

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN EDIFICACIONES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE CARACAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:
Ochoa León, Jorge Enrique

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Noviembre 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN EDIFICACIONES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE CARACAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María E. Korody

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:

Ochoa León, Jorge Enrique

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, Noviembre 2012

Si los edificios emergieran de la tierra como las antiguas formaciones rocosas del macizo Guayanés en el estado Bolívar “Tepuyes”, todos los Techos serían Verdes.

DEDICATORIA

A todos los individuos que luchan, se preparan y toman acciones, para que nuestro mundo sea un mejor lugar para vivir.

A mis padres por inculcarme los valores que me han hecho ser quien soy hoy

Jorge E. Ochoa L.

AGRADECIMIENTOS

Estas hojas recogen el esfuerzo de muchas personas involucradas así como de un gran sentimiento en dar propuestas de cambio para mejorar nuestro ambiente, nuestra Caracas y nuestra Venezuela.

A mi Tutora: Prof. María E. Korody le agradezco su paciencia y su buena actitud ante las dificultades.

Agradezco de manera muy especial a la Prof. Karenia Córdova, por su apoyo e interés en mi investigación sobre Techos Verdes

El desarrollo de este Trabajo Especial de Grado NO pudo haber sido posible sin la generosa colaboración de:

El Prof. Antonio Güell, la Arquitecta Patricia Hollstein, la Sra. Maura Millán, el Ingeniero Abraham Katz y la Arquitecta María José Sedales.

Ich danke Nina & Josy und meinen Deutschen Freunden!

A todos los que se interesaron en este tema y me brindaron su apoyo.

Gracias/Danke

Ochoa L. Jorge E.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN
EDIFICACIONES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE
CARACAS**

Tutor Académico: María E. Korody.

Trabajo Especial de Grado, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. Año 2012, pág. (115).

Palabras Clave: Estructuras, Techo Verde, Caracas, Centros comerciales

Resumen. El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad estructural de edificaciones comerciales para la implementación de techos verdes en la ciudad de Caracas. La investigación es de tipo evaluativa fundamentada dentro del método de los estados límites de la norma FONDONORMA 1753, 2006. La metodología a seguir se basó en la búsqueda de información estructural de los tipos de losas más usadas en las edificaciones de uso comercial, posteriormente se identificaron los techos verdes y sus tipos, se procedió al cálculo del estado límite de agotamiento resistente de las losas a cargas gravitatorias y se determinó la factibilidad estructural de la misma. Los resultados obtenidos demostraron que por medio de revisión de las losas de las edificaciones estudiadas dentro de los criterios del estado límite de agotamiento resistente, la implementación de sistemas de Techos Verdes es aplicable. Los techos verdes son un campo poco explorado en Venezuela y esta investigación pretende servir de apoyo para futuros estudios que promueva el uso de esta tecnología.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1 Planteamiento del Problema.....	19
1.2 Marco Referencial.....	24
1.3 Objetivos de la Investigación.....	27
1.4 Aportes.....	28
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	29
2.1 Techos verdes.....	29
2.1.1 Techo Verde Intensivo.....	30
2.1.2 Techo Verde Extensivo.....	31
2.1.3 Techo Verde Semi-intensivo	31
2.1.4 Techo Verde Biodiverso	31
2.2 Los Techos Verdes en la historia.....	32
2.3 Techos Verdes en el mundo.....	33
2.3.1 Proyectos gubernamentales (Green Roof , 2011).....	33
2.3.2 Proyectos comerciales (Green Roof , 2011).....	34
2.3.3 Proyectos industriales (Green Roof , 2011).....	35

2.3.4	Sedes corporativas (Green Roof , 2011).....	36
2.3.5	Aeropuertos (Green Roof , 2011).	36
2.3.6	Hoteles (Green Roof , 2011).....	37
2.3.7	Centros médicos (Green Roof , 2011).	37
2.3.8	Viviendas unifamiliares (Green Roof , 2011).....	38
2.3.9	Viviendas multifamiliares.....	38
2.3.10	Escuelas y centros de investigación.....	39
2.3.11	Estacionamientos.	40
2.4	Componentes de un Techo Verde.....	40
2.4.1	Sustrato de un Techo Verde.....	43
2.4.2	Capa vegetal.....	47
2.4.3	Geotextil y manto impermeable.....	47
2.4.4	Peso de un Techo Verde	48
2.5	Techos Verdes y sus beneficios	50
2.6	Techos Verdes y certificación LEED	51
2.7	Isla Térmica o Isla de Calor	54
2.8	Edificaciones objeto de estudio	56
2.9	Soporte estructural para un Techo Verde	59

2.9.1.	Tipos de losas	60
2.9.2.	Losa Maciza	60
2.9.3.	Losa Nervada	61
2.9.4.	Encofrado Colaborante.....	63
2.10	Pesos de Losas	64
2.11	Carga de servicio para edificaciones comerciales	65
2.12	Losas y método de los estados límites	65
2.13	Estado límite de agotamiento resistente.....	65
2.14	Estado límite de servicio.....	66
2.15	Control de deflexiones	67
2.16	Deflexiones máximas permisibles	67
CAPÍTULO III MÉTODO		68
3.1	Fase I.	68
3.2	Fase II.....	70
3.3	Fase III.	70
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		71
4.1	Edificaciones comerciales objeto de estudio.....	73
4.1.1	Formato de Recopilación de Datos Estructurales	73

4.2	Techo Verde ubicado en la ciudad de Caracas.....	74
4.3	Techo Verde Consideraciones Estructurales.....	78
4.4	Estudios analíticos de las edificaciones objeto de estudio	78
4.5	Evaluación estructural para implementar un Techo Verde en una edificación de uso comercial.....	79
4.6	Estado límite de agotamiento resistente de las edificaciones objeto de estudio.	81
4.7	Formato de evaluación factibilidad estructural	85
4.8	Evaluación estructural de las edificaciones objeto de estudio	87
4.9	Evaluación estructural para el CCCT.....	89
4.10	Evaluación estructural para el Centro Banaven.	100
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....		101
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES		104
APÉNDICE		105
ApéndiceI.	Formato de recopilación de datos estructurales	105
Apéndice II.	Formato de recopilación estructural para el CCCT.....	106
Apéndice III.	Formato de Recopilación Estructural para el CCS.....	107
Apéndice IV.	Losa tipo del Centro Comercial Sambil	108
Apéndice V.	Solicitud de Datos estructurales Centro Banaven	109

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
---------------------------------	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Componentes y Funciones de un Techo Verde.....	42
Tabla 2 Peso de elementos de un Techo Verde (NOPHADRAIN, 2011)	48
Tabla 3 Sistema de Puntuación LEED para edificaciones con Techos Verdes	53
Tabla 4 Descripción de las Edificaciones Objeto Estudio	56
Tabla 5 Pesos típicos de losas (COVENIN 2002, 1988)	64
Tabla 6 Escala de puntuación para Techos Verdes.....	80
Tabla 7 Estado límite de agotamiento resistente (U) para losa típicas	82
Tabla 8 Pesos admisibles de Techos Verdes al 15% del estado de agotamiento resistente.....	83
Tabla 9 Pesos admisibles transformados al sistema de puntuación	84
Tabla 10 Factores individuales para cada espesor de losa	84
Tabla 11 Factores t para la determinación de puntuación de la losa.....	85
Tabla 12 Pesos de losas para las edificaciones objeto de estudio.....	87
Tabla 13 Valores de t para el cálculo de puntuación de losas.....	88
Tabla 14 Datos del Centro Comercial Ciudad Tamanaco.....	89
Tabla 15 Resultados de la evaluación estructural	96
Tabla 16 Datos del Centro Comercial Sambil.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Techo Verde en el Chicago City Hall.....	25
Figura 2 Techo Verde.....	29
Figura 3 Tipos de Techos verdes	30
Figura 4 Casa típica Islandesa.....	32
Figura 5 Toronto City Hall.....	34
Figura 6 Soilders Field	35
Figura 7 Banco Santander Madrid	35
Figura 8 Aeropuerto de Frankfurt	36
Figura 9 Hotel Royal York Fairmount	37
Figura 10 Life Expression Wellness Center.....	38
Figura 11 Hundertwasser	39
Figura 12 Schule Unterensingen	40
Figura 13 Componentes de un Techo Verde.....	41
Figura 14 Panel de Irrigación y Drenaje	43
Figura 15 Curva Granulométrica para techos verdes extensivos	46
Figura 16 Curva Granulométrica para techos verdes intensivos.....	46
Figura 17 Peso de elementos de un Techo Verde.	49

Figura 18 Pesos de Techos Verdes.....	50
Figura 19 Isla Térmica	55
Figura 20 Pirámide Invertida CCCT.....	57
Figura 21 Vista al techo del CCS.....	57
Figura 22 Vista al techo del CB.....	58
Figura 23 Ubicación y área de incidencia de las Edificaciones Objeto de Estudio	59
Figura 24 Tipos de losas	60
Figura 25 Losa maciza	61
Figura 26 Losa Nervada en una dirección.....	62
Figura 27 Losa armada en dos direcciones	63
Figura 28 Losa con encofrado colaborante	64
Figura 29 Infografía Techos verdes	72
Figura 30 Preguntas de FRDE	74
Figura 31 Techo Verde en edificación en la Alameda Caracas	76
Figura 32 Paneles de drenaje utilizados en edificación comercial en la Alameda Caracas	77
Figura 33 Distribución de Techo Verde por “paños” en la Alameda, Caracas.....	77
Figura 34 Formato de evaluación estructural.....	86
Figura 35 Losa Nervada e=20cm	88

Figura 36 Evaluación estructural del CCCT losa maciza $e=15$ cm	90
Figura 37 Evaluación estructural del CCCT losa maciza $e=20$ cm	91
Figura 38 Evaluación estructural del CCCT losa maciza $e=25$ cm	92
Figura 39 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 dir. $e=15$ cm.....	93
Figura 40 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 dir. $e= 20$ cm.....	94
Figura 41 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 dir. $e= 25$ cm.....	95
Figura 42 Evaluación estructural del CCS losa maciza $e= 32$ cm	98
Figura 43 Evaluación estructural del CCS losa nervada en 2 dir. $e= 32$ cm.....	99

LISTA DE FORMULAS

Fórmula 1 Estado límite de agotamiento resistente	65
Fórmula 2 Flecha límite	67

INTRODUCCIÓN

Las últimas tecnologías en la construcción se han venido influenciando por tecnologías verdes, ya no solo es importante que los materiales empleados tengan mejores atributos de resistencia y/o durabilidad, hoy en día es importante que las edificaciones tengan atributos que sean amigables con el ambiente, un ejemplo es la utilización de materiales reciclados para la construcción, hay otros sistemas que permiten la reutilización de las aguas de lluvia, instalación de paneles solares, caracterización de desechos sólidos, entre otros. En esta investigación se introducirán los Techos Verdes, este sistema ha sido desarrollado y aplicado en otros países con experiencias muy satisfactorias, tanto así que, en Suiza y Austria las edificaciones nuevas deben tener un Techo Verde, esto debido a los beneficios que brindan en los entornos urbanos.

Un Techo Verde es un sistema multicapa que se instala en un techo o azotea, el cual funciona como manto protector del techo. Además de proteger al techo ofrece una solución práctica a un problema climático que se origina en los densos centros urbanizados que se llama isla de calor. En Caracas la isla de calor se ha hecho presente en forma de altas temperaturas con épocas de sequías prolongadas.

El uso de este sistema es poco conocido y a pesar que en Caracas se cuenta con una edificación comercial recientemente inaugurada con un Techo Verde, no hay indicios de otras edificaciones que hayan usado este sistema.

Para esta investigación dentro de los parámetros de la Ingeniería Civil se plantea el estudio de la factibilidad estructural de una edificación, con la finalidad de dar una propuesta factible y práctica y de rápida adopción del uso de un Techo Verde. Venezuela no cuenta con normas, procedimientos y/o leyes que regulen el uso Techos

Verdes en edificaciones, debido a esto se recurrió a normas y manuales avalados por países con amplia experiencia en la utilización de este sistema, de manera de poder establecer los criterios de diseños estructurales necesarios para su implementación en edificaciones de uso comercial bajo los lineamientos de las normas de construcción Venezolanas.

El presente trabajo de investigación se estructura de la siguiente manera. El capítulo I comprende los fundamentos de la investigación, el capítulo II el marco teórico, el capítulo III la metodología y el capítulo IV los resultados y análisis. Como aspecto final se incluyen las conclusiones y recomendaciones y las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Las tendencias y conceptos verdes han venido introduciendo importantes cambios dentro del sector de la construcción motivados principalmente por el impacto que la actividad constructiva deja en el medio ambiente. Los avances que el sector constructivo ha aportado a la sociedad dan como resultado los diversos elementos que identifican a la vida urbana tales como vialidad, edificaciones de uso residencial, comercial e industrial; servicios de acueductos y cloacas, manejo y disposición de desechos sólidos, sistemas de transporte masivo, entre otros. Por otro lado, la vida urbana ha venido acarreando ciertos problemas que han desmejorado el medio ambiente por medio de la contaminación de ríos, disminución en la calidad del aire, empobrecimiento de los suelos, alteraciones en el clima entre otros. Ante este panorama han venido surgiendo estudios e investigaciones por parte de universidades en conjunto con empresas privadas, gobiernos y organizaciones no gubernamentales (ONG) con la intención de buscar la o las soluciones a dichos problemas.

El cambio climático es un fenómeno global que ha venido afectando a diferentes regiones en todo el mundo por medio de alteraciones en el clima, en Venezuela se pudo presenciar tal alteración como el resultado de un evento catastrófico¹ en la región norte-costera Venezolana estado Vargas en el año 1999 producido por frentes fríos cargados de nubes bajas llenas de aguas, posterior a este, en el año 2005 el

¹ Conocido como la Tragedia de Vargas

estado Vargas volvería a ser afectado, esta vez por una vaguada² (Jiménez, 2006). En la ciudad de Caracas se han presenciado fenómenos como el de la calima³, producto de los incendios forestales y smog debido a la intensificación de la temporada de sequía con elevación de las temperaturas superficiales de + 10° C en Marzo de 2010 comparado con Octubre de 2009 (Córdova, 2011). En este mismo orden de ideas Córdova evidencia que tales anomalías en el clima Caraqueño es producto del fenómeno conocido como *Isla Térmica o Isla de Calor*⁴.

La isla de calor ha afectado en ciudades como Londres (Mayor of London, 2006) en el hemisferio norte, en Kuala Lumpur (Elsayed, 2006) en la zona intertropical hasta Sídney (Sheehan, 2010) dentro de la zona meridional. La isla de calor se entiende como un fenómeno que altera el clima local y está asociado a los grandes desarrollos urbanos, su efecto combinado al cambio climático (IPCC, 2007) traen consecuencias nocivas para la vida en la ciudades caracterizadas por intensas olas de calor, así como inviernos más gélidos y lluvias torrenciales. Dentro de este marco, organizaciones como la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU. (EPA) por sus siglas en inglés, en la necesidad de buscar soluciones a esta situación ha desarrollado estudios en la mitigación de la isla de calor, los cuales han resultado en proponer

² El fenómeno de la vaguada es una entrada de aire frío que baja de las capas superiores de la atmósfera, que al entrar en contacto con el aire cálido, que se encuentra cerca de la superficie terrestre, produce una nubosidad y precipitaciones constantes.

³ Es un fenómeno meteorológico consistente en la presencia en la atmósfera de partículas muy pequeñas de polvo, cenizas, arcilla o arena en suspensión.

⁴ Se refiere al gradiente de temperatura que se observa entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o peri-urbana.

alternativas eficientes en la absorción del calor producto de la radiación solar. Teniendo en cuenta esto, los grandes centros urbanos presentan un porcentaje superior de materiales sólidos (concreto, asfalto) frente a materiales menos densos tales como materiales orgánicos (capa vegetal). Reducir el área efectiva expuesta a la radiación solar que un elemento urbano (edificación, vialidad, etc.) recibe, por medio de la sustitución con capa vegetal o material refractante que absorba en menor medida las radiaciones solares, resulta en una acumulación menor de calor por parte del elemento urbano que, disipará a la atmosfera posteriormente.

La Alcaldía de Londres en su Resumen Mensual de Octubre 2006 categoriza la utilización de Techos Frescos⁵ (Cool Roof), Techos Verdes (Green Roof), Reforestación Urbana y Pavimentos Frescos⁶ (Cool Pavement) como acciones viables y prácticas para controlar la isla de calor. Por consiguiente, la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) por sus siglas en inglés, ha realizado diversos estudios en la eficiencia térmica de los Techos Verdes, los resultados reflejaron que su utilización reduce significativamente la temperatura superficial en un techo convencional (Sonne, 2006). La eficiencia térmica de un Techo Verde según ASHRAE está relacionada directamente con el tipo de Techo Verde, la edificación, su geometría y el entorno que lo rodea. Para el caso de un gimnasio ubicado en la ciudad de Toronto se

⁵ Techos de superficie construidas con materiales con alta refracción solar y térmica lo que puede llegar a temperaturas considerablemente más bajos que techos convencionales, debido a que absorben y almacenan menos energía solar durante el día.

⁶ Pavimentos compuestos de un material de alta refracción solar y permeabilidad del agua permitiendo disminuir la absorción de la energía solar y evitar el almacenamiento de agua en la superficie.

realizaron mediciones en secciones de techo convencional y otras aplicando el sistema de Techo Verde, revelando que para un techo convencional la temperatura máxima en un día soleado de verano en la superficie alcanzó 54° C, por otro lado en la sección con el Techo Verde la temperatura máxima en la superficie medida fue 33 ° C; esta diferencia de temperatura (21° C) demuestra la efectividad térmica de un Techo Verde frente a un techo convencional.

La EPA en diversas investigaciones coloca a los Techos Verdes como una alternativa efectiva para enfrentar las distorsiones en el clima urbano causados por la isla de calor. Ciudades como Chicago (The Economist, 2011) y Ciudad de México (Mayorga, 2010) han optado por el uso de Techos Verdes para tal fin, en vista de anomalías en el clima para ambas ciudades. En Venezuela este sistema es poco conocido, sin embargo, a finales de Octubre del 2011 se inauguró en la ciudad de Caracas sector la Alameda del Municipio Baruta una edificación de uso comercial masivo que cuenta con un Techo Verde y otras tecnologías que contribuyen con el ambiente (Domínguez, 2011). El uso de tecnologías verdes supone un cambio radical desde las etapas de diseño, ejecución y mantenimiento de una obra civil.

Implementar Techos Verdes a edificaciones que van a ser construidas en la ciudad de Caracas se considera una acción necesaria para mitigar la isla de calor, sin embargo, la misma no es suficiente. El espacio urbanizable en Caracas es reducido (Di Lisio, 2001), así mismo en Venezuela existe poca información sobre esta tecnología, así como los aspectos técnicos de su aplicación y los diversos beneficios que aportan, de igual manera, no hay iniciativa por parte de los gobiernos municipales y sector privado en la aplicación de Techos Verdes. En consecuencia, el propósito de la presente investigación consiste en estudiar la factibilidad estructural en la implementación de Techos Verdes para edificaciones comerciales en la ciudad de

Caracas, en otras palabras, estructuras que no previeron ser solicitadas por este sistema desde su diseño. En atención a lo expuesto implementar, Techos Verdes en edificaciones comerciales construidas representa una solución práctica a mayor escala para el problema climático que enfrenta la ciudad, teniendo en cuenta que existe una variedad de edificaciones que son potencialmente elegibles para implementar un Techo Verde y pueden contribuir a mejorar los problemas de orden ambientales y climáticos.

1.2 Marco Referencial

Los Techos Verdes son una tecnología que tiene amplia trayectoria en diseño, construcción y aplicación en países como EE. UU. Alemania, Austria, Suiza, Reino Unido, no así para Venezuela, lo que conllevó a buscar información en Códigos y Normas que son certificadas por los países anteriormente mencionados. No obstante existen experiencias con resultados exitosos en México y Colombia (Gutiérrez, 2011) las cuales han adoptado el uso de Techos Verdes para afrontar sus problemas de orden ambiental y climáticos.

En la búsqueda de antecedentes como esta investigación se consultaron diversos documentos relacionados con la aplicación de Techos Verdes para edificaciones a ser proyectadas, considerando en primer lugar las necesidades estructurales, así mismo los drenajes, aspectos constructivos y de mantenimiento relacionados con el Techo Verde. Cabe considerar que el enfoque de esta investigación va dirigido a edificaciones comerciales, debido a esto, los antecedentes se fundamentaron en los trabajos, reportes y demás información de *reconversión de Techos Verdes*, traducción del inglés de “Green Roof Retrofit”. En la perspectiva que adopta esta investigación se habla de implementación en vez de reconversión.

El Chicago City Hall (CCH), ubicado en la ciudad de Chicago, estado de Illinois EE. UU. es la sede actual del gobierno local de la ciudad, esta edificación data del año 1911 y por más de ocho décadas la azotea fue una región desértica. En el año 2000 el gobernador Richard M. Daley en conjunto con la EPA, procedieron a la implementación de un Techo Verde como iniciativa de dar respuesta los problemas ambientales de la ciudad. Los habitantes de Chicago fueron testigos de una solución novedosa y que serviría de ejemplo para que otras edificaciones gubernamentales y no gubernamentales adoptaran este sistema a lo largo de los EE. UU. El ingeniero

Roy F. Weston estuvo a la cabeza del proyecto que se caracterizó por llevar un jardín de 1880 m² al nivel superior del CCH (Velazquez, Chicago City Hall, 2010), ver Figura 1. La capacidad estructural del techo era de 148 kg/m² (Munby, 2005), sin embargo, áreas en las vigas principales podían soportar mayores cargas, lo que resultó en una fusión entre un Techo Verde extensivo⁷ e intensivo⁸ con cargas importantes debido a plantas de raíces profundas (árboles), los cuales se ubicaron encima de las columnas.



Figura 1 Techo Verde del Chicago City Hall (World Business Chicago, 2012)

⁷ Sistema de techo con espesores de sustrato de suelo por debajo de los 15 cm.

⁸ Sistema donde el sustrato supera los 20 cm las plantas utilizadas son de mediana altura.

Los resultados posteriores a la instalación del Techo Verde en CCH fueron objeto de comparación con edificaciones adyacentes con techos convencionales, y develaron un diferencial de temperatura superficial de 50° C, un ahorro energético de 9000 kWh por año, lo que significó un ahorro de 3.600 Dólares Americanos. Adicionalmente el techo tiene una capacidad de retener 25 mm de agua, representando un 75% del agua de una precipitación antes de producirse la esorrentía.

1.3 Objetivos de la Investigación

Los múltiples beneficios que los Techos Verdes han aportado para la mitigación de fenómenos atmosféricos dentro del contexto urbano resultaron que este trabajo de investigación haya planteado una serie de objetivos para estimar los parámetros estructurales, y otros necesarios en la aplicación de este sistema a edificaciones de uso comercial en la ciudad de Caracas.

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la factibilidad estructural para la implementación de Techos Verdes en edificaciones de uso comercial en la ciudad de Caracas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los aspectos estructurales de las losas de techo o azoteas en las normas de construcción Venezolana FONDONORMA 1753:2006 y COVENIN 2002:88.
- Identificar los términos generales y estructurales relacionados con los techos verdes en los códigos: Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites (FLL, 2008) y The Green Roof Code (GRO, 2011).
- Establecer las ventajas y beneficios de un Techo Verde frente a un techo no verde.
- Presentar los aspectos relevantes para la implementación de un Techo Verde para una edificación de uso comercial.
- Seleccionar un tipo de Techo Verde para una edificación de uso comercial masivo en servicio en función de sus limitaciones estructurales.
- Calificar la implementación de un Techo Verde en base a la factibilidad del sistema estructural y demás aspectos importantes de la edificación en estudio.

1.4 Aportes

La investigación desarrollada abre un camino en la evaluación estructural para edificaciones comerciales como objeto de intervención para la implementación de un Techo Verde. En efecto esto significa un gran aporte en la aplicación de este sistema ante la presencia de anomalías climáticas en el entorno urbano. La responsabilidad ambiental hoy en día tiene más relevancia en el desarrollo de las actividades profesionales, por eso la importancia de acercar a la ingeniería civil a los temas actuales ambientales.

Esta investigación es una buena iniciativa para futuras estudios relacionados con los Techos Verdes, también crea un espacio nuevo para la discusión de políticas, programas, proyectos educacionales y sociales a favor del ambiente.

La implementación de Techos Verdes ha significado un cambio de impacto social positivo en los países donde se han venido implementando, por lo que a través de esta investigación, se puede generar un cambio positivo a los habitantes de Caracas.

Este trabajo busca fomentar futuras investigaciones relacionadas con la búsqueda de soluciones verdes, a fin de acortar más la distancia de Venezuela frente a los países que están a la vanguardia en la aplicación tecnologías verdes.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Techos verdes

Un techo viviente o Techo Verde traducido del inglés *green roof*, es una superficie o estructura en la cual intencionalmente se tiene vegetación o hábitat para cierto tipo de fauna la cual ocupa total o parcialmente el techo de una edificación. Esta superficie verde a la vez viene seguida de otras capas que permiten tener un sistema en el cual se conforma una placa o losa, un panel de irrigación y drenaje y una capa de suelo, ver Figura 2 Techo Verde.

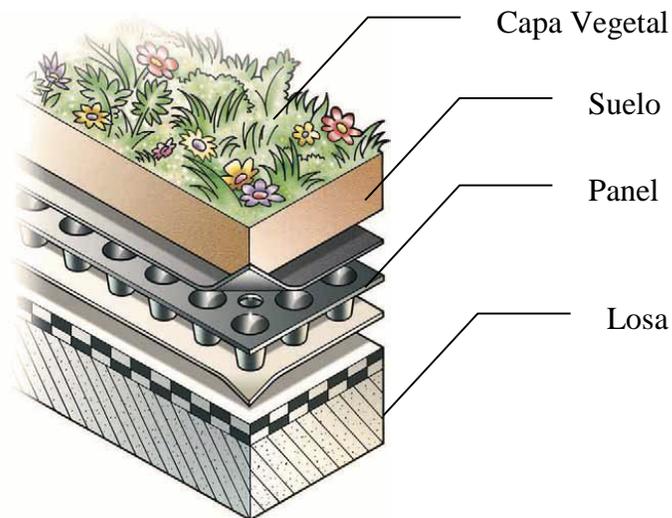


Figura 2 Techo Verde (NOPHADRAIN, 2011)

Los Techos Verdes se agrupan en 2 grandes categorías, extensivos e intensivos. De la misma manera hay unas sub categorías dentro de éstas que obedecen a nuevas

funcionalidades que los Techos Verdes han venido desarrollando, en la Figura 3 podemos observar los tipos de Techos Verdes.

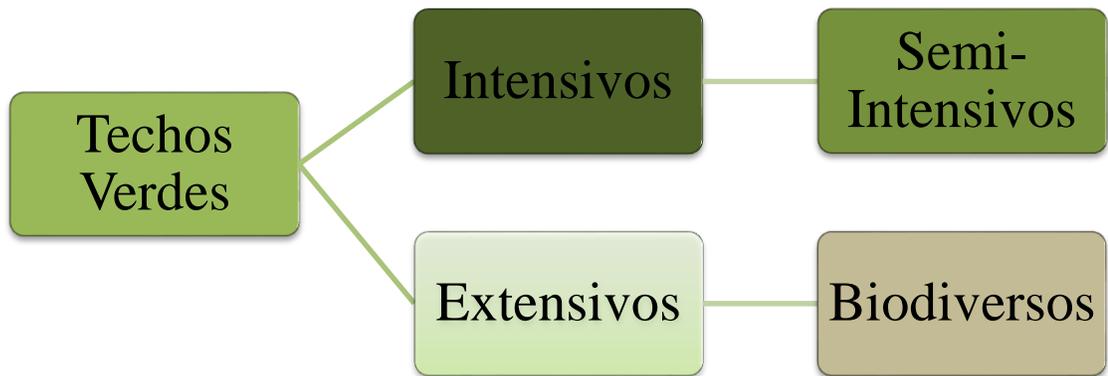


Figura 3 Tipos de Techos verdes (Fuente: Elaboración propia)

2.1.1 Techo Verde Intensivo

Esta versión es conocida como “Jardín de Techo” la cual provee beneficios semejantes a un pequeño parque o jardín doméstico. El diseño de este sistema esta primordialmente dirigido para uso ornamental y recreacional, requiere constante mantenimiento y riego.

2.1.2 Techo Verde Extensivo

Funciona como una capa ecológica que provee de beneficios ambientales al entorno urbano-social. Este es un sistema ligero de bajo mantenimiento, típicamente se utilizan plantas suculentas⁹ (se utiliza sedum¹⁰) plantada en el estrato superficial. Así mismo este techo se caracteriza por ser bajo en nutrientes y el riego normalmente no es requerido.

2.1.3 Techo Verde Semi-intensivo

Forma un híbrido entre un Techo Verde extensivo e intensivo, con características de ambos. La ventaja de este sistema es que se pueden colocar una variedad más amplia de plantas comparado con uno extensivo, incluyendo arbustos y plantas con tallos leñosos. Los requerimientos de riego y de mantenimiento dependerán de las especies de plantas instaladas.

2.1.4 Techo Verde Biodiverso

Es un tipo de techo similar en composición a un Techo Verde extensivo, pero diseñado específicamente para crear un hábitat que atraerá un tipo de flora y fauna particular; ya sea replicando la del suelo donde el edificio tiene su huella o mejorando

⁹ Aquellas plantas en las que la raíz, el tallo o las hojas se han engrosado para permitir el almacenamiento de agua en cantidades mucho mayores que en las plantas normales.

¹⁰ Comprende entre 500 y 600 especies de plantas suculentas distribuidas por las regiones templadas y frías de ambos hemisferios. Son plantas muy adaptadas a la sequía, debido a la capacidad de almacenar agua en sus hojas carnosas. Un tipo de planta suculenta es la sábila.

el hábitat previo. Existen versiones de este techos (Marrones) no vegetadas. El crecimiento medio de las plantas es seleccionado con un propósito específico.

2.2 Los Techos Verdes en la historia

Los Techos Verdes son conocidos hace siglos, tanto en los climas fríos de Islandia, Escandinavia, EE. UU. y Canadá (Minke, 2005), como en los climas cálidos de Tanzania Figura 4. En las zonas de climas fríos, "calientan", puesto que almacenan el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos "enfrian", ya que mantienen aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior. En estos techos, la vegetación junto con la tierra moderan extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de la vivienda. De un modo natural el calor acumulado no sólo se almacena sino que también se absorbe. La eficacia de la acumulación de calor y la capacidad de aislación térmica de un Techo Verde, es fácilmente comprobable en las tradicionales casas de Islandia como se aprecia en la Figura 4.



Figura 4 Casa típica Islandesa (Minke, 2005)

Desde entonces, los Techos Verdes se han considerado como un termostato casero, y su utilización se fue manteniendo con el pasar del tiempo, en el año 1970 Alemania empezó a desarrollar estudios aplicados, así como la adopción este sistema, que posteriormente se fue acogiendo en otras regiones de Europa central, América y Asia

En la actualidad los Techos Verdes se presentan como una tecnología ampliamente desarrollada, que trabaja en conjunto con otras soluciones verdes para edificaciones como son los paneles solares, recolectores, de agua de lluvia, entre otros.

2.3 Techos Verdes en el mundo

Las edificaciones diseñadas y/o adaptadas para la sostenibilidad son objeto de una amplia aceptación pública en todo el mundo y están estableciendo el estándar de ingeniería civil hacia el futuro. Los Techos Verdes juegan un papel importante en la promoción del desarrollo sustentable. Las edificaciones listadas a continuación son ejemplos destacados en el uso de Techos Verdes.

2.3.1 Proyectos gubernamentales (Green Roof , 2011)

- Toronto City Hall: consta de 300 m² instalado en el año 2000, ver Figura 5.
- El Pentágono: Proyecto de renovación incluye el Centro de Entrega y el Centro Atlético Certificado por LEED¹¹ ambos con Techos Verdes (2001).
- Chicago City Hall: Techo Verde de unos impresionantes 1800 m² (2001).
- Seattle Justice: Center Techo Verde de 790 m² (2002).

¹¹ Leadership in Energy and Enviromental Desing

- Seattle City Hall: Techo Verde de 1200 m² (2003).



Figura 5 Toronto City Hall (Sevilla, 2012)

2.3.2 Proyectos comerciales (Green Roof , 2011)

- 8000 m² de Techo Verde intensivo en el tope del Galerien in Geislingen, Alemania, cubre un centro comercial y es usado como parque recreativo (2001).
- El Soldier Field: Sede de los Chicago Bears (equipo de la liga nacional de fútbol de los EE. UU.), es un Techo Verde intensivo con unas 2,2 Ha ubicado sobre un estacionamiento (2003), ver Figura 6.
- El Banco Santander: en Madrid tiene un Techo Verde de una magnitud de 10 Ha. Siendo este el de mayor superficie del mundo (2004).
- El Millennium Park en Chicago: empata técnicamente al proyecto del Banco Santander con 9.8 Ha de Techo Verde.

2.3.3 Proyectos industriales (Green Roof , 2011)

- La fábrica ECOVER diseñada y construida como "la primera fábrica ecológica del mundo" en Oostmalle, Bélgica. Incluye un amplio Techo Verde de 5.000 m².



Figura 6 Soldiers Field (Green Roof , 2011)



Figura 7 Banco Santander Madrid (Green Roof , 2011)

2.3.4 Sedes corporativas (Green Roof , 2011)

- ZinCo internacional, ubicado en el sur de Alemania, es uno de varios fabricantes de Techos Verdes. Cada edificio sede tiene un Techo Verde, y el campus contiene 12 techos amplios, algunos que datan de la década de 1970. Además, en 2003 se completó una nueva era de Techos Verdes intensivos altamente estilizada.

2.3.5 Aeropuertos (Green Roof , 2011)

- Ámsterdam (AMS), Frankfurt (FRA) ver Figura 8, y Zürich (ZRH), tienen Techos Verdes que cubren millones de metros cuadrados.



Figura 8 Aeropuerto de Frankfurt (Green Roof , 2011)

2.3.6 Hoteles (Green Roof , 2011)

- El Hotel Royal York Fairmount en Vancouver, Canadá tiene un Techo Verde que alberga un jardín culinario de hierbas nativas y exóticas y hortalizas. Los operadores del hotel estiman que ahorran \$30.000 al año, al tiempo que ofrece un cultivo especial orgánico y local de hierbas para su restaurante desde 1997. Ver Figura 9.



Figura 9 Hotel Royal York Fairmount (Alter, 2012)

2.3.7 Centros médicos (Green Roof , 2011)

- El Techo Verde de 560 m² en el Life Expression Wellness Center, ubicado en el Cerro Pan de azúcar, Pensilvania, (2001) ver Figura 10.



Figura 10 Life Expression Wellness Center (Green Roof , 2011)

2.3.8 Viviendas unifamiliares (Green Roof , 2011)

- Patrick Carey de la firma EcoBuilding, es líder en Techos Verdes residenciales. Responsables de al menos 30 proyectos en el noroeste del Pacífico de los EE.UU., los cuales destacan edificaciones residenciales (proyectos instalados desde 2001 hasta la actualidad).

2.3.9 Viviendas multifamiliares (Green Roof , 2011)

- El Plochingen de Viena, Austria (desarrollo multifamiliar de Hundertwasser) está situado cerca de Stuttgart, Alemania. El desarrollo contiene más de 50 techos, incluyendo un Techo Verde intensivo de patio privado inspirado en Gaudí, está situado sobre un supermercado, diseñado por el famoso arquitecto Hundertwasser (1994) ver Figura 11.



Figura 11 Hundertwasser (Solaripedia, 2012)

2.3.10 Escuelas y centros de investigación (Green Roof , 2011)

- Schule Unterensingen, una escuela de K-12 cerca de Stuttgart, Alemania tiene más de diez techos independientes que suman un total de aproximadamente 1.400 m², ubicado encima de cada edificación y pasarela cubierta; 200 paneles solares (2002) ver Figura 12.



Figura 12 Schule Unterensingen (Green Roof , 2011)

2.3.11 Estacionamientos (Green Roof , 2011)

- Isla de Jacobs es un Techo Verde de 6000 m² situado encima de un estacionamiento subterráneo en el centro de Londres residencial (1997).

2.4 Componentes de un Techo Verde

Para que emerja vegetación de una losa de techo se requieren ciertos elementos que garanticen las condiciones necesarias para su sustento y su permanencia en el tiempo, tales elementos son los que apreciamos en la Figura 13.

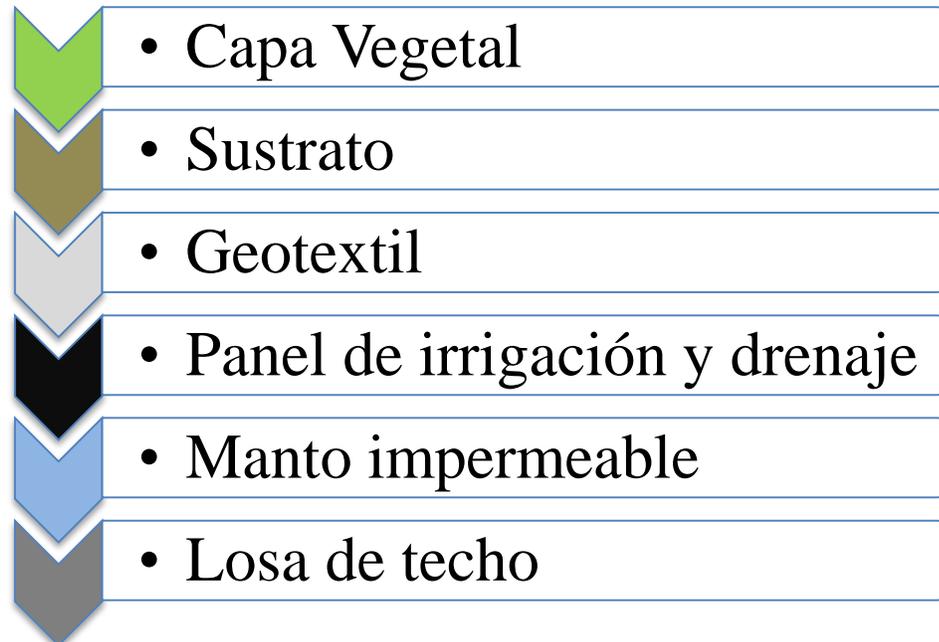


Figura 13 Componentes de un Techo Verde (Fuente: Elaboración Propia)

Un Techo Verde convencional presenta el arreglo que se describe en la Figura 13, existen diversas posibilidades de añadir paneles de aislamiento sónico y térmico entre el manto impermeable y la losa de techo.

En la Tabla 1 que se presenta a continuación se describirán las funciones de cada uno de los componentes del sistema que conforman un Techo Verde.

Tabla 1 Componentes y Funciones de un Techo Verde

Capa vegetal	Constituye el ornamento del sistema y a su vez retiene el polvo y crea hábitat para nueva fauna.
Sustrato	Esta capa es la responsable de aportar los nutrientes necesarios para el debido mantenimiento de la capa vegetal, cabe destacar que el suelo de un Techo Verde requiere de especificaciones fisicoquímicas adecuadas.
Geotextil	Es una capa anti-raíz utilizada con ciertos tipos de vegetación que protege tanto el manto impermeable como la losa de techo.
Panel de irrigación y riego	Este elemento provee de agua al sustrato según las necesidades del Techo Verde , así mismo funciona como drenaje cuando el mismo está saturado, ver Figura 14.
Manto impermeable	Protege a la losa de techo del agua y otros agentes químicos que pudiesen afectarla.
Losa de techo	Además de ser el soporte estructural del sistema, contribuye al drenaje del agua.

(Fuente Elaboración Propia)



Figura 14 Panel de Irrigación y Drenaje (GEOPLAST, 2011)

Uno de los avances tecnológicos más importantes dentro de los Techos Verdes son los paneles de irrigación y drenaje, como se aprecia en la Figura 14, el mismo sirve de reservorio de agua para el Techo Verde y a su vez como drenaje cuando el mismo está saturado. En la actualidad existen en el mercado diferentes opciones en este tipo de paneles, adaptadas para cada tipo de Techo Verde. Son fabricados con resinas plásticas de alta resistencia, durabilidad y ligeros.

2.4.1 Sustrato de un Techo Verde

De todos los componentes que conforman un Techo Verde, el sustrato a utilizar es el que más se destaca para los fines de esta investigación, debido a que el mismo es el que proporciona la mayor magnitud de peso dentro del sistema, sin embargo antes de entrar en este término, se listarán a continuación una serie de requisitos los cuales el sustrato debe cumplir.

- Compatibilidad con el ambiente
- Compatibilidad con la flora
- Distribución granulométrica
- Contenido de materia orgánica
- Comportamiento del sustrato bajo esfuerzos de compresión
- Permeabilidad
- Capacidad máxima de saturación
- Contenido de aire
- pH del sustrato
- Contenido de sales
- Contenido de nutrientes

Estos requisitos son normados por La sociedad de investigación para el desarrollo de agricultura y paisajismo urbano (FLL por sus siglas en alemán), en el capítulo 10 de la publicación “Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing”. La FLL es una reconocida sociedad de investigación en el ámbito del paisajismo urbano con sede en Bonn, Alemania, que ha venido desarrollando importantes investigaciones sobre los Techos Verdes.

Requisitos que van desde la distribución granulométrica limitando el contenido de arcilla y limo en porcentajes que no excedan el 20% y el 10% para sistemas de Techos Verdes intensivos y extensivos respectivamente (FLL, 2008) Ver Figura 15 y Figura 16, hasta el contenido orgánico que no puede ser mayor de 90 g/l para sistemas intensivos y 60 g/l para extensivos.

Estructuralmente el sustrato de un Techo Verde debe presentar un arreglo granulométrico que le permita resistir el asentamiento y la disgregación del mismo,

así como el comportamiento del suelo bajo esfuerzos de compresión debe superar el 20% del espesor del sustrato para capas entre 3cm - 5cm y no más de 10cm para capas de sustrato mayores a 5 cm.

Para el flujo de agua y la capacidad de retención del sustrato la FLL sugiere que, en sistemas intensivos la permeabilidad esté en el orden de los 0,3 mm/min y la capacidad de retención sea 45% del volumen. En sistemas extensivos estas propiedades corresponden a 0,6 mm/min y 35% del volumen.

A niveles químicos el sustrato de un Techo Verde debe presentar un nivel de pH en un rango entre 6 y 8,5. El contenido de sales para sistema intensivos no debe exceder de 2,5 g/l y 3,5 g/l para sistemas extensivos. Los nutrientes que un Techo Verde puede requerir son variables, sin embargo, se debe asegurar que los mismos no excedan los niveles recomendados por la FLL, capítulo 10 Tabla 6 del Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing a fin de evitar lixiviación.

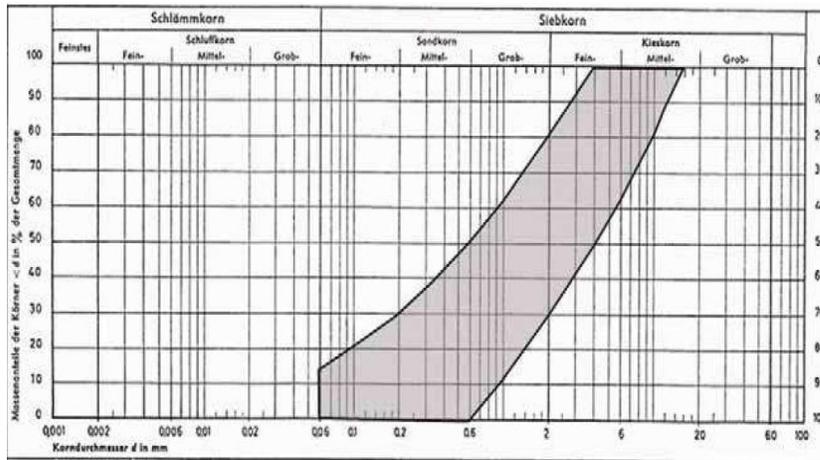


Figura 15 Curva Granulométrica para Techos Verdes extensivos (FLL, 2008)

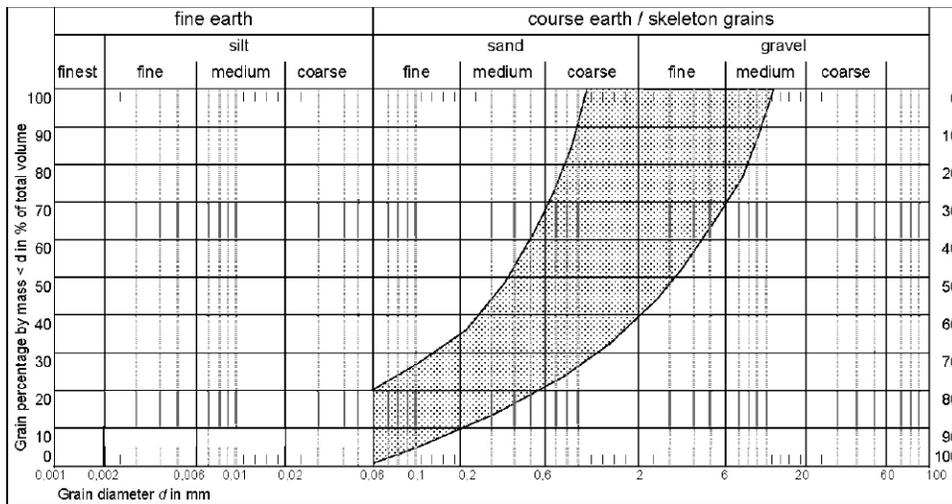


Figura 16 Curva Granulométrica para Techos Verdes intensivos (FLL, 2008)

Los pesos específicos recomendados del sustrato para un Techo Verde varían desde 1,5 T/m³ hasta 1,8T/m³ saturado (NOPHADRAIN, 2011). Estas magnitudes pueden variar dependiendo del fabricante así como del tipo de Techo Verde.

2.4.2 Capa vegetal

Corresponde a la flora que estará colocada en el sustrato. El contar con cierto tipo de flora requerirá un sustrato específico. Dentro de los parámetros que esta investigación maneja, la capa vegetal aporta un peso promedio de 10 Kg/m².

El proceso de ajardinado del sustrato debe contemplar.

- Plantación por especie
- Diferentes especies de vegetación

Los procedimientos de ajardinado contemplan:

- Utilización de semillas (secas y húmedas)
- Cubrimiento con vegetación pre-cultivada
- Cubrimiento con gramíneas
- Plantación de vegetación individual

La vegetación a escoger estará vinculada estrechamente a las condiciones geográficas y climatológicas del sitio. Siempre es recomendado optar por flora típica de la región. Dependiendo del tipo de Techo Verde se puede afirmar que, mientras mayor sea el espesor de sustrato, mayor será la variedad de vegetación disponible.

2.4.3 Geotextil y manto impermeable

Ambos son barreras en la cual el geotextil impide el paso de raíces y el manto impermeable el contacto con el soporte estructural.

2.4.4 Peso de un Techo Verde

Ya presentado las distintas partes que componen un Techo Verde, es importante para esta investigación determinar el peso de este sistema. Ver Tabla 2.

Tabla 2 Peso de elementos de un Techo Verde (NOPHADRAIN, 2011)

	Vegetación (Kg/m ²)	Sustrato (Kg/m ²)	Panel de Drenaje (Kg/m ²)	Geotextil (Kg/m ²)	Total (Kg/m ²)
Techo e= 6 cm	10	90	3	0,5	104
Techo e= 8 cm	10	120	3	0,5	134
Techo e= 10 cm	10	150	3	0,5	164

La Tabla 2 revela que todos los pesos de los elementos son constantes menos el sustrato que evidentemente varía en función del espesor. En la repartición de las cargas no sólo el sustrato es el que varía frente a los demás sino que también es el mayor. Ver Figura 17.

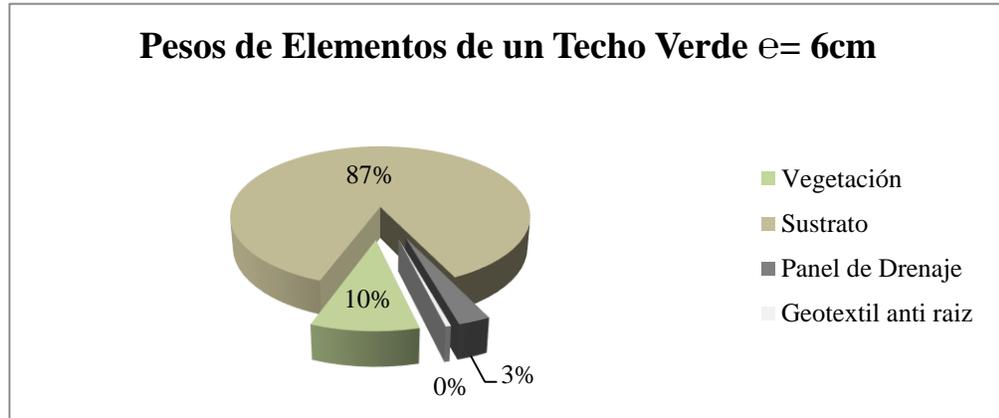


Figura 17 Peso de elementos de un Techo Verde. (Fuente: Elaboración Propia)

Para un espesor de 6 cm como se indica en la Figura 17 el sustrato ocupa el 87% de la distribución del peso, y a medida que el espesor aumente el porcentaje crecerá.

En el capítulo 2.1 se presentaron los Techos Verdes intensivo, semi-intensivos y extensivos, dichas categorías están vinculadas a un rango de espesores de sustratos específico para cada tipo de Techo Verde. Ver Figura 18.

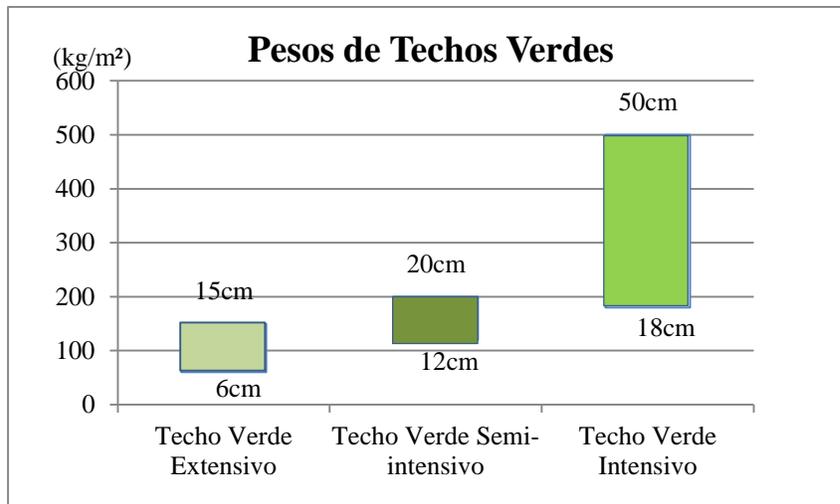


Figura 18 Pesos de Techos Verdes (IGRA, 2012)

La Figura 18 muestra los rangos de espesores y de pesos por área de los tipos de Techos Verdes, según la Asociación Internacional de Techos Verdes (IGRA) por sus siglas en inglés siendo el sustrato la variable independiente al momento de definir el tipo de Techo Verde y su peso, siendo como frontera inferior un espesor de 6cm y un peso de 60 kg/m².

2.5 Techos Verdes y sus beneficios

Entre las diferentes bondades que un Techo Verde brinda están las que se listan a continuación.

- Nuevos espacios para la vida (flora y fauna)
- Retención de agua
- Absorción de polvo
- Aislamiento acústico

- Aislamiento térmico
- Protección de la losa de techo

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

2.6 Techos Verdes y certificación LEED

La organización Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) por sus siglas en inglés, es una oficina adscrita al Consejo de Construcción Verde de EE. UU. (USGBC) por sus siglas en inglés, la cual se encarga de la evaluación de edificios ecológicos, así como promover nuevas tendencias verdes en las edificaciones. La función de la LEED es proporcionar un proceso de certificación estándar que registra los edificios construidos con respecto al desempeño ambiental, la eficiencia energética, y el bienestar de los usuarios como objetivos principales. Los edificios reciben puntos para diferentes niveles de certificación basado en el conjunto de categorías establecidas por el USGBC.

La gran variedad de categorías asociadas por el sistema de evaluación de la LEED se refleja en diversos grados en los cuales las edificaciones están comprometidas a mejorar el medio ambiente. Aunque cada proyecto es único y el grado en que un

Techo Verde en cualquier edificio puede ayudar a obtener créditos, existen otras alternativas por ejemplo, los pavimentos permeables, pavimentos de rejilla, cunetas con vegetación, diseño óptimo para las aguas pluviales, uso de agua de reciclaje para reducir la impermeabilidad y promover la infiltración reduciendo las cargas contaminantes en la redes cloacales.

LEED otorga un promedio de ocho puntos ante presencia de un Techo Verde en la certificación la cual se necesita 32 puntos para obtenerla. Los puntos que un Techo Verde proporciona se describen en la Tabla 3.

Tabla 3 Sistema de Puntuación LEED para edificaciones con Techos Verdes

Categoría	Puntaje	Propiedades del Techo Verde
Reducción del impacto del terreno original	1	Un Techo Verde ayuda a reducir la huella constructiva consumida por la edificación mejorando las condiciones para nueva flora y fauna promoviendo espacios para la biodiversidad, para la recreación y esparcimiento.
Manejo de las aguas pluviales	1-2	Reduce las aguas pluviales y su descarga directa a las cloacas, lo que produce una reducción de la carga de trabajo de las plantas potabilizadoras.
Mitigación de la isla de calor	1	Reduce la temperatura de la superficie de los techos.
Uso eficiente del agua para de riego	1-2	Techos Verdes de tipo extensivos requirieren de muy poco riego.
Optimización del uso energético	1-8	Los Techos Verdes ayudan a reducir la demanda de energía hasta en un 50% para los sistemas de aires acondicionados.

(LEED, 2009)

Además de estas categorías en las cuales los Techos Verdes tienen influencia, LEED en su sistema de puntuación para edificaciones existentes evalúa (LEED, 2009).

- Programas de mantenimiento exterior de la edificación
- Uso eficiente de agua y energía
- Productos y procedimientos ambientalmente aptos para mantenimiento y limpieza

- Políticas de compras sustentables
- Seguimiento de la cadena en la disposición de desechos
- Mejoramiento de la calidad ambiental interior de la edificación

Cualquier edificación construida es elegible para ser certificada por LEED, por lo que con los lineamientos que ellos dictan se busca que los propietarios de las edificaciones las implementen a través de diversas tecnologías con las que se cuentan en la actualidad.

2.7 Isla Térmica o Isla de Calor

Muchas áreas urbanas y suburbanas experimentan temperaturas elevadas en comparación con su entorno rural periférico; esta diferencia de temperatura es lo que constituye “el calor urbano”. La temperatura media anual del aire de una ciudad con un millón o más personas pueden ser de 1° a 3° C más caliente que sus alrededores (EPA, 2009). Esta diferencia en la temperatura se le conoce como Isla Térmica o Isla de Calor. De perfil la isla térmica tiene similitud a una montaña con temperaturas que ascienden considerablemente en zonas construidas en forma de ladera hasta llegar a un máximo que se ubica en el punto más densamente construido, contrario a lo que sucede en zonas más vegetadas, donde las temperaturas tienden a estabilizarse y descenden en forma de valles. Ya en la periferia urbana se observa como la temperatura descende en forma del pie de la montaña. Ver Figura 19.

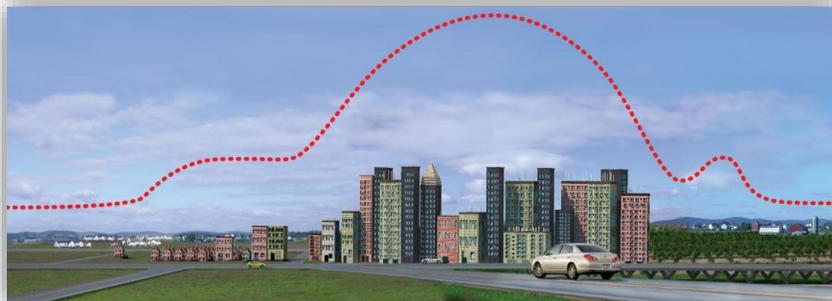


Figura 19 Isla Térmica (Carlowicz, 2011)

En la ciudad de Caracas se han registrado altas temperaturas ambientales en la temporada de sequía en el primer trimestre del año 2010 (Córdova, 2011). Tales incrementos de la temperatura superficial urbana trajo como consecuencia la alta incidencia en incendios forestales, la intensificación del smog¹² y calima¹³.

Córdova señaló ciertos puntos de la ciudad de Caracas donde las temperaturas presentaron un incremento en el lapso octubre 2009 – marzo 2010. Uno de esos puntos que resulta de interés es en la zona industrial del municipio Chacao donde existen grandes estructuras de concreto armado en las cuales resalta el Centro Comercial Sambil (CCS) y el Centro Comercial Ciudad Tamanaco (CCCT).

¹² Es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones, que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto su permanencia en las capas más bajas de la atmósfera, debido a su mayor densidad.

¹³ Es un fenómeno meteorológico consistente en la presencia en la atmósfera de partículas muy pequeñas de polvo, cenizas, arcilla o arena en suspensión.

2.8 Edificaciones objeto de estudio

En el capítulo anterior se pudo comprobar mediante los estudios de Córdoba la presencia de anomalías climáticas (*Isla de Calor*) asociadas a edificaciones de uso comercial que están ubicadas en la ciudad de Caracas. Córdoba, en base a la naturaleza de esta investigación, recomendó definir las Edificaciones Objeto de Estudio (EOE), las cuales según sus investigaciones previas concluyen que un Techo Verde puede mitigar el efecto de la isla de calor.

Las EOE que serán estudiadas dentro de los parámetros estructurales para demostrar la factibilidad de implementación de Techos Verdes se listan en la Tabla 4.

Tabla 4 Descripción de las Edificaciones Objeto Estudio

Edificación	Descripción
CCCT	Edificación comercial construida en el año 1976 y cuenta con unos 480.000 m ² de construcción. El complejo cuenta con la pirámide invertida (ver Figura 20) 5 torres, hotel y un estacionamiento con capacidad de 5000 puestos.
CCS	Edificación de uso comercial con 250.000m ² de área comercial inaugurado el 1998. Ver Figura 21.
Centro Banaven (CB)	Data del año 1978. Es una edificación de oficinas con una pequeña área comercial que en total suma 17.000 m ² . Ver Figura 22.

(Fuente: Elaboración Propia)



Figura 20 Pirámide Invertida CCCT (Panoramio, 2012)



Figura 21 Vista al techo del CCS. (skyscraperlife, 2012)



Figura 22 Vista al techo del CB. (skyscrapercity, 2012)

El CB fue una recomendación de Córdova debido a que con estas tres edificaciones se puede hacer una triangulación en el área de incidencia en la que por medio de la implementación de Techos Verdes se podría mejorar el microclima en el área dentro del triángulo y adyacente al mismo. Ver Figura 23.

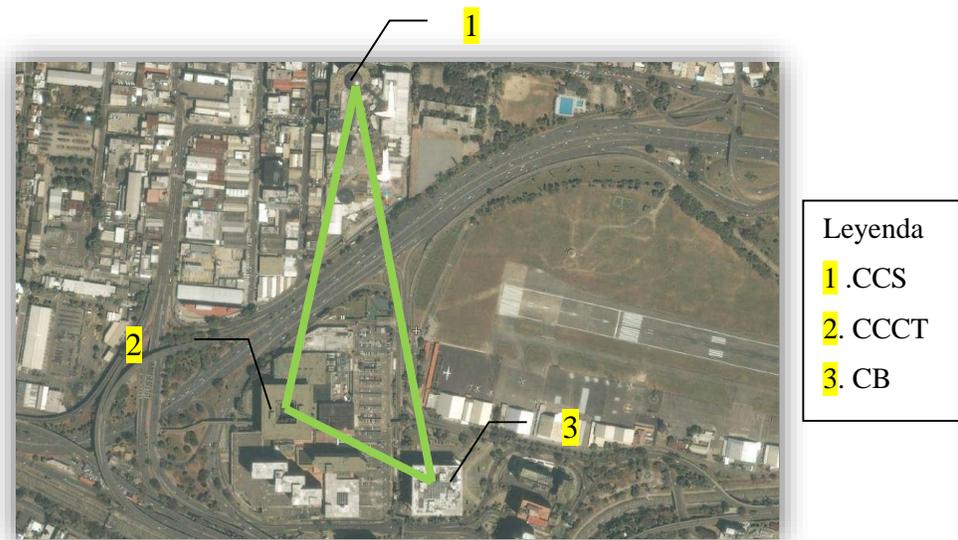


Figura 23 Ubicación y área de incidencia de las Edificaciones Objeto de Estudio (imagen obtenida de <http://maps.google.com>)

2.9 Soporte estructural para un Techo Verde

Una losa se define como amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficie inferior y superior son paralelas entre sí. y pueden estar apoyadas en vigas, muros y columnas.

2.9.1. Tipos de losas

En las edificaciones de uso comercial generalmente se presentan los siguientes tipos de losas que se listan en la Figura 24.

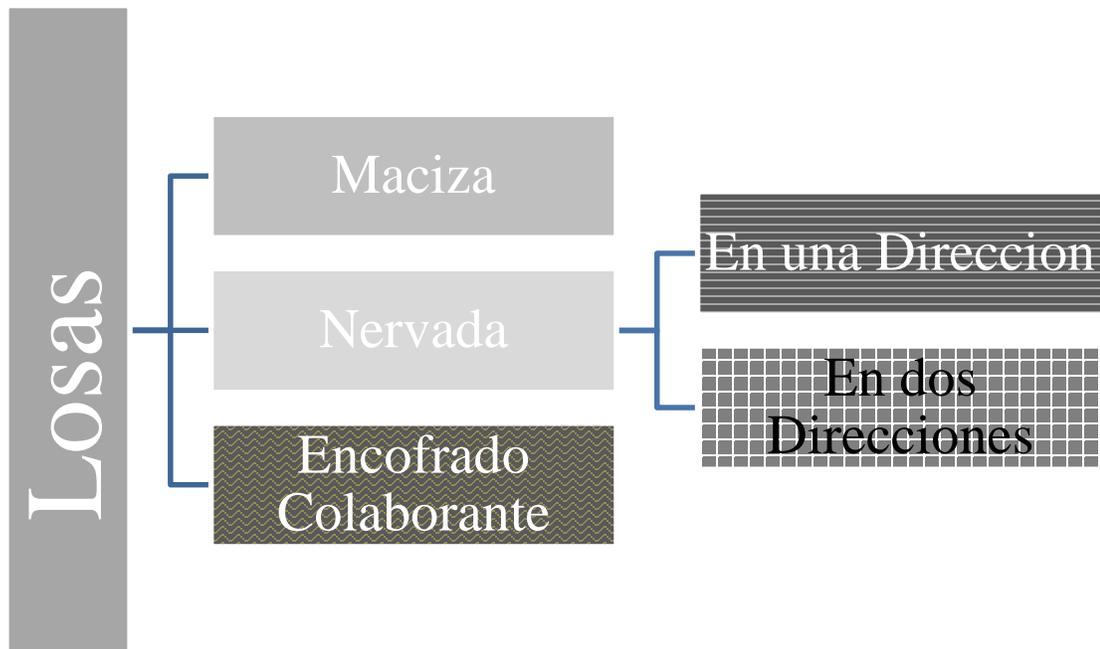


Figura 24 Tipos de losas (Fuente: Elaboración Propia)

2.9.2. Losa Maciza

Constituye una placa de espesor constante, constructivamente ofrece ventajas por su facilidad de armado. Son las más pesadas dentro de los tipos de losas estudiadas, teniendo una alta capacidad de carga. Generalmente se usan en el área industrial, comercial y marítimo. Ver Figura 25.

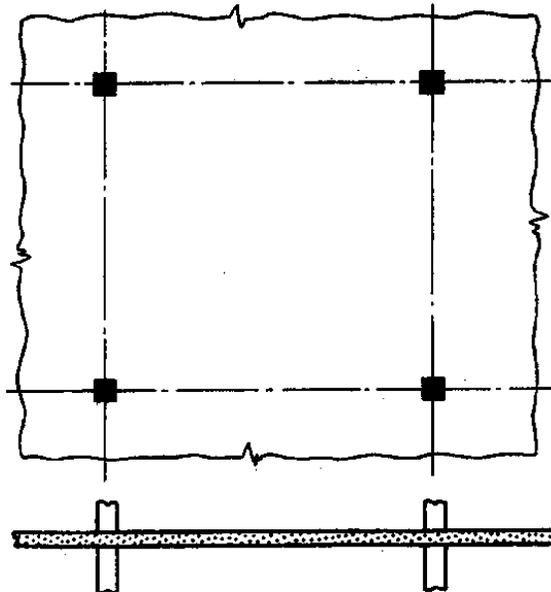


Figura 25 Losa maciza (Nilson, 2001)

2.9.3. Losa Nervada

Consiste de una placa uniforme de espesor considerablemente mayor a la maciza debido a los bloques y la loseta, están apoyadas sobre nervios paralelos entre sí a una separación determinada. Tiene peso y capacidad de carga menor que la losa maciza y existen dos categorías para este tipo de losa:

- Armada en una dirección

Indica que la repartición de los nervios es en una dirección de la losa, tal dirección debe obedecer a la luz más corta. Su principal ventaja es la eliminación del concreto en la zona de tracción por la cual este espacio queda vacío, siendo así un elemento con menor peso propio conservando su resistencia a la flexión. Por otro lado la complejidad constructiva se presenta como principal desventaja así como los elevados esfuerzos cortantes. Ver Figura 26.

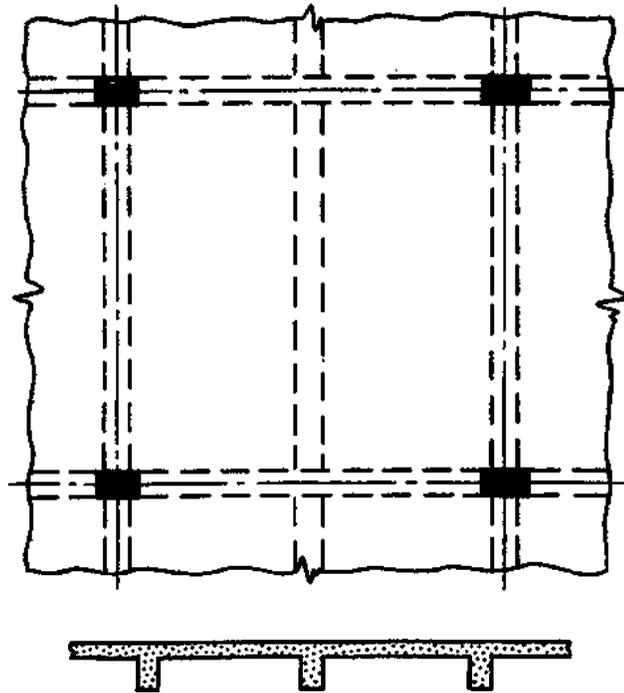


Figura 26 Losa Nervada en una dirección (Nilson, 2001)

- Armada en dos direcciones

Conocida también como losa reticular, este tipo de losa consiste en que los nervios van en ambas direcciones de la luz. Es ideal para ser usada en luces grandes mayores a seis metros ya que consiste en la repartición de los nervios en dos direcciones perpendiculares en forma de retícula. Al igual que la losa armada en una dirección, ésta presenta espacios entre los nervios sin concreto, por lo que generalmente se usan bloques de arcilla, anime o aire lo cual representa un ahorro notable en concreto. Ver Figura 27.

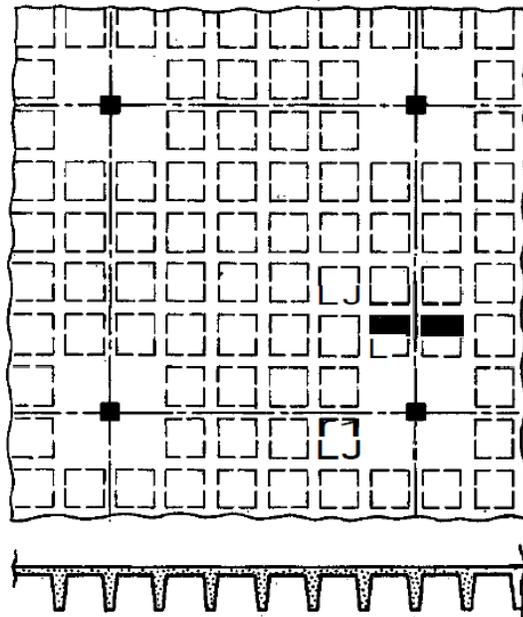


Figura 27 Losa armada en dos direcciones (Nilson, 2001)

2.9.4. Encofrado Colaborante

Es una lámina de acero galvanizado corrugado estructural que funciona como encofrado con la finalidad de conjugar las propiedades de resistencia del concreto y el acero. Sus ventajas con respecto a losas que usen encofrados de madera es que el mismo queda como parte del elemento después de vaciado, por lo que las resistencias son altas debido a la buena adherencia entre el concreto y la lámina de acero. De igual manera los encofrados colaborantes brindan una alta resistencia con espesores de losa inferiores a los espesores típicos de las losa macizas y nervadas. Ver Tabla 5. No es necesaria la colocación de acero de refuerzo, solo se coloca acero por retracción de fraguado. Ver Figura 28.

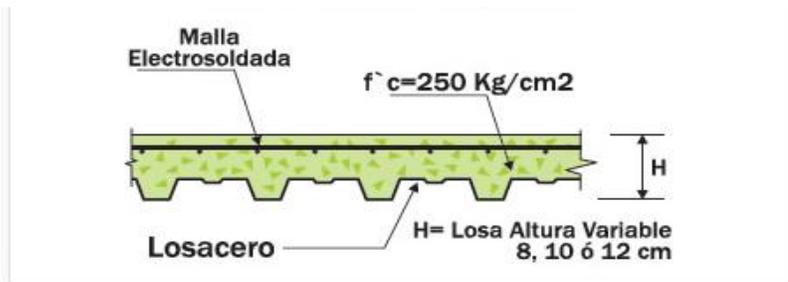


Figura 28 Losa con encofrado colaborante (Lamigal, 2011)

2.10 Pesos de Losas

La Tabla 5 presenta una recopilación de los tipos de losas y sus pesos por unidad de área según el capítulo 3.1 y 3.3 (COVENIN 2002, 1988).

Tabla 5 Pesos típicos de losas (COVENIN 2002, 1988)

Losa/e (cm)	Peso kg/m ²			
	e=20	e=25	e=30	e=35
Losa Maciza kg/m ²	500	625	750	875
Losa Nervada en Una Dirección kg/m ²	270	315	360	415
Losa Nervada en Dos Direcciones kg/m ²	315	375	470	510

Los pesos expuestos en la Tabla 5 serán utilizados como referencia en cuanto a las acciones permanentes para los análisis estructurales posteriores. Entiéndase que las

acciones permanentes son aquellas que actúan sobre el elemento y pueden considerarse invariables en el tiempo tales como el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales.

2.11 Carga de servicio para edificaciones comerciales

Las cargas de servicio o acciones variables representan las cargas que solicitan a un elemento estructural con una magnitud variable en el tiempo, tales como las personas, objetos y maquinaria móvil. El artículo 5.2.4.1 (COVENIN 2002, 1988) establece que la carga variable para azoteas con algún fin específico deberá calcularse para el uso particular que requiera, pero nunca será menor de 100 kg/m².

2.12 Losas y método de los estados límites

Dentro del diseño estructural los elementos deben satisfacer los requisitos mínimos con la intención que tengan un comportamiento adecuado en el estado límite de agotamiento resistente y límite de servicio.

2.13 Estado límite de agotamiento resistente

El Estado Límite de Agotamiento Resistente (ELAR), se determina bajo la hipótesis que las solicitaciones actúen de la forma más desfavorable, en tal sentido se tendrá para el estudio del estado límite de agotamiento resistente de este trabajo de investigación la Fórmula 1 la cual se tomó de la Tabla 9-3 capítulo 9 (FONDONORMA 1753, 2006).

$$U = 1.2(CP + CF + CT) + 1,6(CV + CE) + 0,5CV_t$$

Fórmula 1 Estado límite de agotamiento resistente. (FONDONORMA 1753, 2006)

Donde U es el estado límite de agotamiento resistente, mientras CP y CV , corresponden a las cargas permanentes y las cargas variables respectivamente. CF representa las cargas aportada por fluidos, CT son las acciones por cambios de temperatura, CE conforma las acciones debidas a los empujes de tierra y CV_t son la solicitaciones de las cargas variables en techo y cubiertas.

2.14 Estado límite de servicio

El Estado Límite de Servicio (ELS) debe considerarse cuando la losa habiendo cumplido con el ELAR, es necesario que la misma reúna condiciones de rigidez adecuada para limitar las flechas, deformaciones, vibraciones y fisuras que pudieran afectar el comportamiento de las estructura en condiciones de servicio.

Las deflexiones excesivas pueden causar agrietamientos en los elementos, así como descuadre de puertas, ventanas, problemas en los drenajes colgantes y deformación visualmente desagradable. Las deflexiones deben controlarse de manera que los elementos diseñados cumplan con los criterios de resistencia ante sobrecarga y se comporten de modo satisfactorio durante el servicio normal.

Las deflexiones que son de interés para esta investigación son las que han ocurrido durante la vida de servicio de una edificación. Durante el servicio un elemento soporta las CP más alguna fracción de o toda las CV , las disposiciones de la norma FONDONORMA 1753:2006 garantizan que para la combinación de cargas más desfavorable, los esfuerzos tanto del acero como del concreto se mantendrán dentro de los intervalos elásticos. Las deflexiones debido a sobrecargas, denominadas

deflexiones instantáneas, pueden calcularse en base a las propiedades del elemento elástico no fisurado, fisurado o una combinación de ambos.

Además de las deformaciones del concreto debido a sobrecargas se debe tener en cuenta las deformaciones causadas por el flujo plástico del concreto y la retracción del fraguado, por acción de estos efectos los elementos de concreto armado continúan deformándose con el paso del tiempo. Estas deflexiones a largo plazo continúan por muchos años y eventualmente pueden ser dos y más veces las deflexiones elásticas iniciales.

2.15 Control de deflexiones

Los elementos sometidos a flexión como las losas inevitablemente serán susceptibles a experimentar deflexiones. Controlarlas implica dictar ciertas restricciones del espesor de la losa con la intención de garantizar suficiente rigidez, así mismo, las deflexiones están influidas en forma importante por las condiciones de apoyo así como de las luces.

2.16 Deflexiones máximas permisibles

Las deflexiones o flechas máximas permisibles, se expresa en la Fórmula 2 obtenida de la Tabla 9.6.2 Capítulo 9 (FONDONORMA 1753, 2006).

$$L/240$$

Fórmula 2 Flecha límite (FONDONORMA 1753, 2006)

La Fórmula 2 responde al tipo de miembro con el cual se desarrolla la investigación, ya que obedece a ser un techo plano con pendiente mínima que soporta componentes no estructurales (Techo Verde) no susceptible a ser dañado por grandes flechas.

CAPÍTULO III MÉTODO

La investigación que se presenta a continuación buscó estudiar la factibilidad estructural en la implementación de Techos Verdes para edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas. Así mismo, buscó caracterizar y analizar los efectos estructurales ante la presencia de un Techo Verde visto como una sobrecarga, así como otros aspectos de orden ecológico fundamentado en el problema que la investigación planteó, el cual para dar conformidad a su cumplimiento se plantearon las siguientes fases.

3.1 Fase I

3.1.1 Revisión bibliográfica y compilación de información en las siguientes normas.

- Capítulo 9 de la norma (FONDONORMA 1753, 2006) (Requisitos para los estados límites).
- Capítulo 17 de la norma (FONDONORMA 1753, 2006) (Evaluación de estructuras existentes).
- Capítulo 4 COVENIN 2002: 88 (Acciones permanentes).
- Capítulo 5 COVENIN 2002: 88 (Acciones variables).

3.1.2 Revisión bibliográfica de las siguientes guías y/o códigos:

- Guidelines for the planning, Execution and Upkeep of Green- roof sites. (Lineamientos para la planificación, ejecución y mantenimiento de Techos Verdes) publicado por la (FLL, 2008).

- Green Roof Code of Best Practice for the UK 2011. (Código de mejores soluciones en Techos Verdes para el Reino Unido 2011. Publicado por la GRO (2001).
- Techos Verdes (Green Roofs) traducción al inglés en artículos, folletos, catálogos, publicaciones y recursos electrónicos en el internet.

3.1.3 Compilación de aspectos técnicos en tablas referentes a los tipos de Techos Verdes en las normas y/o códigos de la sección 3.1.2.

3.1.4 Comparación de los beneficios que ofrece un Techo Verde frente a un techo no verde (techo común) por medio de infografías que ilustren estadísticas en su implementación, relación con la mitigación del fenómeno isla térmica y estudios de orden ambiental, social, estructural.

3.1.5 Recopilación de información de las edificaciones a estudiar (estructural y general) a través de entrevistas con el personal responsable en el área, así como a través de revistas, publicaciones internas, folletos, planos y medios electrónicos.

3.1.6 Recopilación de información general y estructural de una edificación de uso comercial masivo que implementó el uso de un Techo Verde, ubicada en la ciudad de Caracas, Municipio Baruta sector la Alameda, por medio de reuniones, suministro de material técnico y asesoría con el personal calificado relacionado con el proyecto desde su etapa de diseño, construcción, operación y mantenimiento del mismo.

3.1.7 Identificación de los efectos causados tanto instantáneos, como a largo plazo de una estructura solicitada por un Techo Verde a través de investigación documental.

3.1.8 Caracterización de los criterios y aspectos estructurales, ecológicos, constructivos, operacionales y mantenimiento de un Techo Verde, para su implementación a una edificación de uso comercial masivo por medio de una tabla.

3.2 Fase II

3.2.1 Creación de un formato que permita calificar a una edificación para la implementación de un Techo Verde basado en la factibilidad estructural de la misma así como aspectos que condiciones su uso en la edificación.

3.2.2 Evaluación de la factibilidad en la implementación del Techo Verde en la edificación en estudio por medio de la calificación obtenida en el formato calificador del punto 3.2.1.

3.3 Fase III

3.3.1 Selección del tipo de Techo Verde a ser implementado a la edificación en estudio a través de un sistema de puntuación que califique a los tipo de techos que sean estructuralmente adecuados, considerando los términos estructurales necesarios para su implementación, su eficiencia energética, manejo de aguas pluviales, mejoramiento del clima y demás puntos de interés.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como primer resultado se presenta la Infografía, ver (Figura 29) la cual resume parte de los resultados de la presente investigación.

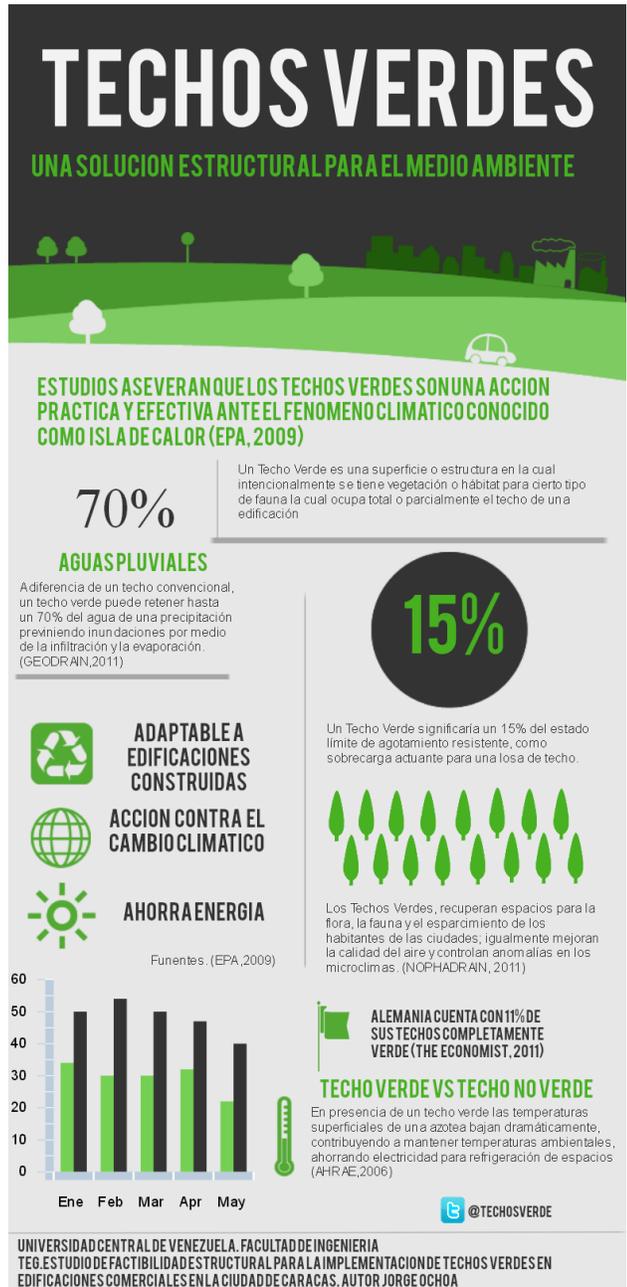


Figura 29 Infografía (Fuente: Elaboración Propia)

4.1 Edificaciones comerciales objeto de estudio

A las Edificaciones Objetos de Estudio (EOE) recomendadas por Córdoba se les realizaron un levantamiento de los detalles estructurales relevantes para el desarrollo de la investigación, dicho levantamiento se realizó a través de un instrumento el cual se denominó Formato de Recopilación de Datos Estructurales.

4.1.1 Formato de Recopilación de Datos Estructurales

El Formato de Recopilación de Datos Estructurales (FRDE) ver Apéndice I, sirvió como vía de comunicación entre el autor y el personal responsable de revisar y suministrar la información solicitada para el análisis de las EOE.

Las fichas de técnicas constan de 2 partes:

- Texto introductorio: Dicho texto consta de una breve explicación sobre el sistema de Techo Verde, el cual conforma la base de la investigación realizada, así mismo se presenta alguno de los beneficios que brindan el uso del mismo.
- Cuestionario: Seguidamente se presenta una serie de preguntas relacionadas a los detalles de la losa de techo, tipo de estructura y uso de la losa de techo. Ver Figura 30.

FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES

Colocar una X en el recuadro correspondiente en cada Ítem.

- ✓ Tipo de Estructura: Acero Concreto Armado
- ✓ Tipo de Losa de techo:
 - Maciza
 - Armada en una dirección:
 - Armada en dos direcciones:
 - Encofrado colaborante:
- ✓ Espesor de losa de techo (en cm): (de haber varios espesores, colocarlos todos)
- ✓ Pendientes menor o igual 15 % Pendiente mayor a 15%

Notas adicionales (uso actual del techo, presencia de equipos, **área** de la losa de techo):

Figura 30 Preguntas de FRDE (Fuente: Elaboración Propia)

4.2 Techo Verde ubicado en la ciudad de Caracas

Dentro del proceso investigativo se encontró la existencia de un Techo Verde en la ciudad de Caracas el cual pertenece a una edificación de uso comercial ubicada en el municipio Baruta, sector la Alameda. La edificación dispone de 1500 m² de área comercial y 400 m² de Techo Verde lo cual representa un 85 % del área de techo total (Domínguez, 2011). Por medio del Ingeniero Abraham Katz representante de la firma PCU + SGA responsable del proyecto, se obtuvo información sobre dicha edificación en Caracas la cual reúne ciertos atributos ecológicos:

- Techo Verde
- Reforestación de taludes
- Sistema de riego por goteo
- Reutilización de agua de lluvias para riego y sistema de aguas grises
- Sistema de aires acondicionados y refrigeración inteligentes
- Aprovechamiento de iluminación natural por medio de ventanas

- Pavimento refractivo no asfáltico en estacionamiento

Esta edificación después de su construcción fue auditada y certificada con LEED GOLD™ (Katz, 2012).

La información estructural de esta edificación fue suministrada por el Ingeniero Antonio Güell representante de la firma A.490, la cual comprende una estructura de acero, el sistema de losa de techo consiste de un encofrado colaborante sobre vigas de acero. Adicionalmente se tomaron medidas especiales en las pendientes del techo así como la correcta colocación del manto impermeable con la intención de evitar cualquier eventualidad con el agua y la losa (Güell, 2012).

Güell afirmó que este proyecto fue el primero bajo su dirección en incluir un Techo Verde, el cual para el caso de cargas consideró el diseño de la losa con base al peso específico saturado del suelo como factor adicional al peso propio de la misma como *CP*. Para el caso de las *CV*, Güell instó a utilizar las cargas según el Capítulo 5 de la norma COVENIN 2002:88.

Ante el caso de implementar un Techo Verde en una edificación en servicio, Güell comentó que la carga adicional que este sistema aporte no debería sobrepasar el 20% del peso propio de la losa. Así mismo, los elementos estructurales de edificaciones comerciales se diseñan con factores de seguridad que aseguran a los mismos contra posibles cargas accidentales, así como de alteraciones en las cargas debido a uso inadecuado por el propietario. En cuanto a las deflexiones y al estado límite de servicio Güell añadió que sí se garantiza que un Techo Verde no supere al 20% del ELAR del elemento, no deberían causar ningún evento considerable en los elementos estructurales en especial en la losa, ya que se estaría trabajando en el rango elástico

del elemento. Sin embargo habría que considerar la edad de la estructura y las deflexiones a largo plazo de la misma.

Seguidamente se presentan la Figura 31, Figura 32 y la Figura 33; con fotos del Techo Verde de la edificación de uso comercial ubicada en la ciudad de Caracas sector la Alameda.



**Figura 31 Techo Verde en edificación en la Alameda Caracas
(Fuente Elaboración Propia)**



Figura 32 Paneles de drenaje utilizados en edificación comercial en la Alameda Caracas (Fuente Elaboración Propia)



Figura 33 Distribución de Techo Verde por “paños” en la Alameda, Caracas (Fuente Elaboración Propia)

4.3 Techo Verde Consideraciones Estructurales

El estudio de la factibilidad estructural para implementar un Techo Verde en edificaciones comerciales derivó de un escenario de sobrecarga de la losa de techo, debido a esto y como las EOE son estructuras existentes, se recurrió al capítulo 17 de la norma FONDONORMA 1753:2006 (Evaluación de estructuras existentes), la cual plantea la investigación de la resistencia estructural por medio de estudios analíticos, pruebas de carga o una combinación de ambos.

Dando cumplimiento a las consideraciones del capítulo 17 (FONDONORMA 1753, 2006) se optó por los estudios analíticos para las EOE.

4.4 Estudios analíticos de las edificaciones objeto de estudio

El estudio analítico de las EOE requirió que se obtuviera la siguiente información de cada una según lo estipulado en el capítulo 17 (FONDONORMA 1753, 2006).

- Cargas de servicio
- Dimensiones y detalles de los miembros
- Aceros de refuerzo
- Resistencia del concreto

Debido a que análisis realizado, parte del diseño de los estados límites, se asumió que la calidad del concreto y el acero son óptimas (f'_c y f_y), por lo que se indagó con más detenimiento en las cargas de servicio y las dimensiones y detalles de los miembros.

4.5 Evaluación estructural para implementar un Techo Verde en una edificación de uso comercial

Los criterios de evaluación estructural se dividieron en cualitativos y cuantitativos.

La evaluación cualitativa se fundamentó en el estudio que esta investigación desarrolló en base al método de los estados límites, por lo que agrupó en esta categoría a los siguientes términos que forman parte del FRDE que se presentan a continuación.

- Identificación del tipo de estructura
- Identificación de las pendientes de la losa a ser usada como soporte estructural del Techo Verde.

El tipo de estructura que además de ser un dato fundamental en la comprensión del sistema estructural, revela el comportamiento de la misma durante su servicio, así como posibles debilidades entre otros detalles que son determinantes en el cumplimiento del ELS.

Las pendientes superiores a los 15% representan un problema ante la implementación de un Techo Verde debido a los altos esfuerzos cortantes. Controlar estos esfuerzos cortantes significa desarrollar estudios adicionales para reforzar la losa. De esta manera esta categoría evaluativa generó una condición de limitante dentro de los análisis realizados por esta investigación.

Cuantitativamente se consideró

- Identificación del tipo de losa a ser usada como soporte estructural del Techo Verde y su espesor.

Basados en los pesos dictados por IGRA se desarrolló una escala de puntos los cuales están relacionados con el tipo de Techo Verde (*extensivo, semi-intensivo e intensivo*). Se partió del hecho que, para implementar un Techo Verde en una losa tomando en cuenta los parámetro de ELAR, la misma debe resistir una carga permanente de 60 kg/m² siendo esta no mayor al 15 % de su estado límite de agotamiento resistente determinado por la Fórmula 1 de ser así, la losa recibe una puntuación de 100.

Bajo este criterio se definieron los demás tipos de Techos Verdes por lo que se generó la siguiente escala. Ver Tabla 6.

Tabla 6 Escala de puntuación para Techos Verdes

	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833

(Fuente: Elaboración Propia)

Esta tabla relaciona los tipos de techo y sus cargas con una escala numérica la cual para esta investigación ayudó a identificar los distintos tipos de Techos Verdes.

Existen ciertas fronteras donde no es preciso determinar el tipo de Techo Verde cómo se observa en la Tabla 6, la IGRA definió esta clasificación de Techos Verdes, así como los fabricantes presentan sus clasificaciones particulares. Esta investigación acordó en seleccionar el tipo de Techo Verde más ligero, con la finalidad de proteger a la losa ante el caso de obtener una puntuación entre dos categorías.

4.6 Estado límite de agotamiento resistente de las edificaciones objeto de estudio

El cálculo del ELAR se realizó en base la Fórmula 1 considerando a la *CP* como el peso propio de la losa y las *CV* de 150 kg/m², esto debido a como se vio en el capítulo 2.11, las *CV* mínimas para un techo con uso determinado es 100 kg/m².

Las edificaciones de uso comercial comprenden un rango diverso de cargas variables, para las losas de techo de las edificaciones que se evaluaron, se presentaron equipos de refrigeración (Chillers¹⁴), instalaciones mecánicas, antenas de telecomunicaciones y depósitos.

Esto implicaría un aumento en las *CP* de diseño, así como en las *CV* ya que la colocación de equipos e instalaciones requiere que se habiliten áreas transitables, a personal que realice actividades en el techo. Debido a esto, se consideró incrementar las *CV* en un 50% lo que resultó en 150 kg/m² para los cálculos de esta investigación.

Ya conocidos los términos para el cálculo, se procedió al cálculo del ELAR para las losas de la Tabla 5 Pesos típicos de losas cuyos resultados se aprecian en la Tabla 7.

¹⁴ Sistema de aire acondicionado que enfría y/o calienta un medio líquido (agua), la cual se bombea a través de un medio mecánico. Sirven para acondicionar grandes instalaciones y sobre todo aquellas que necesitan climatización y agua caliente sanitaria como: centros comerciales, hoteles, hospitales entre otros.

Tabla 7 Estado límite de agotamiento resistente (U) de losas Tabla 5

Losa/e (cm)	e=20	e=25	e=30	e=35
Losa Maciza kg/m ²	840	990	1140	1290
Losa Nervada en Una Dirección kg/m ²	564	618	672	738
Losa Nervada en Dos Direcciones kg/m ²	618	690	804	852

(Fuente: Elaboración propia)

Conocido el estado donde las losas alcanzan su resistencia máxima, se definió un criterio de minoración del ELAR. Este criterio se fundamentó en la Fórmula 1 donde, se observó que a las CP se les aplica un factor de (1.2), ya que estas cargas varían muy poco durante la vida de la estructura y son calculadas con mayor precisión.

Implementar un Techo Verde significó dentro de los términos de la Fórmula 1 incrementar su CP , ante esta situación se determinó que:

El peso de un Techo Verde a ser colocado en una losa, no puede ser mayor al 20% de su estado límite de agotamiento resistente.

Como las CP se determinan con un alto nivel de precisión, se consideró incrementar la seguridad ante el caso de que ocurra la combinación de cargas más desfavorables en la losa. En atención a lo expuesto, se acordó para esta investigación utilizar el 15% del estado límite de agotamiento resistente de la losa como el peso máximo admisible de un Techo Verde

Aplicando este criterio se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8 Pesos admisibles de Techos Verdes al 15% del estado de agotamiento resistente

Losa/e (cm)	e=20	e=25	e=30	e=35
Losa Maciza kg/m ²	126	149	171	194
Losa Nervada en Una Dirección kg/m ²	85	93	101	111
Losa Nervada en Dos Direcciones kg/m ²	93	104	121	128

(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla 8 determina el tipo de Techo Verde que admiten las losas en función del 15% de su ELAR.

Estos resultados indican una manera fácil de determinar el peso que un Techo Verde debe tener como máximo para ser implementado a un tipo de losa con espesor específico, sin embargo, para esta investigación se determinó un factor (t) que multiplicado por el espesor de la losa se obtuviera directamente el puntaje de la misma, y de esta manera determinar el tipo de Techo Verde por medio de la Tabla 6.

La determinación del factor t se realizó por medio de los siguientes pasos.

- Convertir los pesos de Tabla 8 al sistema de puntuación de la Tabla 6, dividiendo los pesos admisibles entre 60 y multiplicarlos por 100. Ver Tabla 9.

Tabla 9 Pesos admisibles transformados al sistema de puntuación

Losa/e (cm)	e=20	e=25	e=30	e=35
Losa Maciza	210	248	285	323
Losa Nervada en Una Dirección	141	155	168	185
Losa Nervada en Dos Direcciones	155	173	201	213

(Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 9 se observa el porcentaje (puntos) según el cual cada una de las losas con sus respectivos espesores cumplen el requisito mínimo de peso de un Techo Verde que es 60 kg/m² siendo 100 el puntaje mínimo requerido.

- Seguidamente se dividió cada uno de los puntos de la Tabla 9 por su espesor para obtener la Tabla 10 los cuales representan los factores individuales para cada espesor de losa.

Tabla 10 Factores (*t*) individuales para cada espesor de losa

Losa/e (cm)	e=20	e=25	e=30	e=35
Losa Maciza	11	10	10	9
Losa Nervada en Una Dirección	7	6	6	5
Losa Nervada en Dos Direcciones	8	7	7	6

(Fuente: Elaboración propia)

- Por último se promediaron los valores agrupados por tipo de losa en la Tabla 10, ya que se observa que los mimos no varían notablemente. En la Tabla 11 se presentan los factores (*t*) correspondientes a las losas de la Tabla 5.

Tabla 11 Factores de t para la determinación de puntuación de la losa.

Losa	t
Losa Maciza	10
Losa Nervada en Una Dirección	6
Losa Nervada en Dos Direcciones	7

(Fuente: Elaboración propia)

Si se deseara saber el tipo de Techo Verde que una losa nervada armada en una dirección de espesor 25 cm admitiría, se procedería a multiplicar 25 por 6 obteniendo 150 puntos, con estos, se entraría en la Tabla 6 y se definiría el tipo de Techo Verde a utilizar que para este caso sería extensivo.

Los resultados de t en la Tabla 11 están dados para cumplir con el 15% de U y están condicionadas las CP de las losas de la Tabla 5.

4.7 Formato de evaluación factibilidad estructural

A través de un instrumento que pudiese ser aplicado a las EOE, se diseñó con los criterios de evaluación de las secciones 4.6 y 4.7, un formato que resume los estudios hechos a fin de generar una respuesta ante la factibilidad estructural de una edificación comercial en la ciudad de Caracas para implementar un Techo Verde.

El Formato de Evaluación Estructural (FEE) presenta también anexos relacionados con aspectos ecológicos, de diseño y operacionales como se puede apreciar en la Figura 34.

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.

TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas

Edificación

Fecha

Evaluación estructural

Marcar con una x la opción válida

1 Estructura de acero

2 Estructura de concreto armado

3 Tipo de losa t

3.1 Maciza

3.2 Nervada en una dirección

3.3 Nervada en dos direcciones

4 Espesor de losa en (cm) **Puntos** multiplicar espesor de la losa por t .

5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%

6 Pendiente de losa de techo menor que 15%

7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación

Techo Verde	Extensivo		Semi-Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	

Tipo de Techo Verde admisible:

Figura 34 Formato de evaluación estructural. (Fuente: Elaboración propia)

El FEE como se observa en la Figura 34 establece el tipo de Techo Verde a utilizar según las características estructurales de la losa que se evalúa, con la finalidad de ofrecer un método rápido en la evaluación estructural por medio del sistema de puntuación propuesto fundamentado en el cálculo del ELAR de la losa, sin embargo el mismo no presenta datos sobre el espesor del sustrato a usar por el Techo Verde, ya que los tipos de Techos Verdes presentan rangos de espesores de sustratos como se aprecia en la Figura 18, entendido esto, se requerirá realizar un análisis particular según los lineamientos de la sección 4.6 para obtener el espesor de sustrato admisible obtenido el tipo de Techo Verde.

4.8 Evaluación estructural de las edificaciones objeto de estudio

Para la evaluación correspondiente al estudio de factibilidad estructural de las EOE se aplicó el FEE considerando.

- El peso de las losas se rigieron según la Tabla 12.

Tabla 12 Pesos de losas para las edificaciones objeto de estudio

	e 20 cm	e 25 cm	e 30 cm	e 35 cm
Losa Maciza (kg/m ²)	500	625	750	875
L. Nervada 1Dir. (kg/m ²)	200	225	250	238
L. Nervada 2Dir.(kg/m ²)	260	305	350	395

(Fuente: Elaboración propia)

Para el cálculo del peso propio de la losa nervada en una dirección y en dos direcciones se eliminó el peso del bloque de arcilla por lo que los espacios entre nervios lo ocupa solamente aire, ver Figura 35. El peso específico del concreto armado se asumió como 2500 kg/m³ (COVENIN 2002, 1988).

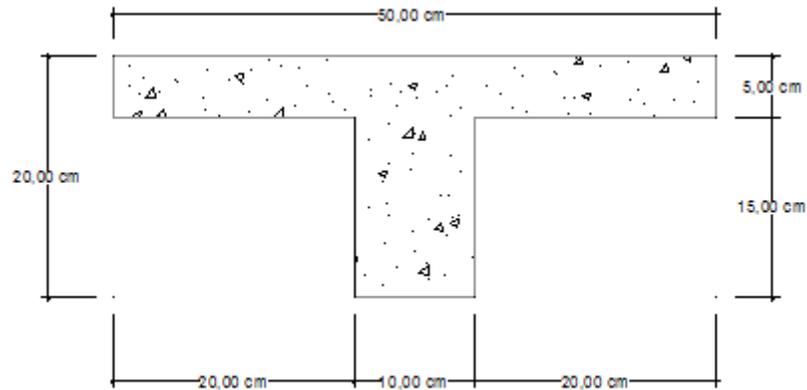


Figura 35 Losa Nervada $e=20\text{cm}$ (Fuente: Elaboración propia)

Los valores calculados para los pesos propios de las losas de la Tabla 12 cumplen con los requisitos previstos en el artículo 8.10.2 (FONDONORMA 1753, 2006).

- Los valores de t se tomaron de la Tabla 13

Tabla 13 Valores de t para el cálculo de puntuación de losas.

Losa	t
Losa Maciza	10
Losa Nervada en Una Dirección	5
Losa Nervada en Dos Direcciones	6

(Fuente: Elaboración propia)

Estos valores se calcularon por medio de la obtención del 15% del ELAR para los pesos de las losas en la Tabla 12, considerando los parámetros de la sección 4.6 y teniendo en cuenta que, (t) es un valor que depende del peso de la losa. Las EOE no

presentan los mismos pesos de las losas nervadas en la Tabla 5, debido a esto, se obtuvieron los pesos de las losas en las EOE y posteriormente los valores (t) para los tipos de losa.

4.9 Evaluación estructural para el CCCT

Los datos expuestos en la Tabla 14 fueron extraídos del FRDE utilizado en el CCCT con fecha 10/07/2012. Recibido por la Sra. Maura Millán. Ver Apéndice II.

Tabla 14 Datos del Centro Comercial Ciudad Tamanaco

Tipo de estructura	Concreto Armado
Tipo de losa de techo	Maciza y Nervada en 2 direcciones.
Espesores de losa de techo	15, 20 y 25 cm
Pendientes de techo	Menor a 15%
Notas Adicionales	Área de losa de techo: 27.600m ² Uso de Techo: Áreas, visitables, equipos de extracción, ventilación, aire acondicionado y telecomunicaciones

(Fuente: Elaboración propia)

Como no se manejó cuáles son las losas macizas y las nervadas en dos direcciones se realizó el estudio asumiendo que el CCCT cuenta con los dos tipos de losas en todos los espesores.

La evaluación estructural para los distintos casos de losa se presentan a continuación entre la Figura 36 y la Figura 40.

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa		<i>t</i>				
3.1 Maciza		10				<input checked="" type="checkbox"/>
3.2 Nervada en una dirección		5				<input type="checkbox"/>
3.3 Nervada en dos direcciones		6				<input type="checkbox"/>
4 Espesor de losa en (cm)	15			Puntos		150
						multiplicar espesor de la losa por <i>t</i> .
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
Extensivo						

Figura 36 Evaluación estructural del CCCT losa maciza e=15 cm
(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa						<input type="checkbox"/>
3.1 Maciza	<i>t</i>	10				<input checked="" type="checkbox"/>
3.2 Nervada en una dirección		5				<input type="checkbox"/>
3.3 Nervada en dos direcciones		6				<input type="checkbox"/>
4 Espesor de losa en (cm)	20	Puntos		multiplicar espesor de la losa por <i>t</i> .		
		200				
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
<input style="width: 100%;" type="text" value="Extensivo"/>						

Figura 37 Evaluación estructural del CCCT losa maciza e=20 cm

(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa						
3.1 Maciza	<i>t</i>	10				<input checked="" type="checkbox"/>
3.2 Nervada en una dirección		5				<input type="checkbox"/>
3.3 Nervada en dos direcciones		6				<input type="checkbox"/>
4 Espesor de losa en (cm)	25	Puntos		multiplicar espesor de la losa por <i>t</i> .		
		250				
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
Semi Intensivo						

Figura 38 Evaluación estructural del CCCT losa maciza e=25 cm

(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa						<input type="checkbox"/>
3.1 Maciza	t				<input type="checkbox"/>	
3.2 Nervada en una dirección	10				<input type="checkbox"/>	
3.3 Nervada en dos direcciones	5				<input type="checkbox"/>	
	6				<input checked="" type="checkbox"/>	
4 Espesor de losa en (cm)	15	Puntos		90	multiplicar espesor de la losa por t .	
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
NO CUMPLE						

Figura 39 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 Dir. e=15 cm

(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa						<input type="checkbox"/>
3.1 Maciza	t				<input type="checkbox"/>	
3.2 Nervada en una dirección	10				<input type="checkbox"/>	
3.3 Nervada en dos direcciones	5				<input type="checkbox"/>	
	6				<input checked="" type="checkbox"/>	
4 Espesor de losa en (cm)	20	Puntos		multiplicar espesor de la losa por t .		
		120				
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
<input style="width: 100%;" type="text" value="Extensivo"/>						

Figura 40 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 Dir. e= 20 cm
(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL CIUDAD TAMANACO					
Fecha	04/09/2012					
Evaluación estructural						
Marcar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto Armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de Losa						<input type="checkbox"/>
3.1 Maciza	t				<input type="checkbox"/>	
3.2 Nervada en una dirección	10				<input type="checkbox"/>	
3.3 Nervada en dos direcciones	5				<input type="checkbox"/>	
	6				<input checked="" type="checkbox"/>	
					Puntos	
4 Espesor de losa en (cm)	25				150	multiplicar espesor de la losa por t .
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
<input style="width: 100%;" type="text" value="Extensivo"/>						

Figura 41 Evaluación estructural del CCCT losa nervada 2 Dir. e= 25 cm
(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla 15 resume los resultados de las Figura 36 a la 41.

Tabla 15 Resultados de la evaluación estructural para el CCCT

Tipo de Losa	e 15 cm	e 20 cm	e 25 cm
Maciza	Techo Verde Extensivo	Techo Verde Extensivo	Techo Verde Semi-Intensivo
Nervada en 2 direcciones	No Cumple	Techo Verde Extensivo	Techo Verde Extensivo

(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla 15 revela el predominio del sistema de Techos Verdes *Extensivos*, teniendo en cuenta que en la losa maciza con espesor de 25 cm se le pudiese diversificar la flora, debido a que reúne las condiciones para albergar un sistema *Semi-Intensivo*. Para el caso de la losa nervada en dos direcciones con espesor de 15 cm no cumplió con los requisitos mínimos exigidos para implementar un Techo Verde.

En los términos del ELS se determinó que el CCCT tiene 36 años, y al ser una estructura de concreto armado, se infiere que, durante su tiempo de servicio ha debido estar expuesta a fenómenos de retracción de fraguado, flujo plástico¹⁵, asentamientos, acciones accidentales entre otras, en atención a esto, y para dar seguimiento dentro de los parámetros del método de los estados límites se debería realizar un estudio de las deflexiones de la losa por medio de una prueba de carga, tomando como criterio de aceptación que la misma tenga un comportamiento elástico y así dar conformidad a la

¹⁵Propiedad mediante la cual un material se deforma continuamente en el tiempo cuando está sometido a una carga constante (Nilson, 2001).

factibilidad estructural en base a que nunca la flecha máxima debe ser a la prevista en la Fórmula 2.

4.10 Evaluación estructural para el Centro Comercial Sambil

Los datos expuestos en la Tabla 16 fueron extraídos del FRDE de fecha 10/07/2012. Recibido por la Arquitecta Patricia Hollstein. Ver Apéndice III.

Tabla 16 Datos del Centro Comercial Sambil

Tipo de estructura	Concreto Armado
Tipo de losa de techo	Nervada en 2 direcciones.
Espesor de losa de techo	32 cm
Pendientes de techo	Menor a 15%
Notas Adicionales	Uso de Techo:, equipos aire acondicionado (Chillers)

(Fuente: Elaboración propia)

Según el Apéndice IV se puede calcular el peso propio de la losa, el cual resultó de 420 kg/m², de igual manera se determinó que tanto la losa maciza como nervada comparten el mismo espesor. Los valores de (t) son los expuestos en la Tabla 13.

En las Figura 42 y Figura 43 que se presentan a continuación, muestran la evaluación estructural de CCS para la selección de un tipo de Techo Verde.

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL SAMBIL					
Fecha	12/8/2012					
Evaluación estructural						
						Macar con una x la opción válida
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de losa						
3.1 Maciza	<i>t</i>	10				<input checked="" type="checkbox"/>
3.2 Nervada en una dirección		5				<input type="checkbox"/>
3.3 Nervada en dos direcciones		6				<input type="checkbox"/>
					Puntos	
4 Espesor de losa en (cm)	32				320	multiplicar espesor de la losa por <i>t</i> .
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
Semi Intensivo						

Figura 42 Evaluación estructural del CCS losa maciza e= 32 cm
(Fuente: Elaboración propia)

Formato de evaluación estructural de edificaciones comerciales para implementar techos verdes.						
TEG. Estudio de factibilidad estructural para la implementación de techos verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas						
Edificación	CENTRO COMERCIAL SAMBIL					
Fecha	12/08/2012					
Evaluación estructural						
Macar con una x la opción válida						
1 Estructura de acero						<input type="checkbox"/>
2 Estructura de concreto armado						<input checked="" type="checkbox"/>
3 Tipo de Losa						<input type="checkbox"/>
3.1 Maciza	<i>t</i>	10				<input type="checkbox"/>
3.2 Nervada en una dirección		5				<input type="checkbox"/>
3.3 Nervada en dos direcciones		6				<input checked="" type="checkbox"/>
4 Espesor de losa en (cm)	32	Puntos		multiplicar espesor de la losa por <i>t</i> .		
		192				
5 Pendiente de losa de techo mayor o igual que 15%						<input type="checkbox"/>
6 Pendiente de losa de techo menor que 15%						<input checked="" type="checkbox"/>
7 Instalaciones mecánicas, depósitos, equipos de telecomunicación						<input checked="" type="checkbox"/>
Techo Verde	Extensivo		Semi Intensivo		Intensivo	
Carga kg/m ²	60	150	120	200	180	500
Puntos	100	250	200	333	300	833
Eficiencia Energética	BUENA		OPTIMA		OPTIMA	
Manejo de agua pluviales	BUENA		OPTIMA		SUPERIOR	
Mejoramiento del suelo y clima	BUENO		OPTIMO		SUPERIOR	
Costo	BAJO		MEDIO		ALTO	
Mantenimiento	MUY BAJO		FRECUENTE		COTINUO	
Tipo de Techo Verde admisible:						
<input style="width: 100%;" type="text" value="Extensivo"/>						

Figura 43 Evaluación estructural del CCS losa nervada en 2 Dir. e= 32 cm

(Fuente: Elaboración propia)

La evaluación estructural para el CCS determinó que la implementación de Techos Verdes ante el caso del ELAR cumple para las losas que se evaluaron. El ELS se considera en parte favorable en comparación al CCCT, ya que esta edificación tiene menos años de vida de servicio, sin embargo, por medio de análisis más precisos se debe obtener el comportamiento de las losas ante sobrecargas en atención al comportamiento de las flechas que puedan generar los sistemas de Techos Verdes obtenidos para esta edificación, siendo un criterio de aceptación válido el uso de la Fórmula 2.

Para el CCS se puede optar por una combinación de Techos Verdes con la intención de aprovechar los beneficios ambientales que brinda un Techo Verde *extensivo* y a su vez, fusionarlo con la diversidad ornamental con más posibilidades de flora del *semi-intensivo*.

4.11 Evaluación estructural para el Centro Banaven

El FRDE entregado con fecha 10/07/2012. En las oficinas de la Administradora 302 C.A. dirigido a la Ingeniera Carolina Marín. (Ver Apéndice V). El mismo no fue respondido en el tiempo que esta investigación consideró necesario, por lo que no se pudo realizar la evaluación estructural correspondiente para esta edificación.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

El estudio de factibilidad estructural para la implementación de Techos Verdes en la ciudad de Caracas resulta, en un escenario positivo para edificaciones comerciales como el CCCT y el CCS, basado en el análisis del método de los estados límites. La factibilidad dentro de los lineamientos del Estado Limite de Agotamiento Resistente determinó que para las losas estudiadas se pudo definir un tipo de Techo Verde para cada uno de los casos, habiendo solo uno que no cumplió.

Las normas FONDONORMA 1753:2006 y COVENIN 2002:88, no mencionan en ningún momento el término Techo Verde, sin embargo, las mismas son flexibles y presentan métodos de cálculo estructural bastantes adecuados para implementar dicho sistema.

Los códigos y manuales consultados FLL y GRO demuestran que los Techos Verdes son sistemas bien definidos para diversos usos y necesidades, igualmente cuentan con especificaciones de cargas para cada tipo de Techo Verde, recomendaciones para el diseño estructural, recomendaciones para su implementación a edificaciones construidas, parámetros específicos en la selección del sustrato y la vegetación, capacidades de manejo de agua pluviales, capacidad de ahorro energético entre otras categorías que identifican a los Techos Verdes como una tecnología que beneficia a las edificaciones y el ambiente, respaldados por estudios de importantes organizaciones como la EPA, así como entes que reconocen y premian su uso como la LEED.

Un Techo Verde, supera ampliamente a un techo convencional; así lo ratifican los estudios que demuestran su efectividad térmica por la ASHRAE, la reconocida

aceptación de sus cualidades para mitigar la isla de calor por la EPA, posibilidad de ganar nuevos espacios para el disfrute y el esparcimiento de los habitantes en las ciudades, recuperar y mejorar la flora y la fauna urbana. Todas estas ventajas recopiladas en esta investigación, son posibles de obtener a tan solo incremento del 15% del estado límite de agotamiento resistente.

A través de esta investigación se determinó que los aspectos más relevantes para la implementación de un Techo Verde fueron la caracterización de los distintos tipos de losas que las edificaciones comerciales presentaron y sus espesores, ya que con esto se pudo realizar el análisis bajo los criterios del Estado Límite de Agotamiento Resistente y definir los lineamiento para seleccionar el tipo de Techo Verde adecuado para las distintas losas de las edificaciones estudiadas.

La limitación estructural que esta investigación encontró en las edificaciones estudiadas fue que las mismas no previeron implementar Techos Verdes, debido a esto la selección del tipo de Techo Verde partió en garantizar un peso del sistema no mayor al 15% del Estado Límite de Agotamiento Resistente. De la misma manera esta sobrecarga pretendió no provocar esfuerzos que lleven al elemento fuera de su límite elástico y produjeran flechas que afecten el servicio del mismo.

La calificación que esta investigación determinó en base a “puntos” para definir el tipo de Techo Verde, involucró no solo los detalles estructurales extraídos del Formato de Recopilación de Datos Estructurales y analizarlos, también encartó características ambientales, de ahorro energético, costo y operación asociadas al tipo de Techo Verde para ser el único instrumento calificador “Formato de Evaluación Estructural de Edificaciones Comerciales” que se simplificó de cálculos complicados con la adopción de un factor (t), de tal manera que en una sola hoja se reunieron los

aspectos estructurales y demás consideraciones importantes para implementar Techos Verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas.

CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES

En el proceso investigativo se pudo identificar la posibilidad de continuar y/o mejorar esta investigación en base al desarrollo de los siguientes temas:

- Análisis de las flechas causadas por Techos Verdes en losas de edificaciones comerciales.
- Evaluar la factibilidad de implementar Techos Verdes en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas bajo la Norma COVENIN 1756, 2006.
- Evaluación de la efectividad energética de los Techos Verdes en edificaciones comerciales.
- Diseño de suelo para un Techo Verde extensivo con materiales residuales.
- Análisis estructural de una edificación comercial solicitada por techo verde intensivo.
- Análisis estructural de un techo inclinado solicitado por un Techo Verde extensivo.
- Evaluación de la capacidad de absorción de aguas pluviales de un Techo Verde.
- Diseño de un sistema de Techo Verde extensivo para una vivienda unifamiliar.

APÉNDICE

Apéndice I. Formato de recopilación de datos estructurales (FRDE).

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil
Departamento de Ingeniería Estructural

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN EDIFICACIONES COMERCIALES EN LA CIUDAD DE CARACAS Autor: Br Jorge Ochoa / Tutor Académico: María E. Korody

Por medio del siguiente trabajo de investigación se busca determinar la posibilidad de implementar un *Techo Verde* en la azotea de edificaciones comerciales. Un Techo Verde consiste de un sistema multicapa (capa vegetal, suelo, aislante e impermeabilizante) que repercute notablemente en la incidencia de la edificación con el ambiente que lo rodea al ser un elemento que absorbe en menor medida que los materiales de construcción las radiaciones solares, esto quiere decir que un Techo Verde funciona como un aislante térmico que mantiene a la edificación fresca y posibilita el ahorro de energía por uso de aires acondicionados, además esta tendencia permite recuperar espacios verdes en la ciudades, mejora la calidad del aire así como el clima urbano, mejora la diversidad de flora y fauna urbana y hasta puede disminuir el riesgo de inundación ante una lluvia torrencial. Debido a esto se plantea una metodología que permita estudiar la factibilidad en el uso de este sistema en edificaciones comerciales en la ciudad de Caracas. Para la cual se requiere que se suministre la siguiente información, lo que será de gran colaboración para el desarrollo de la presente investigación.

FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES

Colocar una X en el recuadro correspondiente en cada Ítem.

- ✓ Tipo de Estructura: Acero Concreto Armado
- ✓ Tipo de Losa de techo
 - ✓ Maciza
 - ✓ Armada en una dirección
 - ✓ Armada en dos direcciones
 - ✓ Encofrado colaborante
- ✓ Espesor de losa de techo (en cm) (de haber varios espesores, colocarlos todos)
- ✓ Pendientes menor o igual 15 % Pendiente mayor a 15%

Notas adicionales (uso actual del techo, presencia de equipos, **área** de la losa de techo):

Apéndice II. Formato de recopilación estructural para el CCCT

FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES

Colocar una X en el recuadro correspondiente en cada ítem.

✓ Tipo de Estructura: Acero Concreto Armado

✓ Tipo de Losa de techo:

- Maciza
- Armada en una dirección:
- Armada en dos direcciones:
- Encofrado colaborante:

✓ Espesor de losa de techo (en cm): (de haber varios espesores, colocarlos todos)

✓ Pendientes menor o igual 15% Pendiente mayor a 15%

Notas adicionales (uso actual del techo, presencia de equipos, área de la losa de techo):

Áreas visitables.

Equipos: Instalaciones mecánicas: Extracción, ventilación, aire acondicionado.

Equipos de telecomunicación.

3000
1800
3000
6000

13.800 x 2 =
27.600

Apéndice III. Formato de Recopilación Estructural para el CCS

FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES

Colocar una X en el recuadro correspondiente en cada ítem.

- ✓ Tipo de Estructura: Acero Concreto Armado
- ✓ Tipo de Losa de techo:
 - Maciza
 - Armada en una dirección:
 - Armada en dos direcciones:
 - Encofrado colaborante:
- ✓ Espesor de losa de techo (en cm): (de haber varios espesores, colocarlos todos)
- ✓ Pendientes menor o igual 15 % Pendiente mayor a 15%

Notas adicionales (uso actual del techo, presencia de equipos, **área** de la losa de techo):

En varias zonas están ubicado chillers, - (equipos de Aire acondicionado)

Apéndice V. Solicitud de Datos estructurales Centro Banaven

Caracas 10/7/12

Ing. Carolina Marín
Gerente de Operaciones
Departamento de Gerencia Administradora 302

Me dirijo a usted, en esta oportunidad de brindarle un cordial saludo y de notificarle que anexo a este documento le presento el siguiente documento: **Formato de Recopilación de Datos Estructurales** para el desarrollo del trabajo especial de grado "**Estudio de Factibilidad Estructural para la Implementación de Techos Verde en edificaciones Comerciales en la Ciudad de Caracas**", el cual estoy desarrollando, por lo que solicito a su persona que la tome en consideración como instrumento para suministrar la información que se solicita, ya que será de gran importancia para el desarrollo del mismo.

En este mismo orden de ideas le notifico que toda la información suministrada por su despacho será de carácter educativo en el momento de su publicación, por lo que, se le garantiza discreción absoluta en el manejo de la misma.

Adicionalmente le anexo una copia de del documento: "**Solicitud de aprobación de tema para trabajo especial de grado**" Aprobado el 21 de mayo del año en curso, como constancia de la institución (Universidad Central de Venezuela) que me ha autorizado a desarrollar la presente investigación, la cual debo presentar para obtener el Título de Ingeniero Civil.

Sin otro particular, y agradeciendo el apoyo que pueda brindar para cumplir estas actividades en conjunto.


Jorge Ochoa
C.I. 17.119.393



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alter, L. (11 de Enero de 2012). *Amazing Panoramic View of Rooftop Farm In Toronto*. Obtenido de treehugger.com: <http://www.treehugger.com/green-food/amazing-panoramic-view-of-rooftop-farm-in-toronto.html>
- Ancaya, E. (2011). *An Introduction to Green Roofs*. New York: Living Roofs, Inc.
- Carlowicz, M. (4 de Octubre de 2011). *Ecosystem, Vegetation Affect Intensity of Urban Heat Island Effect*. Obtenido de The National Aeronautics and Space Administration: http://www.nasa.gov/mission_pages/terra/news/heat-islands.html
- Centro Banaven. (27 de Marzo de 2012). *Arquitectura*. Obtenido de Centro Banaven: <http://centrobanaven.com/lista.aspx?sec=1101>
- Córdova, K. (Marzo de 2011). *Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, Octubre-2009, Marzo- 2010*. Caracas.
- COVENIN 2002. (1988). *Criterio y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones*. Caracas: COVENIN.
- Di Lisio, A. (2001). *La evolución urbana de Caracas. Indicadores e interpretaciones sobre el desarrollo de la interrelación ciudad-naturaleza*. Caracas: CENAMB–Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.

- Domínguez, M. E. (3 de Abril de 2011). *La # 50 es 100% Ecológica*. Recuperado el 23 de Febrero de 2012, de El Informador:
www.elinformador.com.ve/noticias/negocios/economia/ecologica/36424
- Elsayed, I. S. (2 de Febrero de 2006). The effects of urbanization on the intensity of the urban heat island: a case study on the city of Kuala Lumpur. Kuala Lumpur, Malaysia.
- EPA. (2009). *Environmental Protection Agency*. Recuperado el 11 de 29 de 2011, de EPA: <http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/BasicCompendium.pdf>
- FLL. (25 de Enero de 2008). *FLL*. Recuperado el 14 de Febrero de 2011, de Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau:
<http://www.fll.de/>
- FONDONORMA 1753. (2006). *Proyecto y Construcción de Obras En Concreto Estructural*. Caracas: FONDONORMA.
- GEOPLAST. (23 de 11 de 2011). *GEOFRAIN*. Obtenido de GEOPLAST:
<http://www.geoplast.it>
- Green Roof . (5 de Noviembre de 2011). *Green Roofs Proyects*. Obtenido de Green Roofs: <http://www.greenroofs.com/projects/>
- GRO. (2011). *The GRO*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2011, de Green Roof Organization: http://www.thegreenroofcentre.co.uk/green_roof_code
- Güell, A. (26 de Mayo de 2012). Detalles Estructurales de Central Madeirense sucursal la Alameda. (J. Ochoa, Entrevistador)

- Gutiérrez, R. A. (5 de Diciembre de 2011). Techos vivos extensivos. Bogotá, Colombia.
- IGRA. (25 de Enero de 2012). *Green Roof Types*. Obtenido de International Green Roof Association: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007 Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jiménez, R. (2006). *Informe diagnostico sobre la situación del estado Vargas (infraestructura y servicios)*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.
- Katz, A. (22 de Mayo de 2012). Techos Verdes en Central Madeirense sucursal la Alameda. (J. Ochoa, Entrevistador).
- Lamigal. (Enero de 2011). Manual para la instalación de Losacero. Valencia, Carabobo, Venezuela: Lamigal.
- LEED. (2009). *Existing Buildings U.S. Green Building Council*. Recuperado el 12 de Febrero de 2012, de LEED: <https://new.usgbc.org/leed/rating-systems/existing-buildings>
- Maura Millán. (1984). El CCCT una ciudad dentro de Caracas. *CECECETE MAGAZINE*, 3-5.

- Mayor of London. (2006). *London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers*. London: Greater London Authority. Obtenido de London's Urban Heat Island.
- Mayorga, J. P. (9 de Octubre de 2010). *Las azoteas son prueba de que lo verde empieza desde arriba*. Recuperado el Febrero de 2012, de CNN Mexico: mexico.cnn.com/planetacnn/2010/10/09/las-azoteas-son-prueba-de-que-lo-verde-empieza-desde-arriba
- Minke, G. (2005). *Techos verdes planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo: Editorial Fin de Siglo.
- Munby, B. (2005). *Feasibility Study for the Retrofitting of Green Roofs*. Sheffield: Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: Mc Graw Hill.
- NOPHADRAIN. (2011). *Extensive Green Roof*. Kerkrade: Nophadrain.
- Panoramio. (11 de Agosto de 2012). *Torre Invertida CCCT desde el Best Western Hotel* . Obtenido de Panoramio: <http://www.panoramio.com/photo/1084345>
- Sambil, C. (6 de Abril de 2012). *Memoria Descriptiva*. Obtenido de Sambil: http://tusambil.com/Mall/1/Sambil_Caracas
- Sevilla, G. (22 de Marzo de 2012). *The green roof at Toronto City Hall*. Obtenido de [blogto.com](http://www.blogto.com): http://www.blogto.com/city/2010/05/the_green_roof_at_toronto_city_hall/

- Sheehan, P. (15 de Febrero de 2010). *Life's a bitumen nightmare as cities get hotter than hell*. Obtenido de The Sydney Morning Herald:
<http://www.smh.com.au/opinion/politics/lifes-a-bitumen-nightmare-as-cities-get-hotter-than-hell-20100214-nzb6.html>
- skyscrapercity. (28 de Abril de 2012). *Centro Empresarial Banaven*. Obtenido de skyscrapercity: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1005405>
- skyscraperlife. (12 de Agosto de 2012). *Centros comerciales de Sudamérica*. Obtenido de skyscraperlife: <http://www.skyscraperlife.com/city-versus-city/34806-centros-comerciales-de-sudamerica-24.html>
- Solaripedia. (23 de Marzo de 2012). *Hundertwasser's Forested Roofs and Rooms*. Obtenido de solaripedia:
http://www.solaripedia.com/13/365/4845/hundertwasser_green_roof_pink_building.html
- Sonne, J. (2006). Evaluating green roof energy performance. *ASHRAE JOURNAL*, 60-61.
- TEGNOS. (2008). *The future of green roof*. Boston: TEGNOS Research Inc.
- The Economist. (3 de Septiembre de 2011). *Greening the concrete jungle*. Recuperado el 24 de Febrero de 2012, de The Economist:
www.economist.com/node/21528272
- Velazquez, L. S. (2005). *Organic Greenroof Architecture: Design Considerations and System Components*. Wilmington: Wiley Periodicals, Inc.

Velazquez, L. S. (27 de Marzo de 2010). *Chicago City Hall*. Obtenido de Greenroof:

<http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=21>

World Business Chicago. (25 de Febrero de 2012). *World Business Chicago*.

Obtenido de

<http://www.worldbusinesschicago.com/newsletters/email.Sept06.htm>