finalmente poner en funcionamiento el jardín correctamente.

En general no existen restricciones del sitio donde se puede ubicar un sistema como este siempre que se tenga disponibilidad de hacer el cambio de agua de la canaleta y de conexión eléctrica para la bomba, se requiere una entrada mínima de luz a partir de esto se puede elegir los tipos de planta que mejor se adapten a las condiciones.

Debido a que el sistema consta de una superficie impermeable se puede colocar sobre cualquier pared sin que la humedad la afecte y por su bajo peso puede ser soportada por

prácticamente cualquier pared inclusive paredes livianas sin necesidad de colocar refuerzos adicionales.

Según la empresa Plantica precio de un jardín de este tipo ronda entre los 250 y 300 dólares por metro cuadrado incluyendo instalación, el cual para este caso rondaría los \$7 250 por ser un total de 29 m² de jardín y el costo de mantenimiento para los dos jardines ubicados en ENLACE es de 1400 dólares anuales y se recomienda que se realice cada 22 días donde se realiza el cambio de plantas muertas o enfermas y el cambio del agua del tanque.

4.2 Resultados

En el cuadro 5, se muestra la ubicación de los medidores HOBO U-12-012 y Extech SD800 dentro de las oficinas de GTI; así como la descripción del motivo de su ubicación, periodo de medición, parámetros medidos y la frecuencia con la que se midieron esos parámetros.

Cuadro 5. Ubicación y descripción de las mediciones en las oficinas de GTI

Tipo de medidor	Número	Ubicación	Objetivo de su ubicación	Periodo de medición	Parámetros medidos	Frecuencia
HOBO U-12-012	#13	En la habitación homologa a la habitación con jardín vertical. Altura, dirección y ubicación similar al HOBO #14	Comparar los resultados con los del HOBO #14, para determinar la diferencia en el ambiente debido a la ausencia del Jardín	Del 10 de abril al 19 de abril del 2018	Intensidad de luz, Humedad relativa y Temperatura	Hora a Hora
	#14	A un costado del jardín vertical	Medir el efecto en la habitación por la presencia del jardín			
Extech SD800	#1	A un costado del jardín vertical, en el mismo lugar del medidor HOBO #14	Medir el efecto en la habitación por la presencia del jardín	Del 24 de mayo hasta el 1 de junio del 2018	Contenido de CO ₂ del aire, Humedad relativa y Temperatura	Hora a Hora
	#2	En la habitación justo a la par del jardín	Medir el efecto en el ambiente en una habitación cerca del Jardín			
	#3	En la habitación homologa a la habitación con jardín vertical. Justo donde se ubicó el medidor HOBO #13	Comparar los resultados con los del Extech #13, para determinar la diferencia en el ambiente debido a la ausencia del Jardín			
	#4	En la habitación justo a la par de donde se ubica la habitación homologa a la habitación con jardín	Comparar los resultados con los del Extech #2, para determinar la diferencia en el ambiente entre una habitación a la par del jardín y otra a la par de una habitación igual pero sin jardín			

A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en las dos zonas de estudio durante el periodo de muestreo.

4.2.1 Resultados: oficinas de GTI

- HOBO U-12-012:

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas para los 2 medidores HOBO U-12-012, durante las mediciones realizadas del 10 al 19 de abril del año 2018 en las oficinas de GTI. En la figura 46, 45 y 46 se observan las gráficas de variación de temperatura, Humedad relativa e intensidad de luz respectivamente para los 2 medidores.

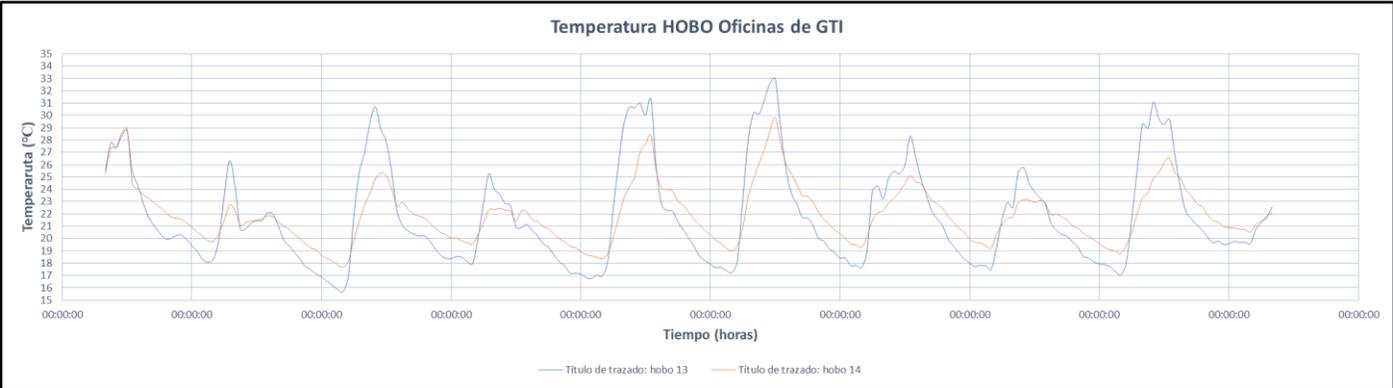


Figura 44. Gráfica de temperatura medidor HOBO, oficinas de GTI

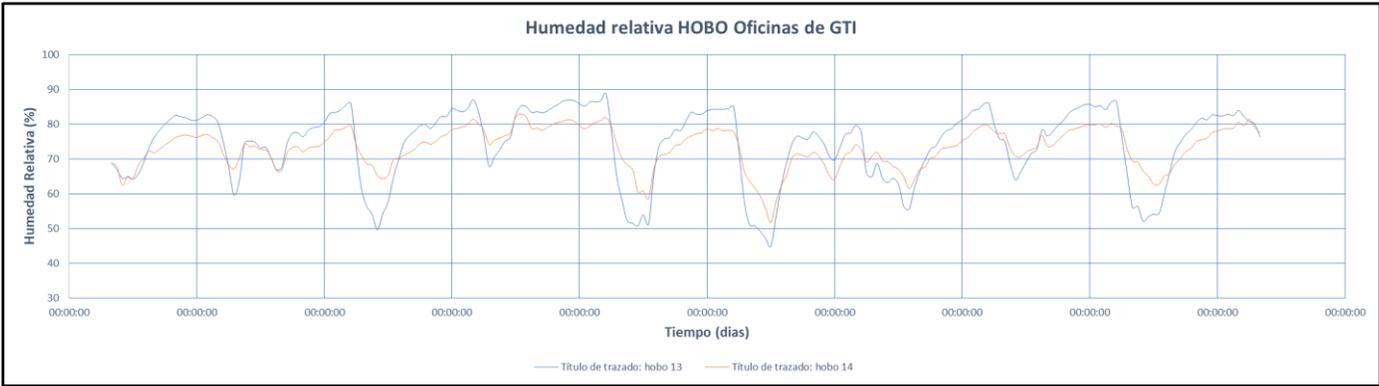


Figura 45. Gráfica de humedad relativa medidor HOBO, oficinas de GTI



Figura 46. Gráfica de intensidad de luz medidor HOBO, oficinas de GTI

- Extech Modelo SD800

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas para los 4 medidores Extech Modelo SD800, durante las mediciones realizadas del 24 de mayo al 1 de junio del año 2018 en las oficinas de GTI. En la figura 47, 48 y 49 se observan las gráficas de variación de temperatura, Humedad relativa y concentración de CO₂ respectivamente para los 4 medidores.

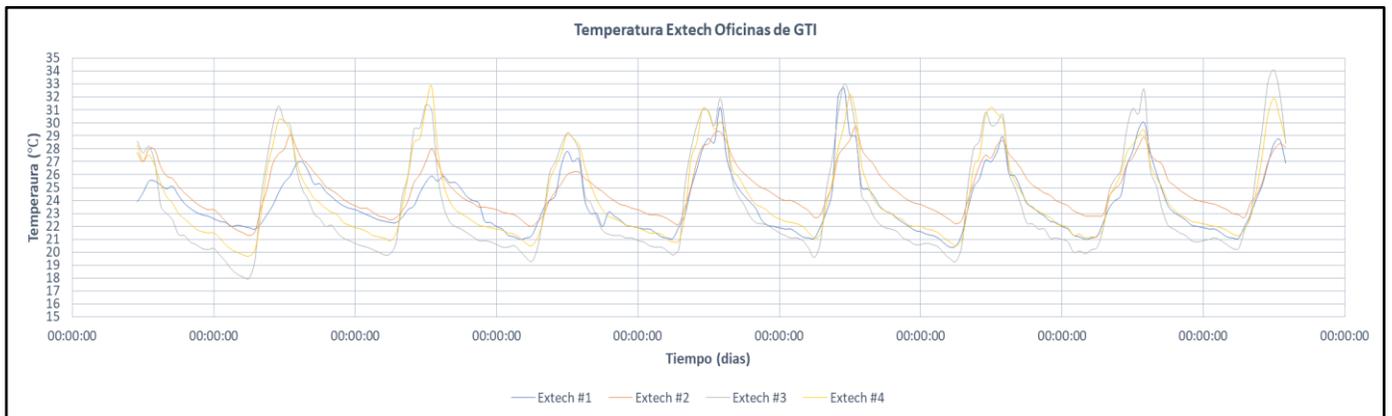


Figura 47. Gráfica de temperatura medidor Extech, oficinas de GTI

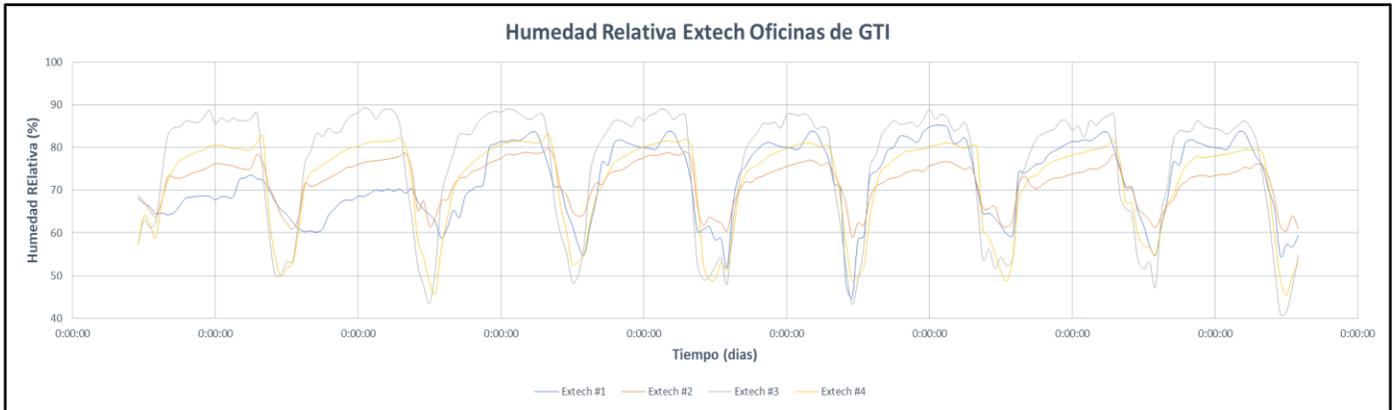


Figura 48. Gráfica de humedad relativa medidor Extech, oficinas de GTI

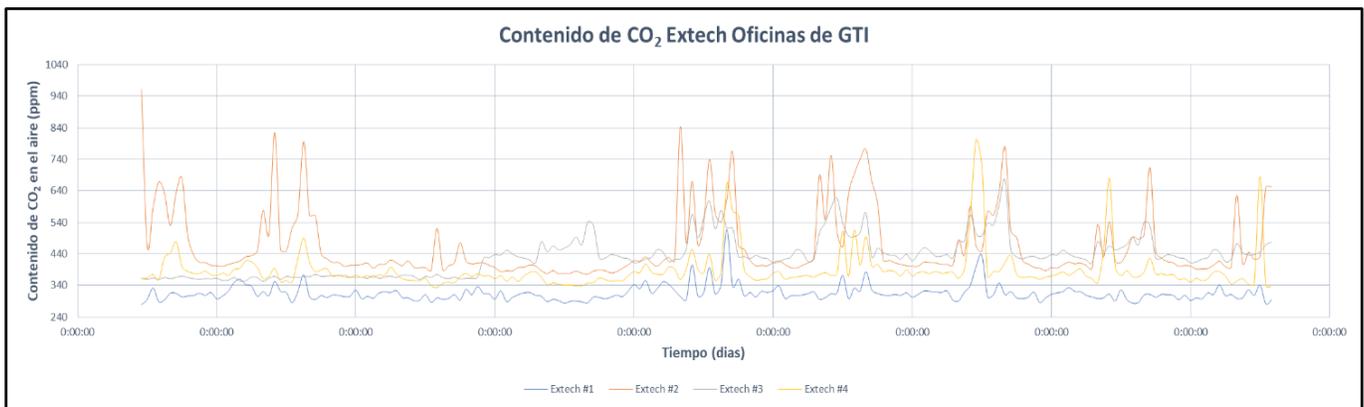


Figura 49. Gráfica de contenido de CO₂ medidor Extech, oficinas de GTI

4.2.2 Resultados: recepción del edificio de Enlace

- HOBO U-12-012:

En la figura 50 se observa la vista en planta con la ubicación de los medidores HOBO; además se puede observar marcado en color rojo la entrada principal que es la entrada de aire de la recepción y de color azul los ventanales que se extienden a lo largo de toda la fachada frontal de la recepción y sirve como entrada de luz. En las figuras 51, 52 y 53 se observan las gráficas de variación de temperatura, Humedad relativa e intensidad de luz respectivamente para los 4 medidores.

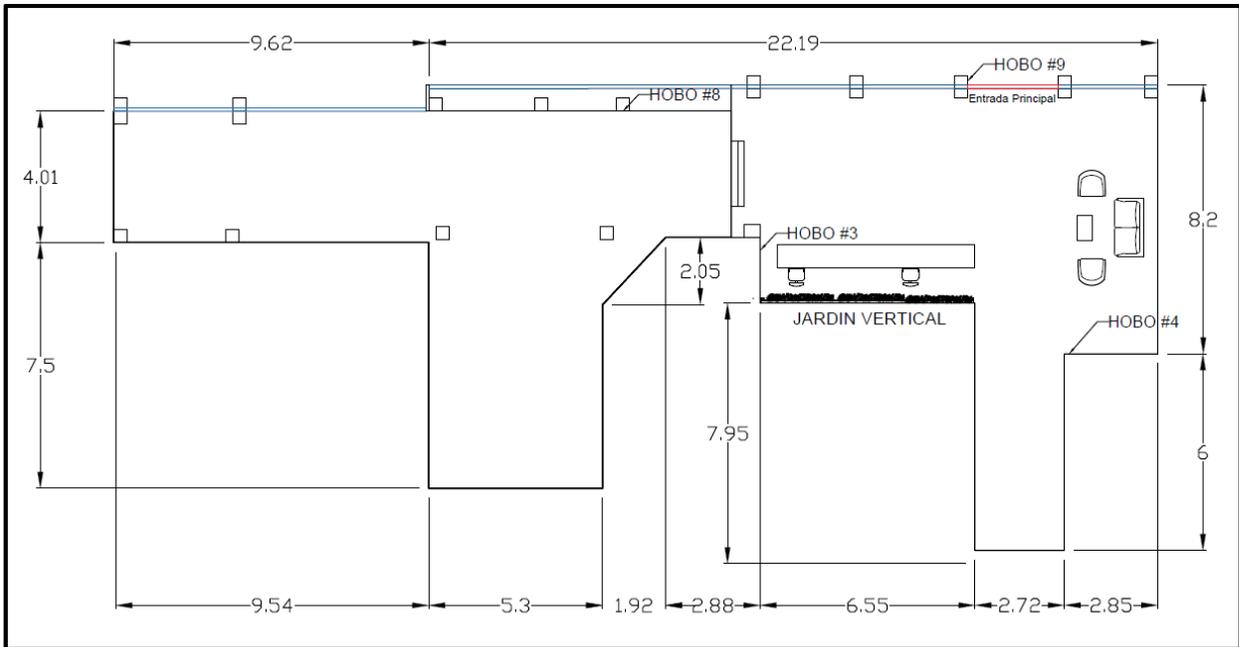


Figura 50. Vista en planta con la ubicación de los medidores HOBO, recepción de Enlace

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas para los 4 medidores HOBO U-12-012, durante las mediciones realizadas del 10 al 19 de abril del año 2018 en la recepción de Enlace.

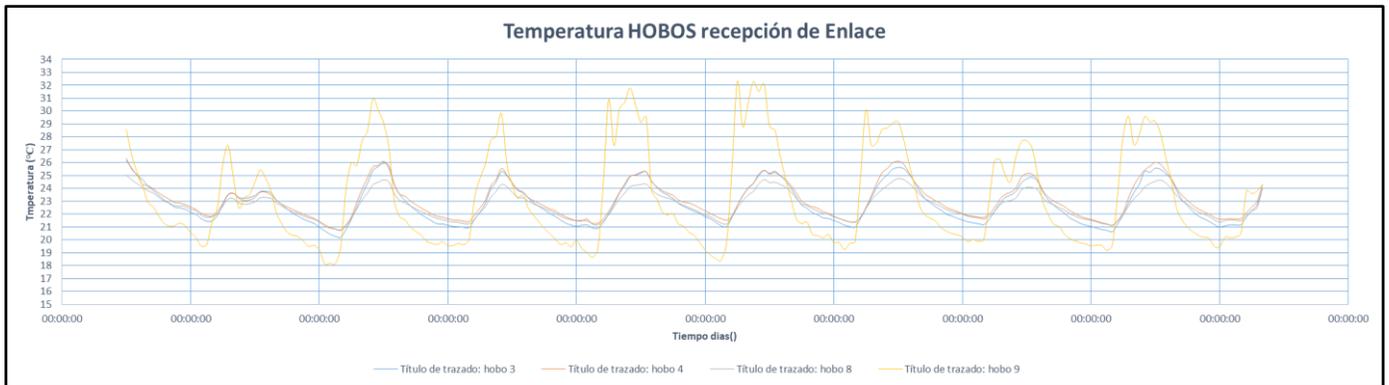


Figura 51. Gráfica de temperatura medidor HOBO, recepción de Enlace

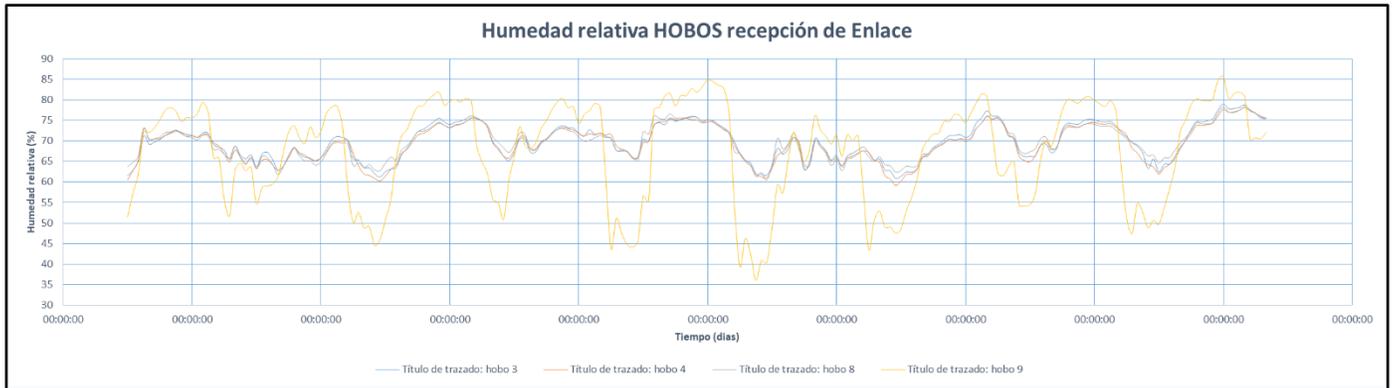


Figura 52. Gráfica de humedad relativa medidor HOB0, recepción de Enlace

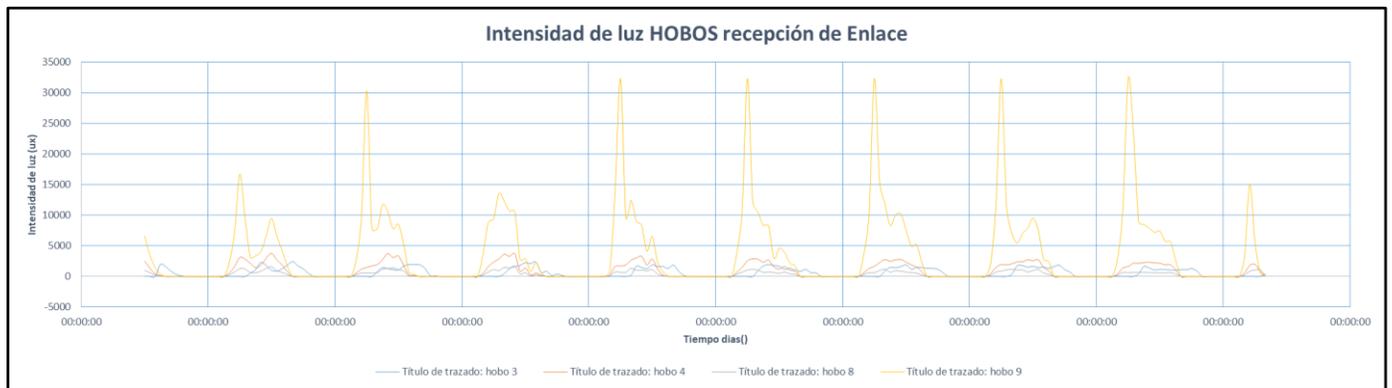


Figura 53. Gráfica de intensidad de luz medidor HOB0, recepción de Enlace

- Extech Modelo SD800

De manera similar al caso anterior, en la figura 54 se observa la vista en planta con la ubicación de los medidores Extech; además se puede observar marcado en color rojo la entrada principal que es la entrada de aire de la recepción y de color azul los ventanales que se extienden a lo largo de toda la fachada frontal de la recepción y sirve como entrada de luz. En las figuras 55, 56 y 57 se observan las gráficas de variación de temperatura, Humedad relativa y concentración de CO₂ respectivamente para los 4 medidores.

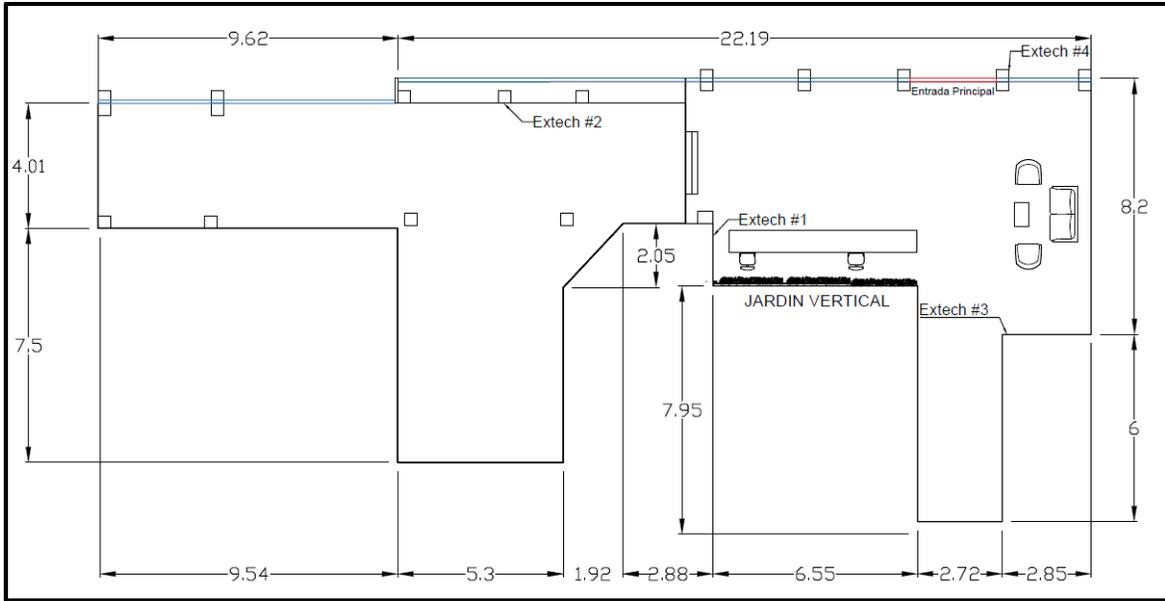


Figura 54. Vista en planta con la ubicación de los medidores Extech, recepción de Enlace

A continuación, se muestra las gráficas obtenidas para los 4 medidores Extech Modelo SD800, durante las mediciones realizadas del 19 de abril al 4 de mayo del año 2018 en la recepción de Enlace.

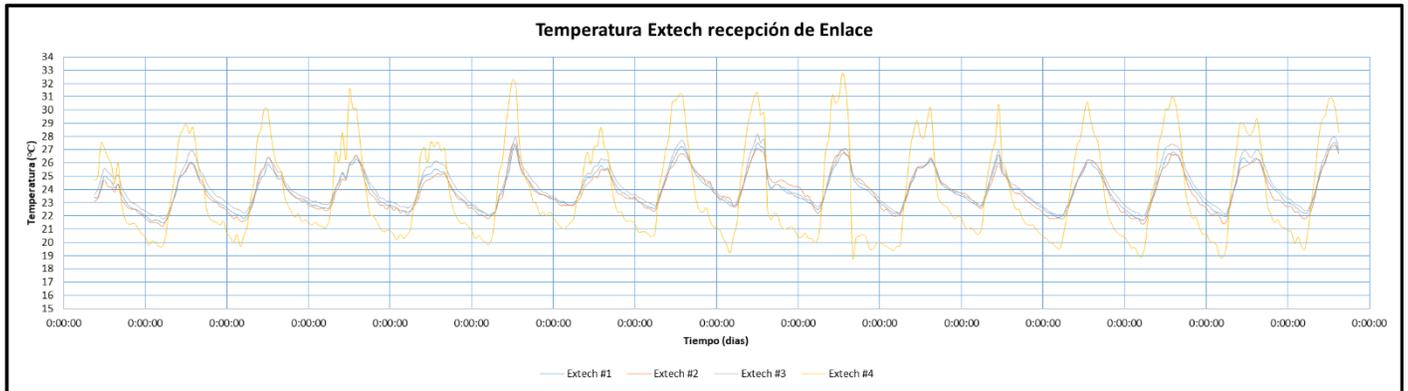


Figura 55. Gráfica de temperatura medidor Extech, recepción de Enlace

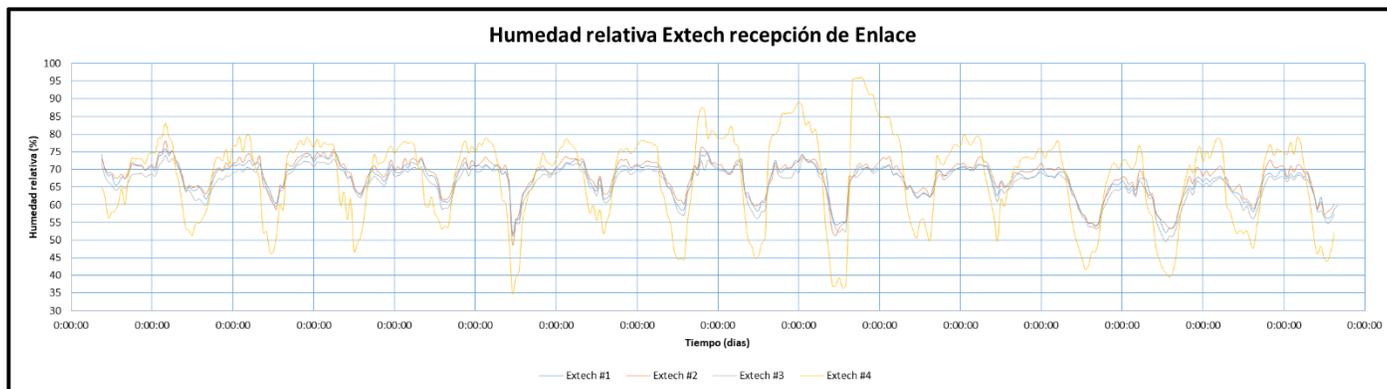


Figura 56. Gráfica de humedad relativa medidor Extech, recepción de Enlace

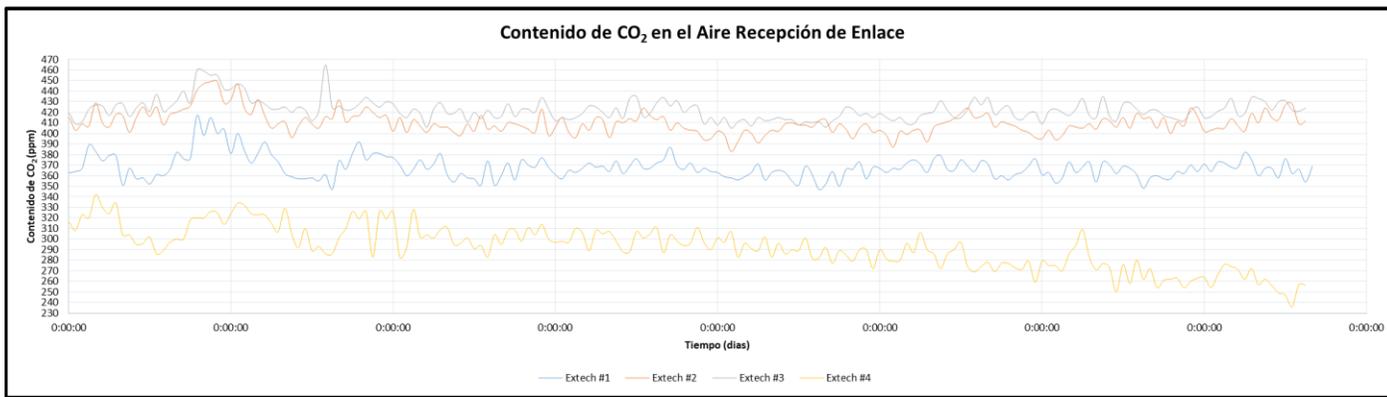


Figura 57. Gráfica de concentración de CO₂ medidor Extech, recepción de Enlace

- Resultados del modelo de ECOTECT

A partir de los resultados obtenidos de las mediciones, se observa que la mayor temperatura registrada sucedió el día 28 de abril a la 1:00 pm y se registró con los medidores Extech, por lo que partir de ese dato se procede a estimar cuanto es la temperatura que se debió haber registrado por los medidores Extech en sus diferentes ubicaciones sino hubiera existido el jardín vertical, para ello se procede a correr el modelo para ese mismo día a esa misma hora. A partir del modelo se obtienen los siguientes resultados que se muestran a continuación.

En la figura 58 se observa que la temperatura promedio para el área donde se ubicó el medidor Extech #4 fue de 32,34 °C para el día y la hora de estudio.

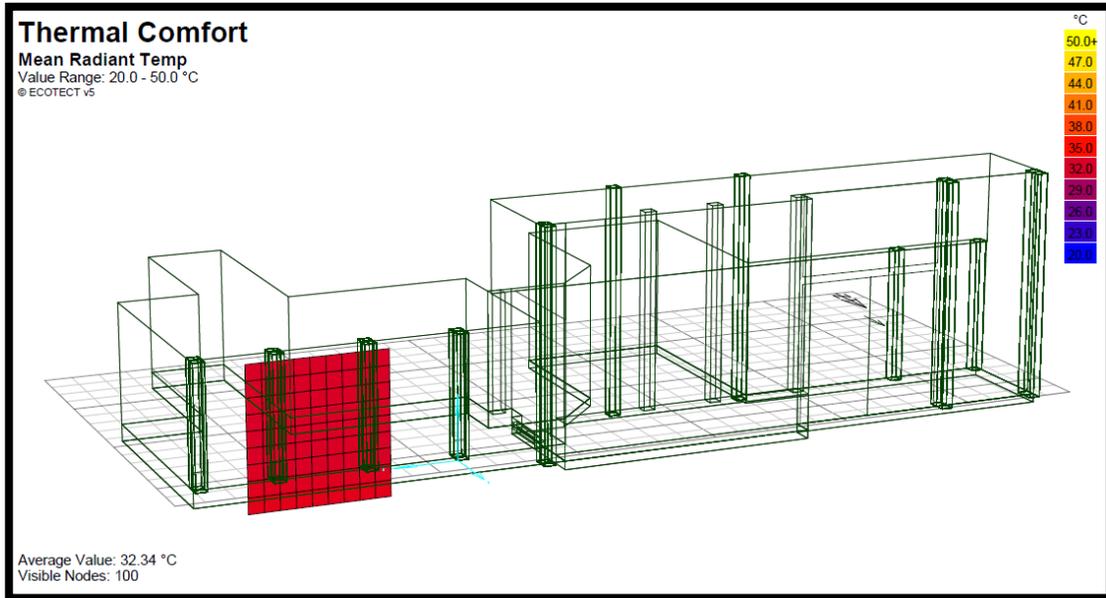


Figura 58. Grilla de temperatura en el exterior, modelo de Ecotect

De manera similar al caso anterior, en la figura 59 se muestra que para el caso donde hubiera existido el jardín vertical en dicha zona la temperatura registrada por el medidor Extech #1 sería de 29,33 °C.

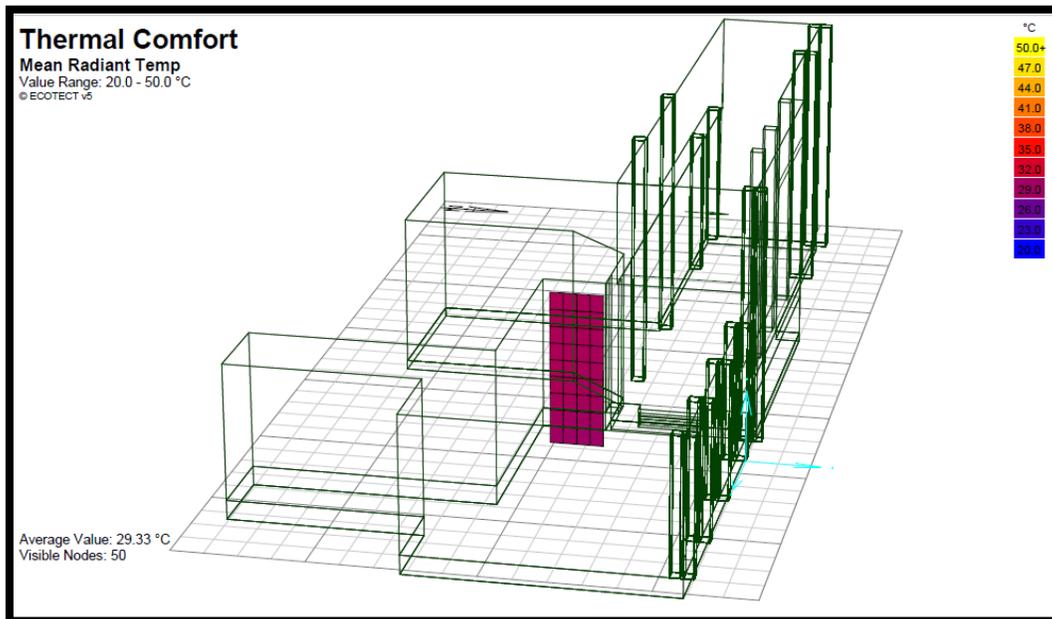


Figura 59. Grilla de temperatura junto al área donde se ubica el jardín, modelo de Ecotect

De la misma manera, se obtuvo que para la zona donde se midió con el medidor Extech #3 la temperatura para el caso sin jardín vertical sería de 29,72 °C; tal y como se muestra en la figura 60.

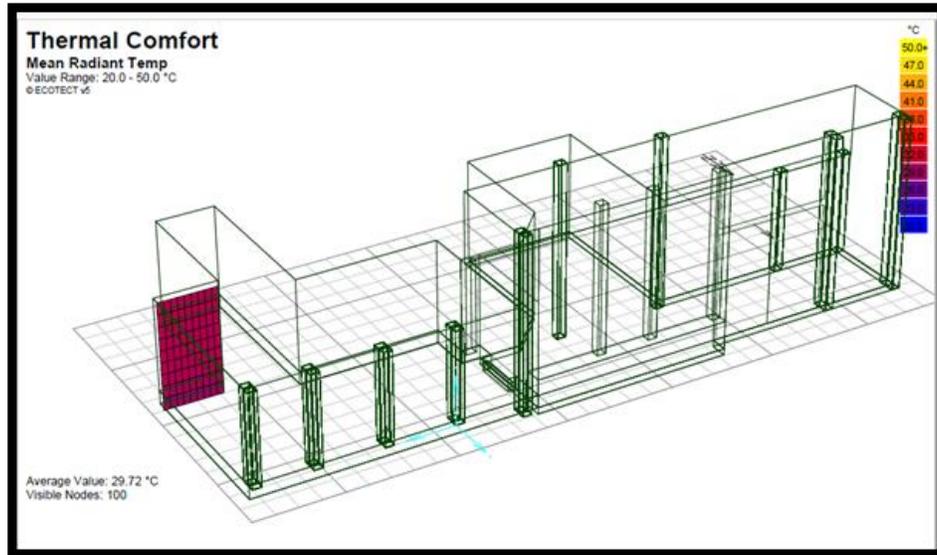


Figura 60. Grilla de temperatura en la sala de espera, modelo de Ecotect

Finalmente, en la figura 61 podemos observar la grilla de temperatura del pasillo donde se ubicó el medidor Extech #2 donde se obtiene que para el caso si no existiera el jardín vertical la temperatura promedio sería de aproximadamente 28,93 °C.

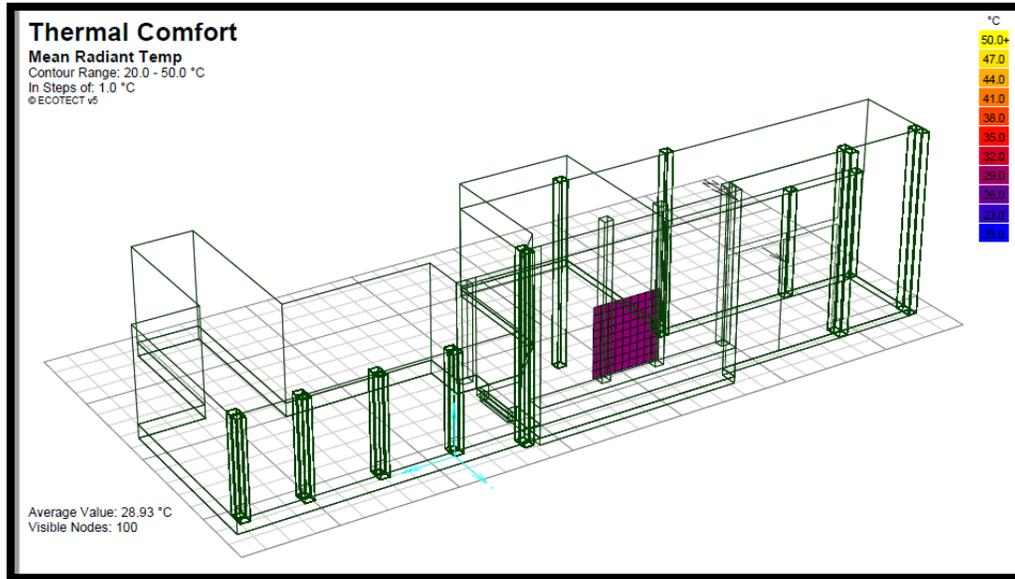


Figura 61. Grilla de temperatura pasillo, modelo de Ecotect
Fuente: Autor

- Resultados de las encuestas a los ocupantes

A continuación, se muestra el resumen de resultados a partir de las encuestas realizadas los días 8,9 y 10 de agosto del año 2018; para ello se dividen los resultados en los dos horarios de aplicación de las encuestas (mañana y tarde), tomando un resultado general a partir del promedio de los 3 días que se aplicó la encuesta.

Cuadro 6. Resumen de las encuestas realizadas, periodo de la mañana

Pregunta	Resumen de las respuestas				
Pregunta 1: ¿Cómo siente la temperatura?	Un poco fría	OK	Un poco caliente		
	18%	76%	6%		
Pregunta 2: ¿Cómo te gustaría que fuera la temperatura?	Mucho más fría	Más fría	Un poco más fría	Me siento bien con la temperatura actual	
	6%	12%	12%	71%	
Pregunta 3: ¿Siente la temperatura confortable?	Sí	No			
	100%	0%			
Pregunta 4: ¿Qué tipo de vestimenta lleva puesta?	Casual	Muy abrigado	Muy descubierto		
	76%	24%	0%		
Pregunta 5: ¿Cómo describiría la última actividad que realizó?	Actividad sentada	Actividad ligera de pie	Actividad medio de pie	Actividad alta de pie	De pie descansando
	35%	35%	6%	18%	6%
Pregunta 6: ¿Qué opina respecto a la presencia del jardín vertical en el lugar?	Me gusta y siento agrado	No percibo nada	No lo note	No me agrada	
	100%	0%	0%	0%	
Pregunta 7: ¿Recomendaría usted jardines verticales en otras edificaciones?	Sí	No			
	100%	0%			
				Promedio de entrevistados	17

Cuadro 7. Resumen de las encuestas realizadas, periodo de la tarde

Pregunta	Resumen de las respuestas				
Pregunta 1: ¿Cómo siente la temperatura?	Fría	Un poco fría	OK	Un poco caliente	Caliente
	9%	0%	73%	9%	9%
Pregunta 2: ¿Cómo te gustaría que fuera la temperatura?	Mucho más fría	Más fría	Un poco más fría	Me siento bien con la temperatura actual	
	0%	18%	27%	55%	
Pregunta 3: ¿Siente la temperatura confortable?	Sí	No			
	82%	18%			
Pregunta 4: ¿Qué tipo de vestimenta lleva puesta?	Casual	Muy abrigado	Muy descubierto		
	91%	9%	0%		
Pregunta 5: ¿Cómo describiría la última actividad que realizó?	Actividad sentada	Actividad ligera de pie	Actividad medio de pie	Actividad alta de pie	De pie descansando
	45%	27%	9%	0%	27%
Pregunta 6: ¿Qué opina respecto a la presencia del jardín vertical en el lugar?	Me gusta y siento agrado	No percibo nada	No lo note	No me agrada	
	100%	0%	0%	0%	
Pregunta 7: ¿Recomendaría usted jardines verticales en otras edificaciones?	Sí	No			
	100%	0%			
				Promedio de entrevistados	16

4.3 Análisis comparativo entre el uso de jardines verticales y métodos artificiales

Tal y como se mencionó anteriormente el efecto del jardín vertical se propaga desde el medidor ubicado junto a este (Extech #1) hasta el medidor más lejano a este (Extech #2). Por lo que se puede observar que el radio de influencia del jardín vertical es de al menos 11,5 m de distancia, pero que podría ser aún mayor.

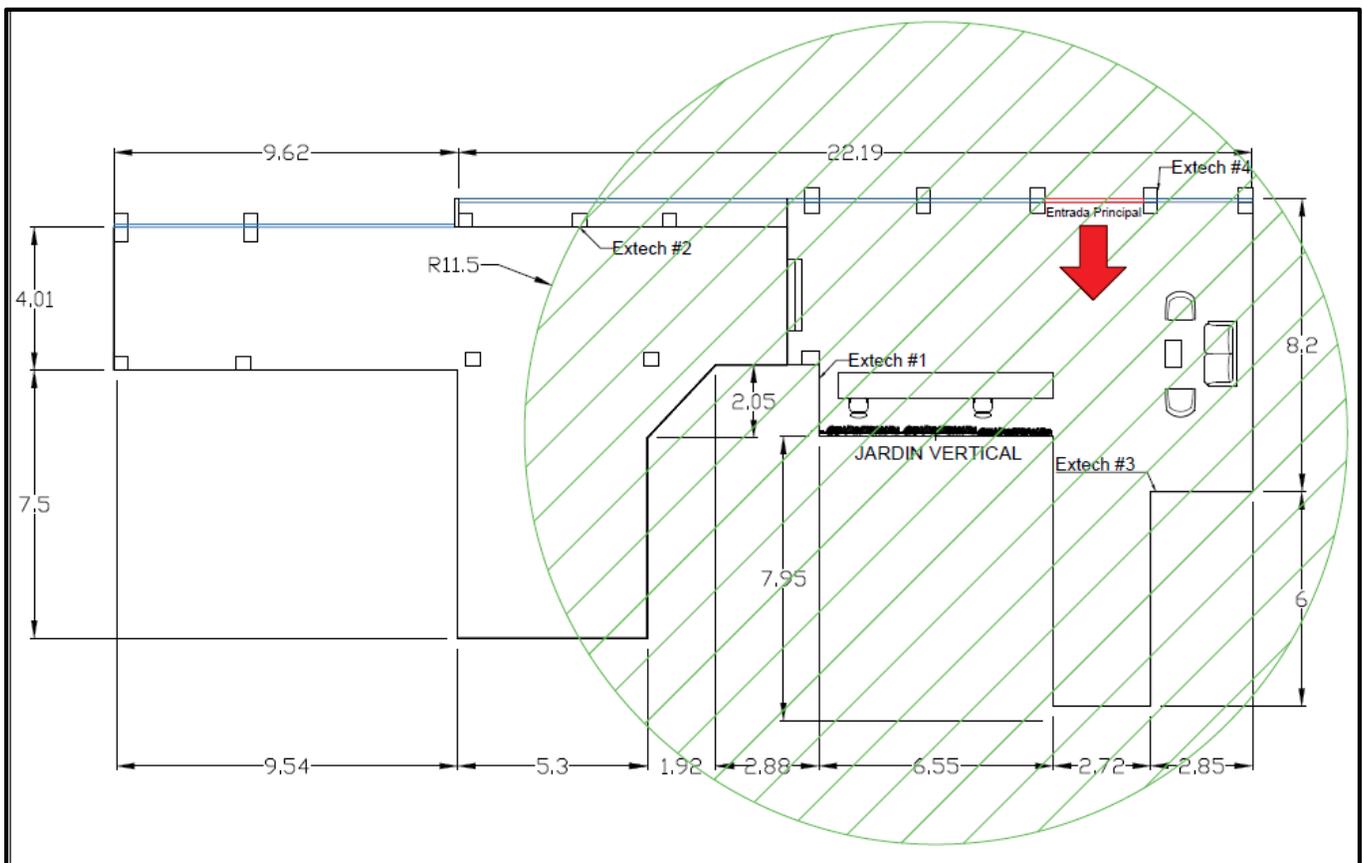


Figura 62. Área de influencia del jardín vertical

Entre ambos sistemas en términos de instalación y adaptación a distintas condiciones él es mejor el jardín vertical, pues no requiere ductos de extracción ni colocación de condensadores fuera del edificio. Además que es adaptable tanto a exteriores como interiores y no requiere ambientes cerrados, como en el caso de los sistemas de aires acondicionados.

La superficie donde se coloca no requiere de refuerzo adicional para soportar el equipo y de cajones para embeber el equipo como en el caso de los aires acondicionados, y no requiere de reparaciones o detalles en los acabados de la superficie donde se coloca, pues ya el sistema por si solo es un acabado.

El jardín vertical tiene las limitantes que ocupa de prevista de agua potable cercana y de prevista eléctrica pero de menor potencia que los sistemas de aires acondicionados. Finalmente, al tratarse de un sistema vivo esta propenso a ser afectado por factores externos, como plagas, altas temperaturas, exceso de humedad, etc.

Para la comparación económica entre ambos métodos, se cotizó la compra e instalación de un sistema de aire acondicionado en la recepción del edificio de Enlace a partir de la cotización realizada por la empresa AC Servicios de Aire Acondicionado el 2 de octubre del año 2018 que se muestra en el anexo 2.

La comparación entre el precio de ambos sistemas se va a realizar mediante dos comparaciones, la primera mediante un CAUE (Costo anual uniforme equivalente) que consiste en definir un costo equivalente anual durante un periodo de tiempo considerando el gasto inicial y el gasto anual con una tasa de interés que en este caso supondrá del 8%. El segundo análisis se hará calculando el flujo de caja acumulado durante todos los años para poder determinar el año donde se igualan los gastos de ambos sistemas.

En la siguiente figura se observa el área que abarcaría el sistema de aire acondicionado que se instalaría.

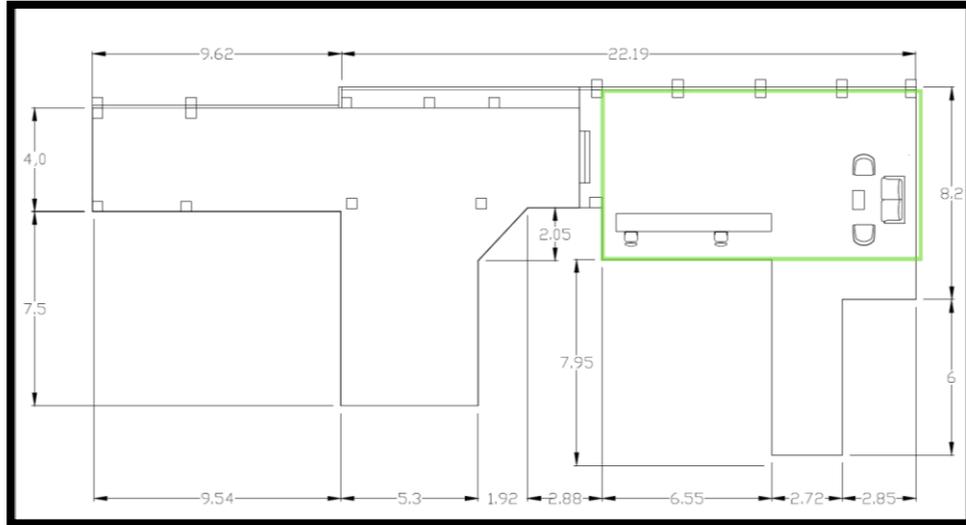


Figura 63. Área abarcada por el sistema de aire acondicionado

Como se observa en la figura, para poder abarcar el área alcanzada por el efecto del jardín se ocuparía al menos instalar dos de estos equipos, por lo que el costo se duplicaría. Además, si se observa la oferta (ver anexo 2) en caso de necesitar más tubería se tendría un costo adicional de \$30 por metro, el costo del cableado adicional y reparaciones a la estructura o acabados deben ser cubiertos por el contratante.

Suponiendo un adicional de 10 metros de tubería y un costo en reparaciones la edificación e instalación del cableado de \$150 tendríamos un adicional de \$450 aproximadamente.

Por lo tanto, el costo de compra e instalación del sistema de aire acondicionado para cubrir el área de estudio sería de:

$$\text{Costo de compra e instalación} = \$2\,565 \cdot 2 \text{ equipos} + \$450 = \$5\,580 \quad (1)$$

Para poder comparar ambas alternativas mediante un CAUE se debe pasar este monto a una anualidad, para ello se usa la ecuación para obtener una anualidad (A) a partir de un valor presente (P):

$$A = \frac{P}{\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}} = \frac{\$5580}{\frac{(1+8\%)^{10} - 1}{8\% \cdot (8\%+1)^{10}}} = \$831,42 \text{ anuales} \quad (2)$$

Para el caso anterior se tomó el periodo de tiempo(n) como 10 años que es aproximadamente la vida útil del aire acondicionado y la tasa de interés(i) como 8% anual.

Por otro lado, el gasto por el uso del sistema de aire acondicionado se puede estimar a partir de la potencia del equipo obtenida de la tabla de especificaciones brindada por el proveedor y mostrada en el cuadro 8.

Cuadro 8. Especificación del equipo de aire acondicionado

Model Name	Set	YNFFZC024BAADAFX	YNFFZC036BAADAFX	YNFFZC048BAADBFX	YNFFZC060BAADBFX	YNFFZC036BAQDBFX	YNFFZC048BAQDBFX	YNFFZC060BAQDBFX
	Indoor	YNFFXC024BAAD-FX	YNFFXC036BAAD-FX	YNFFXC048BAAD-FX	YNFFXC060BAAD-FX	YNFFXC036BAAD-FX	YNFFXC048BAAD-FX	YNFFXC060BAAD-FX
	Outdoor	YNVFC024BAADA-X	YNVFC036BAADA-X	YNVFC048BAADA-X	YNVFC060BAADB-X	YNVFC036BAQDB-X	YNVFC048BAQDB-X	YNVFC060BAQDB-X
Power Supply	V/Ph/Hz	220-230/1/60	220-230/1/60	220-230/1/60	220-230/1/60	220-230/3/60	220-230/3/60	220-230/3/60
Cooling Capacity	Btu/h	24000	36000	48000	60000	36000	48000	60000
Input Power	W	2586	3879	5170	6465	3879	5170	6465
EER	W/W	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Compressor Type	-	Rotary	Rotary	Scroll	Scroll	Scroll	Scroll	Scroll
Refrigerant	-	R410A						
Air Flow Volume (Hi/Me/Lo)	m ³ /h	1296/980/775	1830/1600/1410	2548/2104/1790	2890/2422/2281	1830/1600/1410	2548/2104/1790	2890/2422/2281
Refrigerant Pipe Size(Liq/Suc)	ømm	ø9.52/ø15.9	ø9.52/ø15.9	ø9.52/ø22	ø9.52/ø22	ø9.52/ø22	ø9.52/ø22	ø9.52/ø22
Unit Dimension Indoor(WxDxH)	mm	1068x675x235	1285x675x235	1650x675x235	1650x675x235	1285x675x235	1650x675x235	1650x675x235
Unit Dimension Outdoor(WxDxH)	mm	600x600x633	600x600x633	710x710x759	740x740x843	600x600x633	710x710x759	740x740x843
Net Weight(ID/OD)	kg	25.7/43	33/69	39.5/75	41.5/88.1	33/60	39.5/75	41.5/88.1

Fuente: Jhonsons Controls INC, 2015

Considerando un tiempo de uso diario de 8 horas y que solo se use en entre semana de lunes a viernes, se puede obtener el gasto anual en KWh a partir de la siguiente ecuación:

$$KWh \text{ anual} = 12 \text{ meses} \cdot \frac{160 \text{ horas}}{\text{mes}} \cdot Potencia[KW] \quad (3)$$

Como se muestra en el cuadro 7 la potencia del equipo es de 5,17 KWh, por lo tanto:

$$12 \text{ meses} \cdot \frac{160 \text{ horas}}{\text{mes}} \cdot 5,17 \text{ KW} = 9 \ 926,4 \text{ KWh anuales}$$

A partir de las tarifas de la CNFL para el 1 de octubre del 2018(ver anexo 3), se puede calcular el gasto anual por consumo eléctrico de la siguiente forma:

$$9 \ 926,4 \text{ KWh anuales} \cdot \text{¢}121,46 = \text{¢}1 \ 205 \ 660,5 \quad (4)$$

Considerando el dólar a un precio en ¢575 (valor aproximado del 2 de octubre del 2018), se tiene que el costo anual por el uso es de \$2097 aproximadamente.

A partir de unas llamadas realizadas por el ingeniero Erick Mata a profesionales del tema, se obtuvo que el mantenimiento para cada equipo es de \$200 y se realiza 3 veces al año; además se debe añadir que como mínimo se gastan \$100 de repuestos en cada equipo. Por lo tanto se tiene que el costo de mantenimiento para los dos equipos que se instalarían sería el siguiente:

$$\text{Costo mantenimiento} = 2\text{equipos} \cdot \left(\frac{\$200}{\text{mant.}} \cdot \frac{3\text{mant.}}{\text{año}} + \$100 \right) = \$1400 \text{ anuales} \quad (5)$$

Finalmente, el costo anual equivalente para el sistema de aire acondicionado es de:

$$\text{CAUE} = \$2\,097 + \$1\,400 + \$831,42 = \$4\,328,42 \text{ anuales} \quad (6)$$

De la misma manera se procede a calcular el costo para el uso y mantenimiento del jardín vertical, para ello se calcula el costo por el consumo de la bomba la cual se estima que se activa de 4 a 5 veces por día un periodo de 10 a 15 minutos en promedio una hora diaria. A continuación, se muestra el cálculo del consumo de la bomba:

$$\text{Consumo anual de la bomba} = 0,5 \text{ HP} \cdot \frac{0,746 \text{ KW}}{1 \text{ HP}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{\text{día}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 136,14 \text{ KWh} \quad (7)$$

De la misma manera al cálculo mostrado en la ecuación 4, se procede a calcular el costo anual por uso de energía del jardín.

$$136,14 \text{ KWh anuales} \cdot ¢121,46 = ¢16\,535,56 \quad (8)$$

Considerando el precio del dólar como ¢575 se tiene que el costo anual por energía eléctrica es de \$28,76. Por lo tanto, se puede calcular el costo total anual del jardín vertical considerando \$1 400 anuales de mantenimiento mencionados en el apartado 4.1:

$$\text{Costo anual del jardín} = \$28,76 + \$1\,400 = \$1\,428,76 \text{ anuales} \quad (9)$$

El costo del jardín vertical para este caso es de \$7 250, por lo que se procede a obtener el CAUE, considerando que si se le el mantenimiento a como se mencionó el jardín debería

volver a su estado inicial, por lo que su vida útil tendería al infinito; por lo tanto, se utilizara la ecuación de perpetuidad:

$$A = P \cdot i = \$7\,250 \cdot 8\% = \$580 \quad (10)$$

Donde "P" es el valor presente, "A" la anualidad e "i" la tasa de interés anual.

Final sumamos todas las anualidades para costo anual uniforme equivalente de los jardines verticales.

$$CAUE = \$580 + \$1\,428,76 = \$2\,008,76 \quad (11)$$

Por lo tanto, se puede observar que el costo anual uniforme equivalente del aire acondicionado es más del doble al del jardín vertical, con una diferencia entre ambos de \$2 319,66 anuales.

Para la comparación mediante el flujo de caja se va a considerar los tres escenarios que se muestran a continuación:

1. No hacer nada y no tener ningún gasto.
2. Adquirir un sistema de aire acondicionado con un menor gasto inicial.
3. Hacer una inversión incremental y adquirir el sistema de jardín vertical, cuyo gasto inicial es mayor pero su gasto anual es menor.

Partiendo del hecho que la idea es poder mejorar el ambiente del lugar la primera opción se descarta, la segunda opción es válida; sin embargo, se quiere buscar el sistema más óptimo y a largo plazo el costo es mayor. Por lo tanto, se opta por la tercera opción.

Para esta opción, se obtendrá el flujo acumulado en el presente. Para ello, se obtiene la diferencia entre ambos gastos considerando los gastos del jardín como un monto negativo, ya que es el sistema que se va a usar y los gastos del sistema de aire acondicionado un monto positivo, ya que es lo que nos estamos ahorrando al no usarlo.

El procedimiento es el siguiente. Primero se obtiene la diferencia del gasto sumando los gastos en ese año, segundo se obtiene el valor presente de esa diferencia con la fórmula de valor presente que se muestra a continuación:

$$P = \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (12)$$

Donde "P" es el valor presente, "P_n" es el valor en el año "n" e "i" es el interés (8% en este caso).

Finalmente, se obtiene el flujo acumulado en el presente como la suma de los valores presentes hasta ese año.

En el cuadro 9, se muestra el cálculo de los flujos de caja acumulados donde se puede observar que al final del año 1 ya se empiezan a tener valores positivos, lo que significa que se empieza a percibir el ahorro por haber usado los jardines verticales.

Cuadro 9. Flujo acumulado en el presente

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Diferencia del gasto	\$ -1.670,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00	\$ 2.067,00
Flujo en el presente	\$ -1.670,00	\$ 1.913,89	\$ 1.772,12	\$ 1.640,85	\$ 1.519,31	\$ 1.406,77	\$ 1.302,56	\$ 1.206,07	\$ 1.116,74
Flujos acumulados en el presente	\$ -1.670,00	\$ 243,89	\$ 2.016,01	\$ 3.656,86	\$ 5.176,17	\$ 6.582,93	\$ 7.885,49	\$ 9.091,57	\$ 10.208,30
				i=	8%				

CAPÍTULO 5

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Análisis de las mediciones

- Oficinas de GTI

Tal y como se mencionó anteriormente se midieron los parámetros en dos habitaciones con características similares, pero con la presencia de un jardín vertical en una de ellas a partir de las mediciones en ambos lugares se procede a analizar el efecto del jardín vertical.

Como se mostró en el gráfico de la figura 44, el efecto del jardín vertical es el de regular la temperatura en la habitación en dicho gráfico los picos de temperatura tanto para las temperaturas más altas en horas cercanas al medio día como para las temperaturas más bajas en horas de la madrugada se mantenían más estables en las zonas cercanas al jardín.

A partir del análisis de los datos se logra observar que en promedio la presencia de jardín vertical logro disminuir 2,55°C para los periodos más calurosos, con una diferencia máxima de 6,43°C entre todos los puntos de medición y para los periodos más fríos logro mantener un promedio de 1,5°C más de temperatura con una diferencia máxima de 2,57°C.

De manera similar al caso anterior, en la figura 45 se observa como el jardín vertical logra estabilizar la humedad de la zona aumentando en un promedio de 5,8% la humedad del lugar durante los periodos cercanos al medio día con un máximo de 16,8% entre los diferentes puntos y para los periodos de mayor humedad durante las horas de la madrugada, la presencia de jardín vertical logro una disminución de 4,7% en promedio con una disminución máxima de 7,2%.

En la figura 46, se observa que el efecto del jardín vertical a la intensidad de luz percibida por él medidor no es significativa; por lo que no se puede asociar el cambio de dicho parámetro con la presencia del jardín vertical.

Analizando los datos medidos por los medidores Extech, podemos evaluar el efecto del jardín vertical tanto de la habitación donde está ubicado el jardín como la habitación interior continua a está.

Para ello se analizan los datos obtenidos que se muestran en la gráfica de la figura 47, donde se observa como para los periodos más calurosos se dio una disminución promedio de 2,7°C con una disminución máxima de 6,7°C para la habitación con jardín en comparación a su homóloga sin jardín y para el periodo más frío se dio un aumento promedio de 1,5°C con un aumento máximo de 3,9 °C para dicha habitación.

De manera similar, se obtiene que para la habitación continua al jardín durante los periodos calurosos se dio una disminución promedio de 1,7°C con una disminución máxima de 4,8°C con respecto a su homóloga y para el periodo más frío se dio un aumento promedio de 1,5°C con un aumento máximo de 2,7°C.

Para el caso del efecto en la humedad relativa gracias a la presencia del jardín vertical, tanto en la habitación donde está ubicado este como en la habitación contigua se analizan los datos que se muestran en la figura 48.

A partir de las mediciones se logra observar que para la habitación con jardín vertical comparándola con su homóloga en promedio se dio un aumento de 8,2% con un máximo de 20,7% de humedad durante los periodos más secos del día y durante los periodos más húmedos hubo una disminución promedio de 8,4% y máxima de 23,1% de humedad. Y de manera similar para la habitación contigua al jardín, durante los periodos secos se aumentó en promedio 7,4% humedad con un máximo de 17,8% con respecto a su homóloga y para los periodos de mayor humedad hubo una reducción promedio en la humedad de 3,6% con un máximo de 8,8%.

Para el caso del contenido de CO₂ en el aire (ver figura 49) en la habitación con jardín se registró una disminución promedio de 118 ppm y máxima de 363 ppm con respecto a los datos medidos en la habitación homóloga pero sin jardín. Y en la habitación contigua al

jardín la disminución promedio en el contenido de CO₂ fue de 88 ppm con un máximo de 600 ppm con respecto a los datos medidos en la habitación homóloga a esta.

Cabe destacar que los medidores Hobos como los Extech muestran una tendencia muy similar, con valores parecidos para horas similares del día lo que permite corroborar la veracidad de las mediciones realizadas con ambos equipos.

- Recepción de Enlace

Para este caso no se tienen dos habitaciones comparables como en el caso anterior, por lo que solo se puede determinar el efecto del jardín vertical a lo largo de toda la habitación y su efecto a partir del modelo de Ecotect.

A partir del análisis de los datos de temperatura medidos con los Hobos los cuales se graficaron en la figura 51, podemos observar que la diferencia promedio de temperatura entre el medidor ubicado junto al jardín y el ubicado en el exterior es de 3,34°C con una diferencia máxima de 9,62°C. Sin embargo, la temperatura en el interior de la recepción se mantiene muy estable en toda su área con una diferencia promedio de solo 0,5°C y máxima de 1,5°C siendo los medidores ubicados cerca de los jardines los que midieron una temperatura más regular, lo que muestra un efecto extendido del jardín a todo lo largo de la recepción.

De manera similar al caso anterior, tal y como se observa en el gráfico de la figura 52 la humedad del interior muestra una diferencia promedio de 11,4% con una diferencia máxima de 27,65% con respecto al exterior, siendo la humedad del interior mucho más estable gracias al jardín vertical. Además, se observa una diferencia casi imperceptible entre la humedad medida en cualquiera de los 3 puntos dentro de la recepción.

Similar al análisis realizado en las oficinas de GTI, el efecto a la intensidad de luz mostrado en la figura 53, no se puede atribuir directamente al jardín; ya que los que presentan menor intensidad de luz fueron los Hobos #3 y #8 que fueron los que no se instalaron en dirección a la salida.

Las mediciones realizadas por los medidores Extech tuvieron un comportamiento similar a las obtenidas por los medidores Hobos, obteniendo una diferencia promedio de temperatura de 2,4°C y máxima de 6,1°C entre el medidor junto al jardín y el ubicado en el exterior (ver figura 55). De igual manera la diferencia de temperatura en el interior en promedio fue de tan solo 0,5°C con un máximo de 1,4°C.

Para el caso de la humedad relativa como se observa en la figura 56 en el interior de la recepción se mantiene más estable gracias a la presencia del jardín, y se obtuvo una diferencia entre el interior y el exterior promedio de 8,7% y una diferencia máxima de 27,5%.

Como es de esperarse el contenido de CO₂ es mucho menor en el exterior como se observa en la figura 57, debido a la atenuación de este en el aire por encontrarse al aire libre. Sin embargo, en el interior del edificio se observa una disminución en el contenido de CO₂ y el medidor que registra menos concentración de CO₂ es el que está junto al jardín principal (Extech 1) y el que registra más concentración es el que está más lejos de los jardines (Extech #3), con una diferencia promedio de 55,4 ppm y máxima de 129 ppm lo que muestra el efecto directo de los jardines verticales a la reducción en la concentración de CO₂ en el aire.

5.1.2 Análisis del modelo de Ecotect

Como se mencionó anteriormente, como no se tiene una habitación comparable con la recepción del edificio de Enlace se procedió a realizar un modelo con el programa de Ecotect para determinar cuál debería ser la temperatura si no existieran los jardines verticales, para ello se utilizó la hora con mayor temperatura de las mediciones con los dos equipos.

Primero se debe determinar si los datos obtenidos por el modelo realmente se asemejan a la realidad, para ello se obtuvo la temperatura en el exterior del edificio (ver figura 58) la cual fue de 32,34°C y la temperatura registrada para esa misma hora, el mismo día del año fue de 32,6°C varía muy ligeramente, por lo tanto, si se puede trabajar con los resultados del modelo.

Para el caso del área junto al jardín donde se ubicó el medidor Extech #1, se obtiene una temperatura 29,33°C según el resultado obtenido por el modelo (ver figura 59) y una temperatura de 26,7°C medida con dicho medidor, lo que muestra una diferencia de 2,63°C gracias a la presencia del jardín en ese punto.

De manera similar, en la sala de espera en el área donde se instaló el medidor Extech #2 según modelo debe haber una temperatura de 29,72°C (ver figura 60), pero el medidor registro una temperatura de 27,3°C lo que muestra una diferencia de 2,42°C en ese punto gracias a la existencia del jardín vertical.

Finalmente, en la figura 61 se muestra como en el área del pasillo donde se ubicó el medidor Extech #3 la temperatura sin la presencia del jardín vertical debió haber sido de 28,93°C, pero la registrada por el medidor fue de 26,5°C lo que muestra una diferencia de temperatura de 2,43°C en ese punto.

Tal y como sucedió para el caso analizado en las oficinas de GTI para este caso se tiene una diferencia de temperatura de aproximadamente 2,5°C, siendo mayor el efecto entre más cerca se esté de los jardines verticales pero capaz de prolongarse a todo lo largo de la habitación.

El efecto de los jardines verticales se puede mejorar integrando en la edificación otro tipo de sistemas de climatización pasivos tales como parasoles, aislantes térmicos, etc; ya que gracias a su fácil implementación en distintos tipos de edificaciones y su compactibilidad con otros sistemas pasivos se puede lograr una edificación confortable capaz de auto regular diversos parámetros como la temperatura.

De igual forma, se puede combinar el sistema de jardines verticales con estrategias activas de climatización de tal forma que el uso de los sistemas activas se requiera de manera menos prolongada y con mucha menor intensidad, disminuyendo el gasto energético.

5.1.3 Análisis de las encuestas

Tal y como se observa en el cuadro 6, para el periodo de la mañana la totalidad de los ocupantes encuestados sentían confortable la temperatura de la habitación; sin embargo, un 6% sintió un poco de calor y un 18% sintió frío.

Del análisis de las encuestas se logra determinar que en su mayoría, las personas que sintieron calor se trataba de personas que ingresaron al edificio en horas cercanas al medio día después de realizar alguna actividad física como caminar y las que sintieron frío fueron personas que llenaron la encuesta cerca de las 7 de la mañana y no estaban abrigadas. Por lo que se logra concluir que la temperatura en la habitación es adecuada y que la percepción de los ocupantes es afectada por factores externos a las características de la habitación.

Para el caso del periodo de la tarde, se puede observar que similar al caso anterior la mayoría de los entrevistados sintieron la temperatura interna adecuada con un 9% que sintieron frío, 18% que sintieron calor. De igual manera se analizaron los que no sintieron adecuada la temperatura y se logra determinar que los que sintieron frío se trataron de personas que llenaron las encuestas entre la 4 y 5 de la tarde y no están abrigados.

Por otro lado, la mayoría de los que sintieron calor fueron personas que llenaron la encuesta entre las 12 y 1 de la tarde vestían ropa casual y venían del exterior después de realizar una actividad física como caminar, por lo que se determina que hubo un factor externo que influyo. Sin embargo, promedio 1 o 2 personas sintieron que la habitación si debía estar más fría y no realizaron actividad física o tenían una vestimenta que influyera en su opinión.

Del caso anterior se concluye que como es de esperarse y observando en las gráficas de las figuras 51 y 55 las temperaturas llegan superar los 24 °C, la cual es la temperatura adecuada para humedades cercanas al 50% (ANSI/ASHRAE estandard 55, 2013) y como se observa en la figura 52 y 56 es aproximadamente la humedad percibida en la habitación para esa hora. Por lo que se observa un pequeño periodo del día donde la temperatura no es la ideal para la habitación.

En general, todos sintieron agrado por la presencia del jardín vertical en el lugar y sienten que mejora la estadía y confort del lugar, por lo que recomiendan su uso en otras edificaciones. Además, la totalidad de los encuestados sintieron agrado visual y una sensación de bienestar gracias al jardín tal y como se muestra en las respuestas de la pregunta 6 y 7 que se muestra en el cuadro 6 y 7.

5.1.4 Comparación entre el sistema de aire acondicionado y los jardines verticales

Se logra observar que la construcción de un jardín vertical no presenta grandes complicaciones y es de fácil aplicación para distintas situaciones. Además, cabe destacar que presenta ventajas constructivas respecto a sistemas convencionales como la instalación de aires acondicionados, tales como:

- Se pueden instalar tanto en interiores como en exteriores, con tal solo modificar las plantas utilizadas en el mismo. No requiere de habitaciones aisladas al exterior como los sistemas de aire acondicionado.
- No requiere de una superficie especial o con mayor resistencia; ya que el sistema es de muy bajo peso y la superficie aislante protege la estructura del edificio de la humedad.
- No requiere de la construcción de ductos de extracción o la colocación de condensadores en el exterior del edificio.
- La instalación es más rápida, más sencilla y con materiales de menor costo.
- Su acabado es visualmente más agradable y brinda un efecto anti-estrés en los ocupantes.
- Su efecto se extiende en un área mayor, aunque de manera más baja.

A pesar de las ventajas antes mencionadas, los jardines verticales también presentan las siguientes desventajas:

- Requiere de previstas de agua potable y de manera similar a sistemas de aire acondicionado requiere una conexión eléctrica, pero de mucho menor capacidad.

- Requiere de una mayor área superficial para poder implementarse; sin embargo, se puede adaptar a áreas pequeñas.
- No tiene la capacidad de aumentar su potencial cuando las temperaturas son muy altas, a diferencia de los aires acondicionados que tienen reguladores de temperatura y se le puede aumentar la potencia cuando es requerido.
- Al tratarse de un sistema vivo está propenso a verse afectado por factores externos como cambios de humedad, temperatura o plagas; además que requiere de un tiempo inicial de adaptación de las plantas.

Por otro lado, en el cuadro 8 se observa como el sistema de aire acondicionado representa un costo inicial de \$1 670 menos; sin embargo, este representa un costo anual uniforme equivalente de \$2 319,66 más y se tiene un periodo de recuperación de menos de un año para la inversión del jardín vertical, por lo que corto plazo el sistema que representa un menor costo son los jardines verticales.

5.2 Conclusiones

- Debido a la presencia del jardín vertical se logra observar una disminución en la temperatura de 2,5 °C en promedio durante el día y un aumento de 1,5°C durante la noche.
- A pesar de la presencia de los jardines verticales, hay periodos del día donde las temperatura eran superiores a los 30°C, por lo que los jardines verticales en cuanto a términos de potencial de disminución de temperatura en muchos casos.
- Se logra aumentar un promedio de 7% la humedad relativa durante los periodos secos y disminuir un promedio de 4% durante los periodos húmedos gracias al jardín vertical.
- A pesar de que hubieran horas del día donde la humedad cerca del jardín fue mayor a 70%, en general siempre se mantuvo en el rango recomendable entre 30% y 70% lo que demuestra que la presencia del jardín es suficiente para controlar este parámetro.

- El jardín vertical logra una disminución promedio de la concentración de CO₂ de 118 ppm, equivalente a un aproximado de 25% de disminución.
- Para todos los casos la concentración de CO₂ fue menor a 1000 ppm por lo que se puede decir que la calidad del aire es muy buena, y para las zonas cercanas al jardín en la mayoría del tiempo fue menor a 350 ppm que es la concentración natural en la atmosfera, lo que indica que la purificación en el aire por parte del jardín es excelente.
- El efecto del jardín se extiende alrededor de un radio de 11,5 m alrededor de este logrando bajar la temperatura, el CO₂ y estabilizar la humedad relativa del área de influencia.
- El efecto de un jardín vertical se extiende más allá de donde se ubica este, logrando que en la habitación contigua se disminuya 1,5°C de temperatura, se establezca en 8% la humedad relativa y se disminuya en 88 ppm un 14% de reducción en la concentración de CO₂.
- El jardín vertical resulta un sistema de climatización mucho más sencillo y versátil de construir e implementar que el sistema tradicional de aire acondicionado.
- En términos constructivos resulta mucho más sencillo, adaptable el jardín vertical con respecto a los sistemas de aires acondicionados; además que requiere de mucho menos recursos.
- El costo inicial de la compra de instalación del jardín vertical es mayor en comparación al sistema de aire acondicionado; sin embargo, el costo de uso y mantenimiento es mucho menor por lo que en pocos meses resulta más económico el sistema de jardines verticales.
- Hay buena aceptación del sistema por parte de los ocupantes, y una mejora del confort del lugar según la opinión de los mismos gracias al jardín; sin embargo, existe un momento del día donde el nivel de confort del lugar no es ideal, ya que el jardín no logra estabilizar la temperatura.
- Al tratarse de un sistema de climatización pasiva el sistema de jardines verticales tiene la limitación de que se debe adaptar al medio, por lo que en edificaciones ya

construidas su efecto puede ser menor pues esta propenso a factores ambientales pre existentes en el sitio.

- El sistema constructivo tipo fieltro es el mejor en términos de aplicabilidad para el caso estudiado, pues, aunque su instalación es más costosa respecto a otro tipo de jardines verticales su precio inicial se compensa con el ahorro en mano de obra por mantenimiento y su facilidad de implementación.
- En este caso al tratarse de jardines ubicados en interiores, en lugares muy concurridos, con poca disponibilidad de espacio y con facilidad de servicio de agua y electricidad, el jardín vertical tipo fieltro es la mejor opción; sin embargo, en lugares donde si hay disponibilidad de espacio, no existen tomas de agua y electricidad pocos metros o se trate de jardines exteriores se puede considerar otros tipos de jardines como los tipo bolsillo, tipo malla o sistema flotante pues resulta más barato y fácil de construir, aunque requiere mantenimiento diario.
- El uso de jardines verticales en el exterior o en fachadas no solo mejoran el ambiente en zonas circundantes, sino que también ayudan a mejorar el ambiente en zonas interiores pues funciona como una barrera que retiene y disipa el calor de las corrientes de aire atraviesan el jardín.
- Además de la economía generada por los jardines verticales debido al ahorro energético en comparación a métodos activos como los aires acondicionados, el ahorro puede ser aún ya que al tener una base impermeabilizada se puede colocar directamente sobre la estructura de pared sin necesidad del ningún tipo de forro o recubrimiento que divida la estructura de la pared con el sistema del jardín.

5.3 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis mediante un estudio hidrológico para determinar el efecto a la disminución de la escorrentía superficial y determinar un hidrograma característico para un periodo de lluvia sobre un jardín vertical.
- Al tratarse de un sistema que aporta un área de cobertura vegetal, se recomienda determinar cuál es el efecto en la mitigación de inundaciones y su capacidad de

mitigación de las crecientes al variar el área de cobertura, ubicación, dirección hacia donde se inclina el jardín, tipo de jardín vertical o el tipo de planta.

- Se aconseja realizar un estudio similar a este, pero con condiciones controladas mediante un modelo de laboratorio y probar la diferencia entre los diferentes parámetros con y sin jardín bajo condiciones idénticas.
- También es necesario repetir el estudio en la época lluviosa para determinar qué cambios puede provocar en los parámetros la presencia de lluvia y temperaturas inferiores.
- Aunque el sistema de jardines verticales tipo fieltro es más fácil de aplicar, el mantenimiento es más simple y requiere menos espacio; es el que resulta más costoso por lo que en lugares donde el espacio y el mantenimiento continuo no sea un problema, resulta mejor otras metodologías como los sistemas de jardines verticales flotantes, tipo bolsillo o los sistemas en malla.
- Se recomienda hacer un análisis enfocada solo hacia el efecto del tipo de cubierta vegetal y determinar cuál es el tipo de planta adecuada dependiendo del parámetro ambiental que se quiera mejorar (temperatura, humedad relativa, contenido de CO₂, etc); además del precio a partir de dicha cubierta vegetal.
- Se debe de realizar un análisis de la legislación actual y proponer mejoras en la misma, para la utilización y regulación de los jardines verticales en Costa Rica.
- Se debe hacer una comparación tanto económica, energética como de confort más exacto entre sistemas artificiales de climatización con respecto a los jardines verticales.
- El sistema de jardines verticales al ser un método de climatización pasiva cuyo efecto puede que no tenga la capacidad de climatizar por si solo todo un espacio, se recomienda considerar en el diseño de la edificación la integración de otros sistemas de climatización pasivas como aislantes térmicos, entradas de aire, parasoles, etc. De forma que en efecto sumado de los sistemas pasivas generen el efecto deseado de habitabilidad.
- Se recomienda hacer un estudio como el realizado en este documento, pero para otras zonas de Costa Rica fuera de la GAM donde las temperaturas son superiores

y la humedad relativa del medio puede variar el efecto del jardín o afectar el tipo de planta utilizado.

- Para mayor certeza de los resultados se recomienda repetir el estudio en otras edificaciones donde el jardín este expuesto al exterior y pueda ser afectado por condiciones climáticas externas como sol, lluvia y dilución de CO₂ del aire.
- Se recomienda repetir el estudio en una edificación donde se haya implementado tanto el sistema de jardín vertical como el de aire acondicionado, para poder determinar tanto la compatibilidad entre ambos sistemas como la compensación que existe debido a la disminución de la humedad generada por el aire acondicionado contra el aumento de la misma gracias al jardín vertical.
- Se recomienda repetir el estudio en varios tipos de edificaciones con características diferentes como geometría, materiales, iluminación, ventilación, tamaño, etc.
- Se recomienda repetir el estudio donde la calidad del aire sea muy mala, y conocida previamente para poder determinar cuál es la respuesta del jardín vertical ante alta concentraciones de CO₂.
- Se recomienda evaluar y cuantificar el área de impacto de un jardín vertical considerando características geométricas de la edificación, tamaño del jardín, tipos de planta, características de la edificación, etc.
- Es recomendable realizar el modelado de la edificación con otro tipo de software, de preferencia uno que logre simular el movimiento de los flujos de aire dentro de la edificación.

Referencias

ANSI/ASHRAE standard 55. (2013). *Thermal Environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. (2018). *ASHRAE en español*. Recuperado el 26 de 9 de 2018, de <https://www.ashrae.org/about/ashrae-en-espa%C3%B1ol>

- Barquero, K. (11 de Diciembre de 2017). Ticos entre los que más emisiones de CO2 registran en Centroamérica. *La Republica*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de <https://www.larepublica.net/noticia/ticos-entre-los-que-mas-emisiones-de-co2-registran-en-centroamerica>
- Barrientos, Z. (2010). Contaminación atmosférica en la meseta central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23, 50.
- Blender, A. M. (14 de Abril de 2015). *arquitectura y energía*. Obtenido de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>
- Chandler, D. L. (19 de Marzo de 2018). La cantidad de calor que acumula una ciudad depende de la disposición de sus edificios. *Investigación y Ciencia*, 120. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/la-cantidad-de-calor-que-acumula-una-ciudad-depende-de-la-disposicin-de-sus-edificios-16233>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (s.f.). *CNFL EN LÍNEA*. Recuperado el 2 de octubre de 2018, de https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/resumen_tarifas.pdf
- ecotelhado. (27 de Noviembre de 2013). *ecotelhado.com*. Recuperado el 29 de Julio de 2018, de <http://ecotelhado.com.co/certificacion-leed-cubiertas-y-muros-verdes-ecotelhado/>
- Empresa Canaltiempos21. (18 de febrero de 2003). *mailxmail.com*. Recuperado el 2017 de septiembre de 2017, de <http://www.mailxmail.com/curso-fenomenos-meteorologicos/direccion-velocidad-viento>
- Extech Instruments. (Julio de 2013). *Manual de usuario:CO2/Registrador de datos de Humedad/Temperatura Modelo SD800*.

- GestorEnergético.com. (12 de octubre de 2018). *Gestor energético*. Obtenido de <https://www.gestor-energetico.com/sistemas-pasivos-de-climatizacion-arquitectura-bioclimatica/>
- González Coto, J. D. (2013). Jardines verticales como alternativa ecológica. *Hacia la sostenibilidad sostenible*(No. 243).
- Hobaico, M. E., & Cedre de Bello, S. (2006). *El confort y la calidad en edificaciones habitacionales*. Caracas: Investigadores del IDEC, FAU y UCV.
- Hoyano, A. (1998). Climatological uses of plants for solar control, and the effects on the thermal environment of a building. *Tokyo Institute of Technology*, 19.
- Ignea Green Urban Garden. (18 de Marzo de 2016). *www.certicalia.com*. Obtenido de <https://www.certicalia.com/certificacion-breeam/normativa-y-requisitos-de-la-certificacion-breeam>
- Jhonson Constrols INC. (2015). Floor Ceiling Ceiling Air Conditioner.
- La Vanguardia ediciones. (10 de Octubre de 2010). Las emisiones de CO2 por el consumo energético en edificios aumentaron un 200 por ciento en 15 años. *La Vanguardia*.
- LEICA Instruments. (2018). *PCE-Instruments*. Obtenido de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/distanciometro-gottlieb-nestle-gmbh-distanci_metro-leica-disto-d510-det_762356.htm?_list=kat&_listpos=13
- Mairal, D. (2 de Mayo de 2013). *Aragon Valley*. Recuperado el 27 de Julio de 2018, de <http://www.aragonvalley.com/consecuencias-directas-del-co2-en-los-humanos/>
- Mondelo, P., Torada, E. G., & Santiago, C. (2001). *Ergonomía 2. Confort y estrés térmico*. Mexico: Alfaomega-UPC.
- Montalvo, A. (2014). Análisis experimental de un techo verde en Costa Rica. Montes de Oca, San Jose, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

- Murprotec España. (11 de Mayo de 2005). *Murprotect*. Recuperado el 18 de Agosto de 2018, de <https://www.murprotec.es/hogar/humedad-relativa-ideal/>
- Navarro Portilla, J. (Septiembre de 2013). LOS JARDINES VERTICALES EN LA EDIFICACIÓN. Valencia, España: Universidad Politecnica de Valencia.
- ONSET. (10 de Junio de 2012). *onsetcomp.com*. Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>
- Piñero, J. (Junio de 2017). *7 días extremadura*. Recuperado el 21 de septiembre de 2017, de <http://www.extremadura7dias.com/noticia/por-que-hace-mas-calor-en-las-ciudades-que-fuera-de-ellas-efecto-isla-de-calor-en-badajoz>
- Plantica Mexico. (s.f.). *Plantica Ciudades Vivas*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de <https://www.plantica.mx/jardinesverticales>
- Schaafsma, M., Belarbi, R., & Collinsa, R. (2017). Experimental study of green walls impacts on buildings in summer. *Energy and Buildings*, 9.
- Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá Colombia. (20 de Diciembre de 2011). *Regimen legal de Bogotá*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45265>
- Susca, T., Gaffin, S., & Dell'Osso, A. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. Nueva York, Estados Unidos: Universida de Columbia.
- usgbc.org. (12 de Mayo de 2016). *new.usgbc.org*. Obtenido de <https://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs10716.pdf>
- Verger, E. (17 de Agosto de 2017). *CienciaToday*. Recuperado el 21 de septiembre de 2017, de <https://cienciatoday.com/la-humedad-relativa-del-aire/>

Anexo 1: Encuesta sobre confort

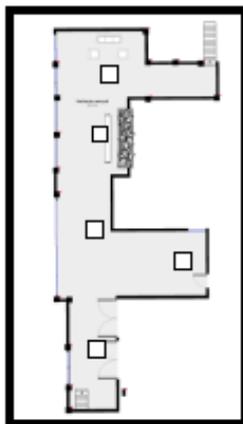
Como parte de un estudio sobre el confort generado por el jardín vertical que se encuentra en estas instalaciones, se le solicita que por favor responda la siguiente encuesta.
Esta encuesta será parte de la tesis para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica a cargo del estudiante Luis Rodolfo Acuña Cubillo en colaboración con la empresa Plantica CR. titulada "Evaluación del uso de Jardines verticales como alternativa ecológica en edificaciones urbanas".
Toda la información que nos brinde en esta encuesta será utilizada sólo en la investigación y no se le proporcionará a nadie más que a los investigadores

Por favor antes de iniciar indique:

FECHA Y HORA:

NOMBRE:

Por favor, indícanos con una X tu ubicación dentro de la recepción:



1. ¿Cómo SENTÍS la temperatura del aula en este momento? Marque con una X sólo una de las

Muy fría	Fría	Un poco fría	OK	Un poco calurosa	Calurosa	Muy calurosa
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
						

2. ¿Cómo SENTÍS la temperatura en la recepción en este momento? Marque con una X sólo una de las

- Me gustaría que estuviese mucho más fría
- Me gustaría que estuviese más fría
- Me gustaría que estuviese un poco más fría
- Me siento bien con la temperatura actual.
- Me gustaría que estuviese un poco más calurosa
- Me gustaría que estuviese más calurosa
- Me gustaría que estuviese mucho más calurosa

3. En este momento ¿Sientes que la temperatura es confortable?

- SÍ
 NO

4. ¿Cuál es tu vestimenta actual? (Marque todas las prendas que porte en este momento)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Camisa manga corta | <input type="checkbox"/> Vestido largo |
| <input type="checkbox"/> Camisa manga larga | <input type="checkbox"/> Camiseta interior |
| <input type="checkbox"/> Camiseta | <input type="checkbox"/> Camiseta o blusa de tirantes |
| <input type="checkbox"/> Sudadera | <input type="checkbox"/> Medias |
| <input type="checkbox"/> Suéter | <input type="checkbox"/> Zapatos cerrados |
| <input type="checkbox"/> Chaqueta | <input type="checkbox"/> Zapatos abiertos |
| <input type="checkbox"/> Falda o pantalón hasta las rodillas | <input type="checkbox"/> Sandalias |
| <input type="checkbox"/> Falda o pantalón hasta los tobillos | <input type="checkbox"/> Otro (Favor Indicar toda vestimenta relevante que se ha mencionado): _____ |
| <input type="checkbox"/> Vestido corto | |

5. ¿Cómo describiría la actividad que estas haciendo actualmente o que realizaste en los últimos 5

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Actividad sentada | <input type="checkbox"/> Actividad alta de pie |
| <input type="checkbox"/> Actividad ligera de pie | <input type="checkbox"/> Descansando sentado |
| <input type="checkbox"/> Actividad medio de pie | <input type="checkbox"/> De pie descansando |

6. ¿Cuál es tu opinión acerca del Jardín vertical dentro de la recepción?(puede marcar una o varias)

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> No había notado que estaba ahí | <input type="checkbox"/> Siento agrado de estar en la recepción gracias al jardín vertical |
| <input type="checkbox"/> No percibo ningún cambio en el entorno | <input type="checkbox"/> Siento desagrado de estar en la recepción gracias al jardín vertical |
| <input type="checkbox"/> Percibo un cambio en el ambiente gracias al jardín vertical: (¿De qué tipo?)
<input type="radio"/> Positivo
<input type="radio"/> Negativo | <input type="checkbox"/> Me parece visualmente agradable |
| <input type="checkbox"/> Me molesta y desearía que lo quitaran | <input type="checkbox"/> Me parece visualmente desagradable |
| <input type="checkbox"/> Desearía que estuviera en otros lugares del edificio | <input type="checkbox"/> Me genera malestares (cuales): _____ |

7. ¿Recomendaría usted que se sigan construyendo jardines verticales en otras edificaciones?

- SÍ
 NO

Anexo 2: Oferta de compra e instalación de aire acondicionado



San José 02 de octubre del 2018

Oferta 180568

Estimado
Luis Acuña Cubillo
Urbanotecnia

Aires Acondicionados AC Servicios S.A. con cedula jurídica 3-101-340569, tiene el agrado de presentarle la siguiente oferta todo de acuerdo a su solicitud y a las especificaciones brindadas.

Alcance de la Oferta

Suministro e instalación mecánica de un (1) equipos de aire acondicionado tipo minisplit marca **YORK** modelo **YNFFXC048 / YCD48** con unidad evaporadora tipo piso cielo y unidad condensadora de descarga vertical, con capacidad nominal de 48.000 BTU/Hr. **EFICIENCIA SEER 13**, con refrigerante R-410 (ecológico). Para operar a 208/230 voltios, 1 fase, 60Hz. Los equipos operan a control remoto inalámbrico, con programación total desde el control con pantalla LCD.

Equipo :	\$ 2.065.00 IVI
Supresor de voltaje:	\$ 50.00 IVI
Instalación mecánica:	<u>\$ 450.00</u>
Total con impuestos:	\$ 2.565.00 IVI

Alternativa

Suministro e instalación mecánica de un (1) equipos de aire acondicionado tipo minisplit marca **YORK** modelo **YNKFXC55 / YCD48** con unidad evaporadora tipo cassette y unidad condensadora de descarga vertical, con capacidad nominal de 48.000 BTU/Hr. **EFICIENCIA SEER 13**, con refrigerante R-410 (ecológico). Para operar a 208/230 voltios, 1 fase, 60Hz. Los equipos operan a control remoto inalámbrico, con programación total desde el control con pantalla LCD.

Equipo:	\$ 2.110.00 IVI
Supresor de voltaje:	\$ 50.00 IVI
Instalación mecánica:	<u>\$ 455.00</u>
Total con impuestos:	\$ 2.615.00 IVI

La instalación incluye:

Suministro e instalación de un lote de tres (3) metros de tuberías para refrigeración en cobre en longitudes y diámetros adecuados, con aislamiento de cañuela de hule en la línea de succión.

Suministro e instalación para la base del condensador.

Suministro e instalación de un presostato de baja presión de refrigerante.

Suministro e instalación de drenaje de la unidad evaporadora. Prevista por el cliente.

Tel.:(506) 2223-5300 / Fax:(506) 2223-3210 E-mail: acservicios@ice.co.cr

Suministro e instalación de señal entre unidad evaporadora y unidad condensadora.
Suministro e instalación de (1) supresor de voltaje marca Citel modelo MSB10-400, con certificación UL1449.

Notas:

El valor de la instalación para cada equipo ofrecido está estimado a 3 metros de longitud de tubería de refrigeración entre condensador y evaporador, si este excede cada metro adicional de tubería tiene un costo de \$ 30.00

Si fuera necesario, nuestra oferta no incluye el suministro e instalación de bomba de condensado para el sistema de drenaje del agua de condensado producida por el evaporador, que en caso de ser necesaria tiene un costo adicional de \$ 120.00

Nuestra oferta no incluye la instalación de fuerza eléctrica para el equipo ofrecido la cual debe de ser suministrada por el cliente a cero (0) metros, ni obra civil de ninguna índole.

Se consideró todos los trabajos de instalación durante horario ordinario.

La oferta es en dólares y será cancelada en dicha moneda, o en su defecto en colones utilizando el tipo de cambio de venta de referencia del Banco Central a la fecha en que se realiza el pago, según lo dicta la Ley Orgánica del Banco Central.

Los equipos nuevos serán propiedad del cliente hasta que sean cancelados totalmente a A/C Servicios.

AC Servicios no se afectará con la cancelación de la factura por atrasos causados por terceras personas incluidas en el desarrollo del proyecto.

Tiempo de entrega:

Sujeto a disponibilidad de inventario y a previa venta. Se requiere de siete (7) días hábiles para entrega, después de recibido la orden de compra y el respectivo adelanto.

Forma de pago:

60% adelanto 40% contra entrega

Validez de la oferta:

Treinta (30) días

Garantía:

Garantizamos los equipos ofertados por doce (12) meses contra defectos de fabricación, siempre y cuando se siga las instrucciones del fabricante en lo que se refiere a su instalación, operación y se le brinde el servicio de Mantenimiento Preventivo adecuado a los equipos. Esta garantía no cubre daños ocasionados por terceros y ningún tipo de daño producido por consecuencia de cualquier clase de desastre natural o por fluctuaciones de voltaje en el servicio eléctrico. El precio del Mantenimiento Preventivo no está incluido en nuestra oferta.

Esperando que la presente sea de su conveniencia, nos suscribimos,
Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gustavo Hernández G.', written over a horizontal line.

Gustavo Hernández G.
Gerente de Ventas

Anexo 3: Tarifas eléctricas de la CNFL

TARIFAS ELÉCTRICAS

Rige para los consumos que se originen a partir del
Lunes 01 de Octubre del 2018

Publicado en el Alcance N°167 del viernes 21 de setiembre
del 2018 Tarifa incluye CVC (Costo Variable del Combustible)



Tarifa Residencial Horaria T-REH	
Consumo de 0 a 300 kWh	
Punta	¢152,43
Valle	¢63,21
Nocturno	¢26,03
Consumo de 301 a 500 kWh	
Punta	¢173,50
Valle	¢70,63
Nocturno	¢29,75
Consumos mayores a 501 kWh	
Punta	¢205,73
Valle	¢83,05
Nocturno	¢38,43

Tarifa Residencial T-RE	
Bloque de 0-30 kWh Cargo Fijo	¢ 2.156,10
Bloque de 31-200 kWh cada kWh	¢ 71,87
Bloque de 201-300 kWh cada kWh	¢ 110,30
Bloque mayor a 300 cada kWh adicional	¢ 114,02

Tarifa Media Tensión TMT	
Consumo de energía por cada kWh	
Energía Punta	¢61,96
Energía Valle	¢30,99
Energía Noche	¢22,31
Consumo de Potencia (kW)	
Potencia Punta	¢10.864,99
Potencia Valle	¢7.730,78
Potencia Noche	¢4.907,65

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 - 3.000 Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Potencia	
Bloque 0 - 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 KW	¢11.446,21

Tarifa Industrial T-IN	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 - 3.000 kWh Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Demanda	
Bloque 0 - 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 KW	¢11.446,21

Tarifa Preferencial de Carácter Social T-CS	
Consumo menor o igual a 3000 kWh cada kW	
Mínimo 30 kWh	81,80
Clientes con consumo de Energía	
Consumo de Energía kWh	
Bloque de 0-8 kW Cargo Fijo	¢141.300,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢47,10
Por consumos de potencia kW	
Bloque de 0-8 kW Cargo Fijo	¢61.003,36
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢7.625,42

Tarifa Promocional T-PRO	
Bloques de consumo	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46
Por Consumo de Energía	
Bloque de 0 - 3.000 kWh Cargo Fijo	¢219.360,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Demanda	
Bloque 0 - 8 KW Cargo Fijo	¢91.569,68
Bloque mayor a 8 KW	¢11.446,21

Tarifa Alumbrado Público T-AP	
Por cada kWh consumido	¢3,55

Definición de periodos:

1. Punta: de 10:00 a 12:30 pm y de 17:30 a 20:00
2. Valle: De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30
3. Nocturno: De 20:00 a 6:00