



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: Mónica Cristina Londoño Naranjo

PROFESOR GUÍA: Doctora Maureen Trebilcock K.

Concepción, 27 de Febrero de 2016

Agradecimientos.

A Dios por permitirme realizar este sueño.

A mi familia por su apoyo incondicional
y por creer en este proyecto.

A Andrés por su comprensión y por animarme
siempre a no desfallecer en este proceso.

A mis tutores y demás personas que
intervinieron en el desarrollo de este
documento.

Resumen

Dentro de los elementos que componen la envolvente de la edificación, los techos están usualmente más expuestos a la radiación solar debido a que la mayor parte del tiempo los rayos solares inciden perpendicularmente sobre ellos; su materialidad y diseño en general, está directamente relacionado con la absorción, transferencia o reflexión de calor al interior del espacio que cubren.

Los techos en la Vivienda de Interés Social en Antioquia, habitualmente, se construyen con teja tipo ondulada de fibrocemento y teja tipo metálica apoyado sobre una estructura metálica. Esta alternativa constructiva es seleccionada sin considerar su comportamiento térmico, lo que genera un incremento en la demanda energética vinculada a la refrigeración, ya que el clima de Antioquia es tropical, y puede alcanzar temperaturas máximas absolutas de 33.2°C. Esto nos hace suponer que el diseño y la selección de materiales para construir techos no es la más adecuada, ya que no se plantean alternativas que reduzcan la transferencia de calor, lo que permitiría minimizar la demanda de energía vinculada a sistemas de refrigeración.

Este trabajo estudia la incidencia del diseño del techo sobre el comportamiento térmico de la vivienda, en cuanto a la selección de materiales para la cubierta, uso de cielo falso con materiales aislantes, conveniencia de la geometría y la incorporación de ventilación a la cámara que se conforma, todo esto como una alternativa pasiva que mejore el comportamiento térmico de la vivienda, que a su vez permita reducir la demanda energética y minimizar la generación de gases de efecto invernadero GEI.

Para la evaluación de estas variables se realizaron simulaciones a través del software EDSL TAS Thermal Analysis Simulation, estos resultados evidenciaron ahorros de hasta el 50.14% en la demanda energética, cuando se incorporó ventilación a la cámara que se conformó con el cielo falso especificado con materiales aislantes y cuando se incrementó la pendiente del techo.

Palabras claves: Techo Ventilado, Vivienda de Interés Social, Desempeño Térmico, Transferencia de Calor, Clima Tropical.

Abstract

Among the elements of the building envelope, roofs are usually more exposed to solar radiation due to most of the time, sunlight has a perpendicular impact on them; their material and design are directly related to absorption, transfer or reflection of heat into the space they are covering.

The roofs in low income housing in Antioquia are usually built with corrugated fiber cement tile and metal tile type, resting on a metal structure. This building choice is selected without a prior study of their thermal behavior, generating an increase in energy demand linked to cooling as the weather in Antioquia is tropical and can even reach absolute maximum temperatures up to 33.2°C. This leads on to the assumption that the design and selection of materials for roofing, is not adequate since they do not pose alternatives to reduce heat transfer, which would minimize energy demand linked to cooling systems.

This paper studies the impact of the roof's design on the housing thermal behavior, starting from the selection of materials for the tile, the use of a suspended ceiling with thermal insulation, the convenience of the geometry and the incorporation of ventilation to the chamber that is formed, All this as a passive alternative that improves the housing thermal performance, which would reduce energy demand and minimize the generation of greenhouse gas emissions GHG

For the evaluation of these variables, simulations through EDSL TAS Thermal Analysis Simulation software were carried out. These results evidenced savings up to 50.14 % in energy demand, when ventilation was incorporated to the chamber settled in the specified suspended ceiling with thermal insulation and when the pitch of the roof increased.

Keywords: Ventilated Roof, Low Income Housing, Thermal Performance, Heat Transfer, Tropical Climate.

Índice

Figuras.....	vi
Tablas Y Gráficas.	viii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1.1 Relevancia del problema	3
1.1.2 Hipótesis.....	5
1.1.3 Preguntas de Investigación	5
1.1.4 Objetivo general.....	5
1.1.5 Objetivos específicos.....	5
1.1.6 Marco Metodológico.....	6
Capítulo 2. Descripción del Clima.	8
2.1.1 Clima de Colombia.....	8
2.1.2 Clima de Medellín, Departamento de Antioquia.	8
2.1.3 La Arquitectura del Clima Tropical.	9
2.1.4 Recorrido por la Casa Tradicional Colombiana.	10
2.1.4.1 Clima Cálido.....	10
2.1.4.1.1 La típica Casa Rural de Madera con Techo de Palma de la Región Caribe Colombiana.	11
2.1.4.1.2 La Casa Urbana de la Región Caribe.....	11
2.1.4.1.3 Casa de la Isla de San Andrés	12
2.1.4.2 Clima Templado.....	12
2.1.4.2.1 Casa Andina de un piso.	12
2.1.4.2.2 Casa andina de dos pisos.....	13
Capítulo 3. El techo y el clima.....	15
3.1.1 Definición de Techo.....	15
3.1.2 Tipologías de Techos.	15
3.1.3 El Techo en el Clima Tropical.....	16
3.1.4 Tipologías de Techos en Colombia.	16
Capítulo 4. Techo Ventilado.	23
4.1.1 Techo Ventilado	23
4.1.1.1 Tipos de Techos Ventilados.....	23
4.1.2 Antecedentes del Techo Ventilado.	25
4.1.3 Estrategias de protección térmica para techos en clima tropical.....	26
4.1.3.1 Cielo Falso o Cielorraso	26
4.1.3.2 La Ventilación de la Cámara	27
4.1.3.3 Material de Acabado Radiante.....	27
4.1.3.4 Tamaño de la Abertura de la Cámara.	28
4.1.3.5 Forma del Techo.....	29
4.1.3.6 Orientación con Respecto a Vientos Dominantes.....	30
4.1.3.7 Techos Fríos o “Cool Roof”	30
Capítulo 5. Descripción del Estudio.	32
5.1.1 Tipología de Vivienda a Simular.	32
5.1.2 Descripción de las Simulaciones.....	36
5.1.3 Descripción de las Alternativas 3 y 4.....	37
5.1.4 Descripción de las Alternativas 5 y 6.....	39
5.1.5 Resultados de las Simulaciones.....	43
5.1.6 Análisis de las Simulaciones.	52

Material de la Teja.	52
Cielo Falso - Material Aislante Interior.	52
Inclinación de la Cubierta.	53
Incidencia del Viento.	53
Conclusiones	54
Referencias Bibliográficas	57
Anexos.....	59

Figuras.

Figura 1. Crecimiento de GEI sector vivienda	2
Figura 2. Vivienda de Interés Social multifamiliar y bifamiliar.....	4
Figura 3. Esquema metodológico. (Elaboración propia)	7
Figura 4. Clasificación climática de Caldas – Lang.....	8
Figura 5. Parámetros climáticos promedio de Medellín. Antioquia.	9
Figura 6. Estrategias pasivas para clima cálido.	10
Figura 7. Vivienda típica rural de la Región Caribe Colombiana.	11
Figura 8. Vivienda típica urbana de la Región Caribe.....	11
Figura 9. Vivienda típica de la Isla de San Andrés.	12
Figura 10. Vivienda típica de la Región Andina, de un piso.	13
Figura 11. Vivienda típica de la Región Andina de dos pisos.	13
Figura 12. Esquema general de un techo. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 13. Tipologías de techos. Elaboración propia.	16
Figura 14. Tipología de cubierta y cielo raso.....	17
Figura 15. Algunas tipologías de cubiertas para techos.....	18
Figura 16. Algunas tipologías para cielos rasos y materiales aislantes.	19
Figura 17. Esquema típico de estructura de techo para VIS. Elaboración propia.....	20
Figura 18. Vivienda unifamiliar con techo de Teja metálica termo acústica.	20
Figura 19. Vivienda unifamiliar con techo de Teja de Fibrocemento.	21
Figura 20. Vivienda multi-familiar con techo plano (losa de cubierta en concreto reforzado – (concreto + acero de refuerzo)).	21
Figura 21. Micro-ventilación. Elaboración propia.	23
Figura 22. Ventilación bajo revestimiento. Elaboración propia.....	24
Figura 23. Ventilación bajo techo. Elaboración propia.	24
Figura 24. Interior de la cámara ventilada, en el techo.	25
Figura 25. Apariencia de los vanos para el ingreso de la ventilación a la cámara, sobre las fachadas.	25
Figura 26. Teja para ventilación y Caballete de ventilación.....	26
Figura 27. Planta arquitectónica. Vivienda Unifamiliar.....	33
Figura 28. Fachada Principal. Vivienda Unifamiliar.....	34
Figura 29. Sección Transversal ST-ST'. Vivienda Unifamiliar.....	34
Figura 30. Alternativa 1 y Alternativa 2. Pendiente del techo del 30%.	36
Figura 31. Alternativa 3a. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%.....	37
Figura 32. Alternativa 3b. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%.....	37
Figura 33. Alternativa 3c. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%.....	38
Figura 34. Alternativa 4a. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%.....	38
Figura 35. Alternativa 4b. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%.....	38
Figura 36. Alternativa 4c. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%.....	39

Figura 37. Alternativa 5a. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%.....	39
Figura 38. Alternativa 5b. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%.....	40
Figura 39. Alternativa 5c. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%.....	40
Figura 40. Alternativa 6a. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%.....	40
Figura 41. Alternativa 6b. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%.....	41
Figura 42. Alternativa 6c. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%.....	41

Tablas Y Gráficas.

Tabla 1. Métodos de cálculo empíricos para dimensionamiento de aberturas.	29
Tabla 2. Variables para análisis de cubiertas ventiladas. Elaboración propia.....	31
Tabla 3. Áreas para construcción de vivienda de interés social.....	32
Tabla 4. Parámetros de simulación habitaciones.....	42
Tabla 5. Parámetros de simulación salón, comedor y cocina – días de la semana.....	42
Tabla 6. Parámetros de simulación salón, comedor y cocina – sábado y domingo.....	43
Tabla 7 Consumo Kwh/anual para Refrigeración. Techo Fibrocemento - Cielo PoliEstireno Expandido.....	44
Tabla 8. Consumo Kwh/anual para Refrigeración. Techo Fibrocemento - Cielo Fibra de Vidrio + Placa de Yeso Cartón.	44
Tabla 9. Consumo Kwh/anual para Refrigeración. Techo Metálica Termo-Acústica- Cielo Poli-estireno Expandido	46
Tabla 10. Consumo Kwh/anual para Refrigeración. Techo Metálica Termo-Acústica- Cielo Fibra de Vidrio + Placa de Yeso Cartón	47
Tabla 11. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para la alternativa 3.	48
Tabla 12. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 4	49
Tabla 13. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 5	50
Tabla 14. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 6	51
Gráfica 1. Comparativo Alternativa 1 - Alternativa 3 –Alternativa 4	45
Gráfica 2. Comparativo Alternativa 2 - Alternativa 5 –Alternativa 6	47
Gráfica 3. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar	48
Gráfica 4. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar	49
Gráfica 5. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar.	50
Gráfica 6. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar.	51

Capítulo 1. Introducción

Los efectos del cambio climático han trascendido a todos los sectores de la sociedad. La necesidad de encontrar estrategias para mitigar el impacto ambiental ha generado diversas propuestas para minimizar el daño que hemos causado a la tierra. El sector de la construcción no es ajeno a este flagelo, ya que es uno de los que mayor impacto genera a través de la explotación de recursos naturales para obtener materia prima, y el consumo de energía para su producción. En el caso de Colombia, *“al cierre del año 2013, este sector represento un crecimiento del 9,8% respecto al 2012, obedeciendo a un crecimiento del 9.2% para edificaciones y una variación del 10.4% en obras civiles (DANE, 2014). Este sector es el de mayor crecimiento comparado con las otras actividades económicas principales del país, jalónada principalmente por las edificaciones residenciales, y particularmente por la construcción de Vivienda de Interés Social”*. (Minvivienda, 2014. P3). Es por esta razón que la construcción sostenible y las estrategias de diseño pasivo, se han convertido en los puntos de partida de la mayor parte de los proyectos a desarrollar en el país, en miras a responder al uso eficiente de los recursos aumentar la calidad de vida, y preparar el sector para los efectos del cambio climático.

Actualmente se está desarrollando una cultura a nivel mundial, con el propósito de disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, GEI, y Colombia no se ha quedado atrás, desarrollando estudios que permitan dar alternativas a la disminución de estos. En el sector vivienda, el estudio, denominado *“Plan de Acción Sectorial de Mitigación para el sector vivienda y desarrollo territorial”* de julio de 2014, encontró, que *“las emisiones... crecerán a una tasa de 3.3% anual, alcanzando 17 millones de toneladas de CO₂e en el 2040 y 339 millones de toneladas de CO₂e acumulados en el periodo 2010-2040, como se muestra en la figura 1.”* (Minvivienda, 2014. P.7)

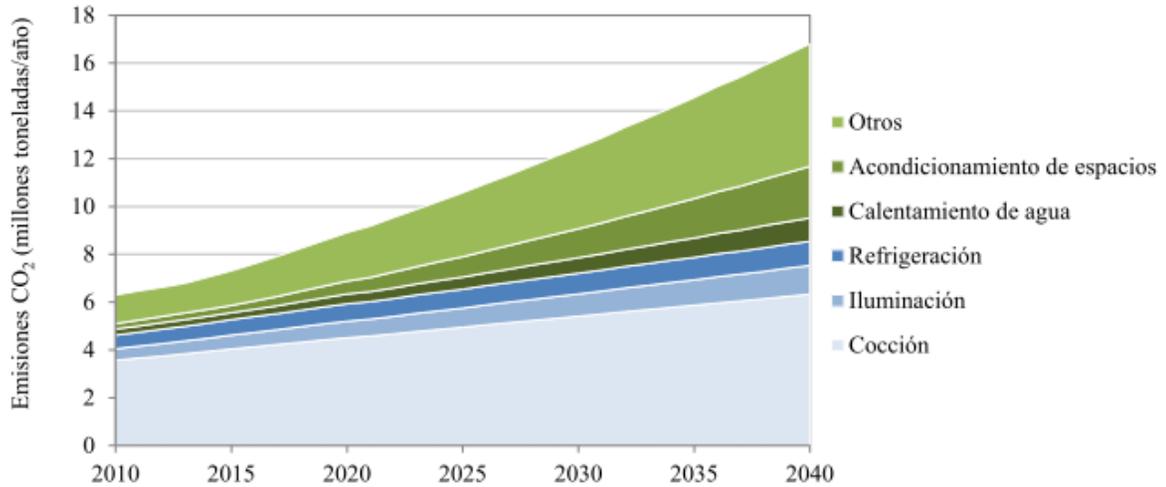


Figura 1. Crecimiento de GEI sector vivienda

La figura 1 permite ver el crecimiento de GEI por categorías, todas asociadas a las actividades diarias que se realizan en una vivienda, y ligadas al consumo de energía lo que demuestra la necesidad de desarrollar estrategias de eficiencia energética; adicionalmente, *“este estudio, muestra un potencial de reducción de 28 millones de ton de CO₂e al implementar medidas de diseño pasivo y materiales con propiedades térmicas adecuadas, medidas de remodelaciones y de acabados adecuados en vivienda nueva y existente”*. (Minvivienda, 2014. P8.)

Además, cabe anotar que Colombia cuenta con un clima tropical, con temperaturas que varían entre los 12 y 17°C para un 8% del territorio, otro 10% cuenta con temperaturas entre 17 y 24°C y el 80% restante cuenta con temperaturas superiores a los 24°C, lo que sugiere que la mayor parte de la población demanda el uso de sistemas de refrigeración, como ventiladores o sistemas de climatización, para alcanzar un nivel de confort. Para el año 2010 *“la demanda de energía eléctrica en Colombia, alcanzó 56.147,6 GWh, con un crecimiento de 1.468,7 GWh, (2,7% más que en 2009 que fue de 54.678,9 GWh). Este incremento se debió, en gran medida, a los altos consumos en el sector residencial (mercado regulado) durante los primeros meses de 2010, como resultado de las altas temperaturas registradas en el país por la presencia del fenómeno El Niño”*. (Minminas, 2011. P 146.)

Esta estadística, presenta la demanda de energía eléctrica en el sector residencial vinculada a sistemas de climatización o ventiladores, por lo que se intuye las viviendas no ofrecen condiciones de confort a sus habitantes, es por esta razón que se pretende evaluar el desempeño energético

de la vivienda, estudiando alternativas de diseño en cuanto a la geometría y la materialidad de los techos ya que la incidencia solar es mayor en estos por su perpendicularidad con respecto a los rayos solares.

Además, se pretende realizar simulaciones a través del software TAS, partiendo de un caso base con los materiales habituales de construcción en el país para desarrollar combinaciones en cuanto a materiales, geometría e incorporación de ventilación al sistema constructivo, con el fin de encontrar una alternativa que minimice la demanda energética. Todo esto enmarcado en el contexto del clima tropical.

1.1.1 Relevancia del problema

Diversos autores han realizado estudios de la transferencia de calor a través de los elementos de la envolvente para definir estrategias arquitectónicas que permitirán establecer condiciones de confort, que guarden una relación directa con consumos mínimos de energía, llegando a concluir que *“Entre los elementos más significativos, en cuanto a estos consumos, está el correspondiente a los techos. Estudiados estos desde dos perspectivas, como sistemas y como materiales que conforman estos sistemas.”* (Bojórquez, Inocente; Castillo, Set J.; Flores, Fernando; Hernández, José. 2010. pág. 27-38). Los techos, son una superficie plana o inclinada que se encuentran perpendicular a la dirección de los rayos solares, por tal motivo su “densidad de incidencia” es la máxima posible por lo cual las cubiertas de las viviendas son las más afectadas por la radiación solar; su materialidad está directamente relacionada con la absorción, transferencia o reflexión de calor. En climas tropicales, este efecto es generalizado lo que implica analizar alternativas de diseño (geometría) y materiales que minimicen la transferencia de calor, y como resultado el consumo mínimo de energía asociado a sistemas de refrigeración.

En clima tropical, *“la arquitectura típica es ligera, muy ventilada, protegida de la radiación solar y sin inercia térmica. Los materiales más recomendados para este clima son aquellos de absorción y emisión selectiva, ya que esto constituye una defensa contra la radiación solar; elegir materiales de color blanco permitirá reflejar hasta el 90% de la radiación recibida”*, (Mariana Guimarães Merçon. 2008. Pág. 1, 57) además de optar por aquellos materiales con poca inercia térmica, ya que la temperatura tiende a permanecer estable durante todo el día.

En Colombia, en la actualidad los materiales utilizados en la construcción de vivienda de interés social son los mismos, independiente del clima en el que se implanta el proyecto. Según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) en el primer trimestre de 2014 en el país, el sistema constructivo más empleado para VIS fue: Sistema industrializado (vaciado en concreto por formaleta) 48.6%, Mampostería confinada (muros con ladrillos o bloques, reforzado mediante vigas y columnas) 29.5%, Mampostería estructural (muros de carga) 21.7%, y otros (sistema basado en materiales como guadua, bareque, tierra estabilizada, entre otros) 0.2%; (DANE, 2015). Adicionalmente, según la Guía de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social, del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, el sistema constructivo habitual para cubiertas es: estructura de madera o metálica, acompañada de teja de zinc, teja ondulada tipo metálica, de Fibrocemento, teja de barro y otros. (Minvivienda, 2015). Todos estos, reglamentados por la ley 400 de 1997 y sus actualizaciones, conocido como “Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente”.



Figura 2. Vivienda de Interés Social multifamiliar y bifamiliar.

Teniendo en cuenta el texto anterior queda la pregunta si el sistema constructivo y los materiales que habitualmente utilizamos en la construcción de techos para vivienda de interés social, es la más adecuada, ya que estos sistemas están conformados por materiales que poseen alta inercia térmica, son conductores y no permiten el paso de la ventilación. Todas estas condiciones aumentan la transferencia de calor y por lo tanto minimizan el confort térmico, lo que genera la demanda energética para el uso de sistemas de climatización mecánica o ventiladores.

1.1.2 Hipótesis

Es posible que las soluciones de techumbre utilizadas en la actualidad en el clima tropical no presenten un desempeño térmico adecuado.

Incorporar estrategias de mejoramiento en el diseño de las techumbres centradas en la geometría, materialidad y ventilación, podrían mejorar considerablemente el desempeño térmico de la vivienda de interés social.

1.1.3 Preguntas de Investigación

¿Cuál es el sistema constructivo (materiales y geometría) óptimo para la techumbre, que mejore el desempeño térmico de la vivienda en un clima tropical?

¿Cómo es el comportamiento de la cubierta ventilada en clima tropical? ¿Cuál es el área aproximada para ingresar el aire necesario para ventilar la cubierta? ¿Cuál es el material óptimo para conformar la cámara de aire al interior del sistema de cubierta, a nivel de cielorraso?

1.1.4 Objetivo general

Evaluar el desempeño térmico de diferentes estrategias de mejoramiento de diseño de las techumbres, aplicada a la vivienda de interés social como alternativa de mejora, en clima tropical a través del caso de estudio, de Viviendas de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

1.1.5 Objetivos específicos

- ✓ Definir las tipologías de cubiertas más utilizadas en Colombia, por su materialidad y geometría, e identificar cuáles son ventiladas.
- ✓ Evaluar el comportamiento térmico de la vivienda, al incorporar la ventilación de cubierta asociado a demanda energética por refrigeración, utilizando las tipologías más representativas en clima tropical.
- ✓ Analizar y proponer, materiales adecuados y geometría de diseño para cubierta, que mejoren el desempeño térmico de la vivienda en clima tropical.

1.1.6 Marco Metodológico

Para desarrollar los objetivos propuestos anteriormente, la metodología a seguir es:

- **El Como**
 - ✓ Comenzar por buscar y seleccionar dentro de la historia y la normativa existente en Colombia, cuales son las tipologías de cubiertas más utilizadas.
 - ✓ Recopilar información bibliográfica de estudios realizados acerca del comportamiento de cubiertas ventiladas, en climas tropicales.
 - ✓ Identificar las estrategias más utilizadas al incorporar cubiertas ventiladas.
 - ✓ Seleccionar la tipología de vivienda a estudiar, que cumpla los requisitos de la normativa existente.
- **El Método**
 - ✓ Simular a través del software TAS una vivienda tipo, de un piso, con algunas tipologías de cubiertas típicas de Antioquia al incorporar la ventilación en la cubierta, para conocer el desempeño térmico de esta con el fin de determinar la pertinencia de la mejora en el sistema constructivo.
 - ✓ Simular a través del software TAS una vivienda tipo, de un piso, que incorpore la cubierta ventilada, para identificar: dimensiones de la apertura ventilada, inclinación, geometría, especificaciones del material exterior e interior.
- **El Para**
 - ✓ Analizar la información de gráficas y cuadros comparativos del comportamiento de cada una de las tipologías.
 - ✓ Identificar y evaluar los parámetros de diseño de cubiertas ventiladas para climas tropicales.

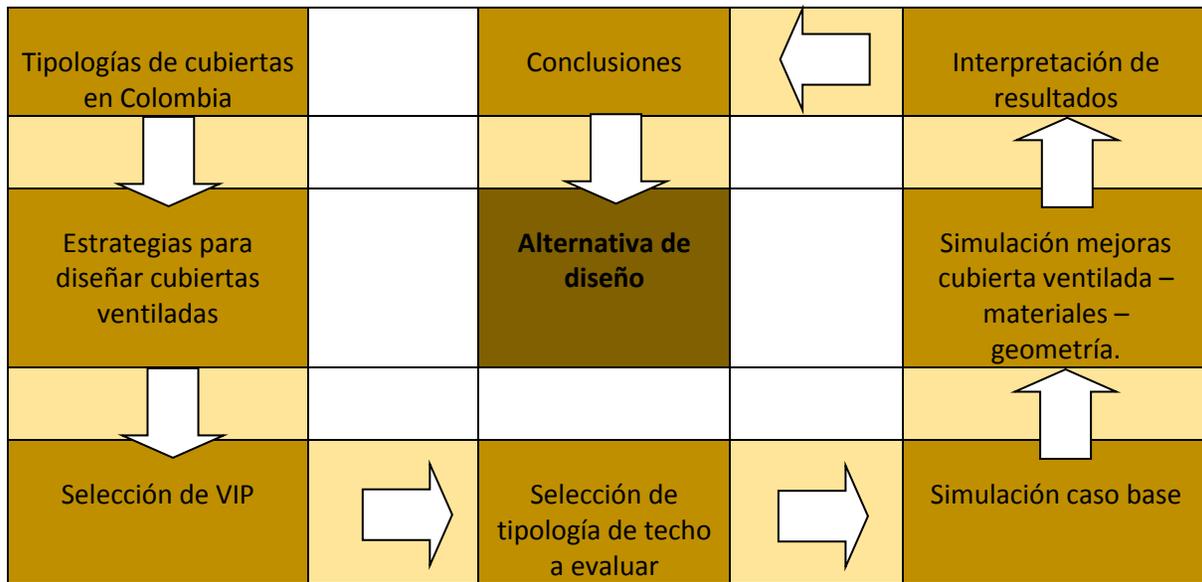


Figura 3. Esquema metodológico. (Elaboración propia)

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Capítulo 2. Descripción del Clima.

2.1.1 Clima de Colombia

El clima predominante en el país es el Cálido en sus diferentes grados de humedad. El desértico se encuentra confinado a la alta Guajira; el árido y semiárido corresponde a la mayor parte de la franja litoral, Magdalena y norte de Bolívar, Sucre y Córdoba; el semi-húmedo y húmedo ocupa amplias extensiones de la Orinoquia, Amazonia, valle del medio Magdalena Sur de la Región Caribe y oriente de Norte de Santander; la región Pacífica presenta predominio de clima súper-húmedo.

Los climas templados ocupan las laderas de las tres cordilleras hasta una elevación de 1800 a 1900 msnm. Los climas más secos de este cinturón climático, se ubican en las laderas del Valle del Cauca y sectores de los santanderes; los húmedos y super-húmedos se concentran en la cordillera central en el departamento de Antioquia, cordillera occidental en Cauca y a lo largo de los piedemontes llanero y amazónico.

Los climas fríos ocupan los niveles superiores a los 2000 msnm en las tres cordilleras y la Sierra Nevada de Santa Marta. Los tipos secos son típicos del altiplano cundiboyacense y sectores de Nariño. Los más húmedos aparecen en las laderas de la cordillera oriental especialmente en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Arauca; como se observa en la figura 4.

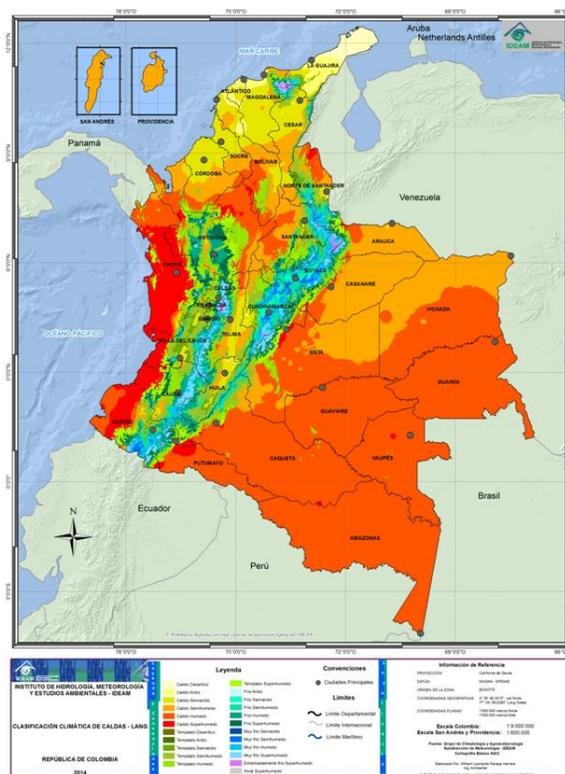


Figura 4. Clasificación climática de Caldas – Lang.

2.1.2 Clima de Medellín, Departamento de Antioquia.

La latitud y altitud (6°13'55"N -75°34'05"O) de la ciudad dan como resultado un clima subtropical monzónico. El clima es templado y húmedo, con una temperatura promedio de 22°C. Cuenta con unas pocas variaciones de temperatura entre diciembre y enero y entre junio y julio, las temporadas más secas y cálidas del año.

Las temperaturas más altas oscilan entre 27°C y 31°C, con máxima absoluta de 33,2 °C. Las más bajas oscilan alrededor de 13°C y 15°C, con mínima absoluta de 10°C. La precipitación media anual es moderada: 1656 mm.

Por su ubicación entre montañas Medellín es una ciudad de vientos suaves y constantes. El régimen de vientos lo determinan los alisios dominantes del nordeste y las masas de aire cálido que suben desde los valles bajos de los ríos Cauca y Magdalena, con predominio de movimiento en la zona norte del valle lo que origina que el viento sople en dirección norte-sur.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.



Parámetros climáticos promedio de Medellín, Antioquia

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta (°C)	31.5	33	33.1	32.8	32.1	32	32	33.2	31.1	31.2	31	32.7	33.2
Temperatura máxima media (°C)	27.7	28	28	27.6	27.4	27.9	28.3	28.2	27.7	26.8	27	27.1	27.6
Temperatura media (°C)	22.6	21.9	22.8	22.6	21.5	22.4	21.9	21.7	22.8	22.5	22.7	23.4	22.4
Temperatura mínima media (°C)	16.7	16.9	17.2	17.4	17.3	17	16.5	16.6	16.5	16.6	16.9	16.7	16.9
Temperatura mínima absoluta (°C)	12.4	12.4	13	13.9	12.8	10.4	10	11.4	10.2	11.2	11.2	10.8	10
Lluvias (mm)	61.4	76.1	120.6	163.1	199.5	147.7	118.9	154	171.7	221	151.1	87.8	1672.9
Días de lluvias (≥ 1 mm)	12	13	17	21	24	18	16	20	22	25	21	15	224
Horas de sol	175.5	149	154.2	127.9	138.9	173	203.2	191.6	153.4	132.9	136.4	156.2	1892.2
Humedad relativa (%)	66	66	67	70	71	67	63	65	69	72	73	70	68.3

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES⁶⁰

Figura 5. Parámetros climáticos promedio de Medellín. Antioquia.

En general, el clima de la ciudad de Medellín es específico de las zonas tropicales, por esta razón “se caracteriza por contar con temperaturas medias altas, presentando variaciones poco acusadas día-noche y estacionales. La humedad es muy alta, frecuente nubosidad y fuertes precipitaciones irregulares. La radiación es relativamente difusa y los vientos muy variables, que fácilmente pueden ser huracanados”. (Serra y Coch, 1995. P. 201)

2.1.3 La Arquitectura del Clima Tropical.

En las zonas tropicales las temperaturas aunque altas, son más moderadas y más constantes que en las desérticas. Las nubes y la lluvia son frecuentes, sobre todo durante una parte del año con lo que la radiación, siempre intensa es mucho más difusa y la humedad es constantemente alta. (Serra. 1999)

La arquitectura popular de estos climas, se caracteriza por:

- ✓ La necesidad de una fuerte protección frente a la radiación solar directa y difusa (techos con voladizos amplios).
- ✓ Garantizar una buena ventilación diurna y nocturna.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

- ✓ Las edificaciones poco asentadas en el terreno favorecen la circulación del aire y en consecuencia, la disminución de la humedad, por esta razón es recomendable la construcción separada del terreno (palafitos) para obtener mayor exposición a las brisas.
- ✓ Las cubiertas y fachadas dobles (con cámara) y ventiladas ayudan a refrigerar el edificio.
- ✓ Es necesario favorecer la circulación del aire mediante vanos de ventilación (ventilación cruzada), o en diferentes plantas para favorecer el tiraje térmico.
- ✓ Las grandes alturas interiores permitirán la estratificación del aire caliente (mayor volumen).
- ✓ Es conveniente elegir colores claros y superficies rugosas en fachadas y cubiertas. (reflectancia y emisividad) (López de Asiain, 2003)



Figura 6. Estrategias pasivas para clima cálido.

2.1.4 Recorrido por la Casa Tradicional Colombiana.

En esta sección se establece un análisis de la arquitectura Colombiana, según las características climáticas de la región específicamente para el tema de la Vivienda Tradicional, ya que se observa que su arquitectura ha presentado diferentes características y formas de adaptarse al clima.

Es por esta variedad climática que se observa como sus pobladores han utilizado materiales autóctonos de la región para su construcción, especialmente se identifican estrategias en cuanto a forma y materialidad para la construcción de los techos según el clima.

2.1.4.1 Clima Cálido.

Alturas inferiores a 1.000 msnm, temperatura superior a 24 °C, cubre el 80% de la extensión del país. Las viviendas se caracterizan por que sus materiales de construcción son ligeros y la disposición de los espacios siempre está en búsqueda de aprovechar la ventilación natural, generar microclimas, techos altos (mayor volumen - flotabilidad), y adaptación al clima.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

2.1.4.1.1 La típica Casa Rural de Madera con Techo de Palma de la Región Caribe Colombiana.

Se observa que la vivienda afrocolombiana rural caribeña se realiza en madera con techos de palma lo que permite el paso del viento. Se sabe que a principios de siglo XX las viviendas eran sencillas construcciones de palma amarga, el techo y la armazón eran en caña de flecha armada con bejucos y las paredes se cubrían con caña de flecha y una mezcla de arena y estiércol de vaca. Figura 7. (Arango Escobar. 2010)

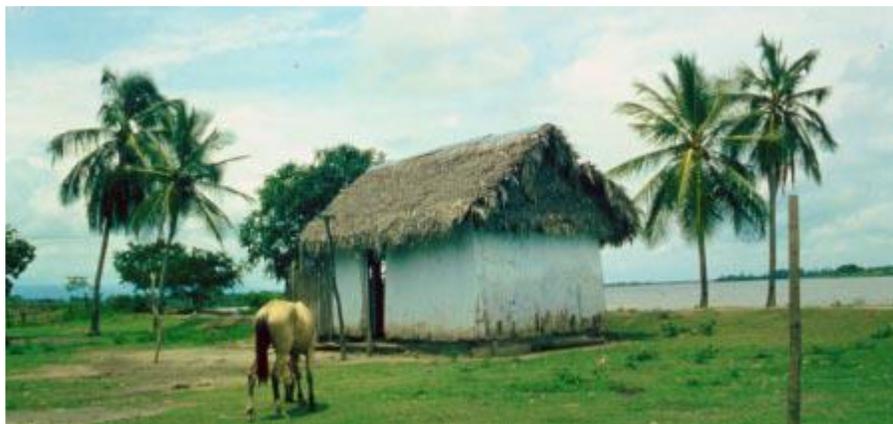


Figura 7. Vivienda típica rural de la Región Caribe Colombiana.

2.1.4.1.2 La Casa Urbana de la Región Caribe.

Esta casa de un piso de forma rectangular espacios interiores intercomunicados y patio solar posterior, posee techos altos que juegan con la pendiente para mejorar la ventilación, cubierta en teja española o pizarra. Se convirtió a comienzos del siglo XX en uno de los tipos de casa más popular de la Costa Caribe. La tipología varió mediante la adición al cuerpo principal de una edificación adicional en un costado del solar destinada a espacios de habitación en galería y áreas de servicios, configurándose así un patio solar que le provee a la vivienda un micro clima de frescura, vegetación y silencio conventual. Figura 8. (Arango Escobar. 2010)



Figura 8. Vivienda típica urbana de la Región Caribe.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

2.1.4.1.3 Casa de la Isla de San Andrés

Son casas en madera rectangulares, subidas en plataformas que están separadas del piso por pilotes de material, cuyo interior está dividido en dos estancias y un espacio superior o altillo. La cubierta es de pendiente pronunciada lo que hace que el techo tenga mucho protagonismo en la fachada, que genera a su vez sombra sobre los corredores y muros. El material de las cubiertas es en zinc u otro tipo de cubiertas laminares. Figura 9. (Arango Escobar. 2010)

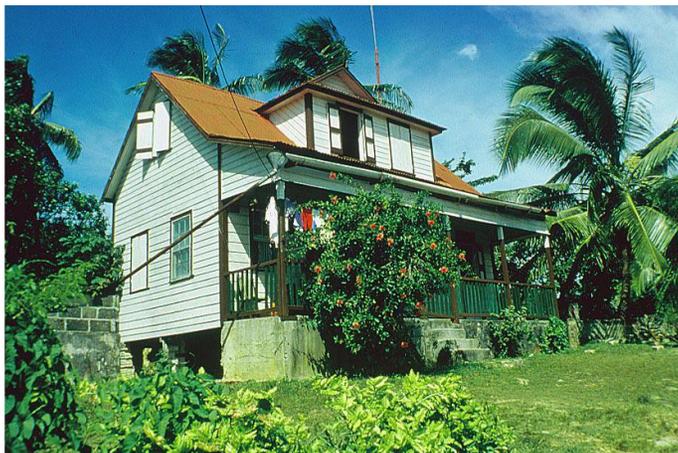


Figura 9. Vivienda típica de la Isla de San Andrés.

Como se describió al inicio del capítulo 2 el clima predominante del país es cálido, pero en algunas regiones encontramos un clima templado donde por sus características climáticas las especificaciones de materiales y formas de construir cambian, es por esta razón que queremos explicar cómo varían estos aspectos, comparados con el clima cálido.

2.1.4.2 Clima Templado

(Entre 1.000 y 2.000 msnm, temperatura entre 17 y 24 °C, corresponde al 10% del país). Los materiales de construcción ya no son ligeros, para este clima se busca utilizar materiales pesados que mejoren el aislamiento, como la estructura de madera y la teja de barro, se minimiza la ventilación en la cubierta. Además, se da mucha importancia al patio central, alrededor del cual se desarrolla toda la vivienda, entre sus beneficios está el microclima que genera, también se observan características típicas de la vivienda republicana.

2.1.4.2.1 Casa Andina de un piso.

Este modelo de vivienda se observa en climas fríos o templados, se trata de un esquema introvertido volcado hacia el patio, a él convergen los salones, habitaciones y demás dependencia de la casa.

Las cubiertas, generalmente son a dos aguas y trabajadas de barro cerámico, mientras al interior, los espacios se techan con una artesa que posee una armadura en madera, empleando el sistema de par y nudillo.

Esta forma de construir está influenciada por la arquitectura española donde el techo pasó de ser ligero, a un elemento pesado, construido con tejas y vigas macizas de madera apoyadas en los muros y formando una cubierta de 2 aguas. El resultado era de pobre ventilación ya que las tejas

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

no respiran y los muros de adobe no permiten grandes aberturas, sin embargo esto era compensado con su gran capacidad de aislamiento. Figura 10. (Arango Escobar. 2010)



Figura 10. Vivienda típica de la Región Andina, de un piso.

2.1.4.2.2 Casa andina de dos pisos

Esta vivienda es una evolución de la casa de patio de un piso, cuando la necesidad de dar un uso más eficiente de las áreas, al destinar el primer piso a la actividad comercial, aislándolo de la vivienda.

La característica formal de estas casas son los grandes alerones del techo, los balcones y ventanas en madera del segundo piso y la disposición de puertas en fila en el primer nivel, a lo que se añade en ocasiones ornamentos neoclásicos como comisas, dinteles etc. Figura 11. (Arango Escobar. 2010)



Figura 11. Vivienda típica de la Región Andina de dos pisos.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Después de realizar un breve recorrido por la vivienda típica Colombiana, podemos concluir que en todos los climas se busca responder a la necesidad de confort de las personas, se observa la búsqueda de materiales que permitan controlar los factores climáticos como el viento, la radiación solar y la lluvia, además de la tipología arquitectónica que busca desarrollar un programa que responda a la vida social y a la cultura de cada una de las regiones. En todas las viviendas podemos resaltar el uso de materiales adaptativos al techo, según sus necesidades notamos que en el clima cálido se optó por materiales ligeros como la paja o la teja de zinc, que permiten aprovechar mejor la ventilación natural, además de construir con pendientes considerables, buscando generar mayor volumen de aire y aumento de la flotabilidad. En cambio, en el clima templado se observa cómo se introduce la teja de barro y la estructura de madera, que permitió mayor aislamiento; y la construcción de grandes aleros, que generaron sombra sobre los muros. Es importante resaltar la influencia de la arquitectura española en esta última región.

Aunque no se observa la inclusión de algún elemento de cubierta ventilada, como sistema compuesto por dos pantallas, que introduce aire fresco, que desplace el aire caliente hacia el exterior, o del tipo catalana, si se aprovecha la ventilación a través de materiales ligeros y techos altos.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Capítulo 3. El techo y el clima.

Como se pudo observar en el capítulo anterior, existen diferentes formas de construir el techo variando su geometría y materiales de construcción según el clima, buscando con esto, mejorar las condiciones internas del espacio que cubren.

3.1.1 Definición de Techo.

Se nombra cubierta o techo a la superficie entramada que cierra una edificación por su parte superior, destinada a proteger su interior de los agentes climatológicos, proporcionando al mismo tiempo un aislamiento térmico y acústico. (Ramírez Guzmán. 2013)

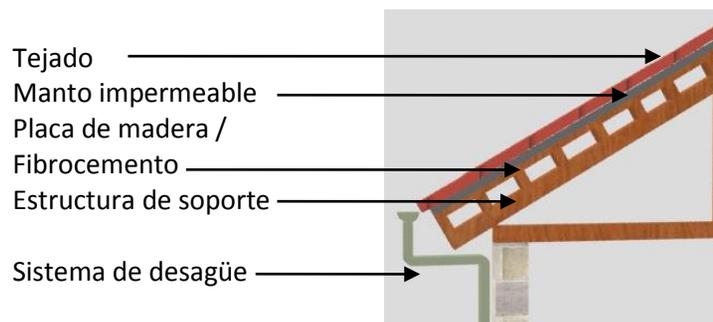


Figura 12. Esquema general de un techo. Fuente: Elaboración propia.

Elementos de una techo inclinado no transitable:

- ✓ Una estructura de soporte (geometría/pendiente) estructura de madera o metálica.
- ✓ Aislamiento térmico y acústico
- ✓ Una capa impermeabilizante (manto impermeabilizante o material bituminoso)
- ✓ Un tejado: en vivienda y pequeñas superficies encontramos cubiertas de materiales como: zinc (metálica), plástica, fibrocemento, tejas de barro (tipo española), shingle (placa asfáltica), y en grandes superficies encontramos: teja tipo standing seam (sandwich) con aislamiento térmico y acústico interior en poliuretano o lana mineral de roca, y en sus caras exteriores lámina de aluzinc, aluminio o acero galvanizado, pre-pintadas ambas caras con pintura tipo poliéster
- ✓ Un sistema de evacuación del agua : canoas y bajantes

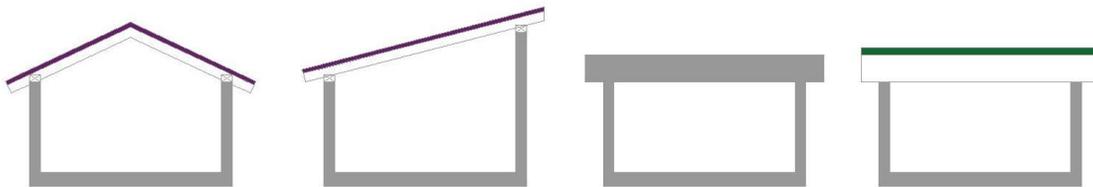
3.1.2 Tipologías de Techos.

Los techos se clasifican según su geometría en:

- ✓ Curvos. Estos se logran con tejas continuas de gran longitud, tipo Standing – Seam. Típicos de bodegas o grandes superficies.
- ✓ Inclinados (a un agua, a dos aguas o más). Típicas de viviendas y edificios pequeños.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

- ✓ Planos (losas de concreto reforzado) que pueden ser transitables, como las vegetales, o no transitable para uso restringido. Estas son más utilizadas en edificios en altura, ya que se utilizan como zona de almacenamiento de equipos.



Inclinada dos aguas – Inclinada un agua – Plana transitable – Plana vegetal

Figura 13. Tipologías de techos. Elaboración propia.

3.1.3 El Techo en el Clima Tropical.

El sol, las altas temperaturas, la lluvia y la excesiva humedad son características típicas del clima tropical. El exceso de sol genera la necesidad de buscar sombra y el exceso de lluvia da origen a las grandes cubiertas; ambas se convierten en elementos indispensables para la arquitectura tropical. La ventilación es una estrategia que permite alcanzar confort en el clima tropical, por lo que se convierte en una estrategia que el techo puede resolver con propiedad y eficiencia. Solo generar altura con el techo, amplía el volumen de aire cubierto, lo cual ayuda al confort. Las aberturas ubicadas estratégicamente permiten el movimiento del aire. La aceleración del movimiento del aire es otro recurso que ayuda a bajar la temperatura y la humedad. Para acelerar naturalmente el movimiento del aire se utilizan principios de la física usando pozos, inyectores, deflectores o del diseño específico de las vertientes del techo para beneficiarse de la dirección y velocidad del viento. (Stagno, 2004)

3.1.4 Tipologías de Techos en Colombia.

Según el Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NSR-10), en el título B “Cargas”, Capítulo B.3.4 Elemento No Estructurales, se identifican componentes para cielo raso y cubierta como: tejas, membranas impermeables, aislamientos térmicos, claraboyas, cielo raso, entre otros. En la siguiente tabla se pueden identificar, los materiales típicos de cubierta y cielo raso:

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

COMPONENTE	COMPONENTE
CUBIERTA	CIELO RASO
Cobre o latón	Canales Suspendidas de acero
Cubiertas aislantes	Ductos Mecánicos
Fibra de Vidrio	Entramado metálico suspendido afinado en cemento
Tablero de Fibra	Entramado metálico suspendido afinado en yeso
Perlita	Fibras Acústicas
Espuma de Poliestireno	Pañetes en yeso o concreto
Espuma de Poliuretano	Pañetes en entramado de madera
Cubiertas Corrugadas de Fibrocemento	Tableros de yeso
Entablado de Madera	Sistema de suspensión de madera
Láminas de Yeso, 12mm	
Madera Laminada (según el espesor)	
Membranas Impermeables	
Bituminosa, cubierta de grava	
Bituminosa, superficie lisa	
Líquido aplicado	
Tela Asfáltica de una capa	
Marquesinas, Marco Metálico, Vidrio de 10mm	
Tableros de fibra, 12mm	
Tableros de madera, 50mm	
Tableros de madera, 75mm	
Tablero metálico, calibre 20 (0.9 mm de espesor nominal)	
Tablero metálico, calibre 18 (1.2 mm de espesor nominal)	
Tablillas (Shingles) de fibrocemento	
Tablillas (Shingles) de asfalto	
Tablillas (Shingles) de madera	
Teja de arcilla, incluye mortero	

Figura 14. Tipología de cubierta y cielo raso.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

En la siguiente tabla se puede observar algunas tipologías de materiales para techos, algunos son naturales y otros son fabricados industrialmente.

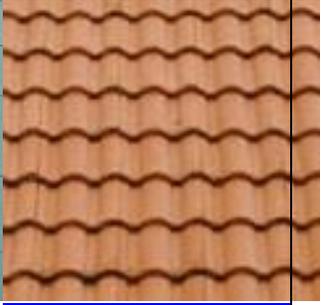
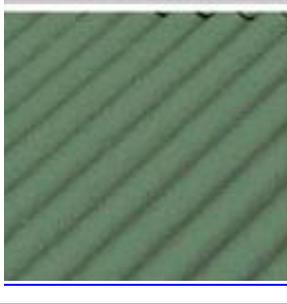
			
Paja	Guadua-Bahareque	Single	Arcilla
			
Zinc	Fibrocemento	Metálica	Standing - Seam

Figura 15. Algunas tipologías de cubiertas para techos.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

En esta tabla se presentan algunas tipologías de materiales para cielo falso y materiales tipo aislantes para formar multicapas, entre sí.

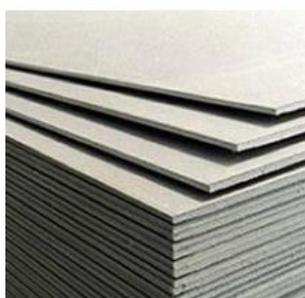
		
Tablero de Madera/ cielo falso	Placa de Yeso/ cielo falso	Placa de Fibrocemento/ cielo falso
		
Placa Poliestireno expandido/cielo falso	Lana Mineral/aislante	Fibra de vidrio/aislante

Figura 16. Algunas tipologías para cielos rasos y materiales aislantes.

En el caso de Antioquia, aproximadamente el 80% de los proyectos de Vivienda de Interés Social, que están en ejecución tiene una cubierta metálica + estructura metálica, el 18% teja tipo Eternit de fibrocemento + estructura metálica y el 2% restante cubierta tipo metálica de zinc. Esta última se utiliza en vivienda rural. (Fuente Empresa de vivienda de Antioquia VIVA).

La figura 17, muestra un esquema del sistema tradicional con el que se construye el techo en VIS, este sistema está conformado por una estructura metálica o de madera de soporte (alfardas, correas y cumbreras), una viga cinta perimetral al nivel de enrase del muro, en la que se embebe la estructura metálica y/o de madera y por ultimo una teja, que para este caso es metálica o de fibrocemento.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

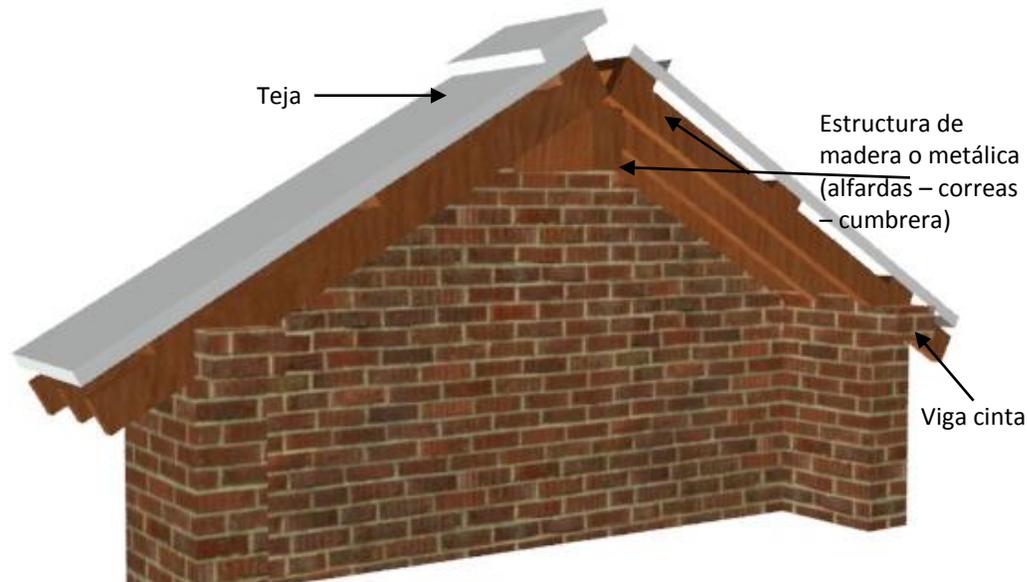


Figura 17. Esquema típico de estructura de techo para VIS. Elaboración propia.

La figura 18, muestra una vivienda tipo VIS de un piso ubicada en zona rural, construida con mampostería de bloque de concreto, su cubierta es tipo metálica, apoyada sobre una estructura metálica. No se observa ninguna abertura para ventilación de la cubierta.



Figura 18. Vivienda unifamiliar con techo de Teja Metálica.

En la figura 19, se observa una vivienda tipo VIS de un piso ubicada en zona rural, está construida en mampostería de ladrillo de arcilla, su cubierta es de fibrocemento, y está apoyada sobre una estructura de madera.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.



Figura 19. Vivienda unifamiliar con techo de Teja de Fibrocemento.

En la figura 20, se observa una agrupación de viviendas tipo VIS en altura ubicada en zona urbana, está construida en mampostería estructural, y su cubierta es una losa de concreto reforzada con acero y malla electro-soldada.

Igual que en las figuras anteriores, no se observan aberturas que incorporen ventilación al techo.

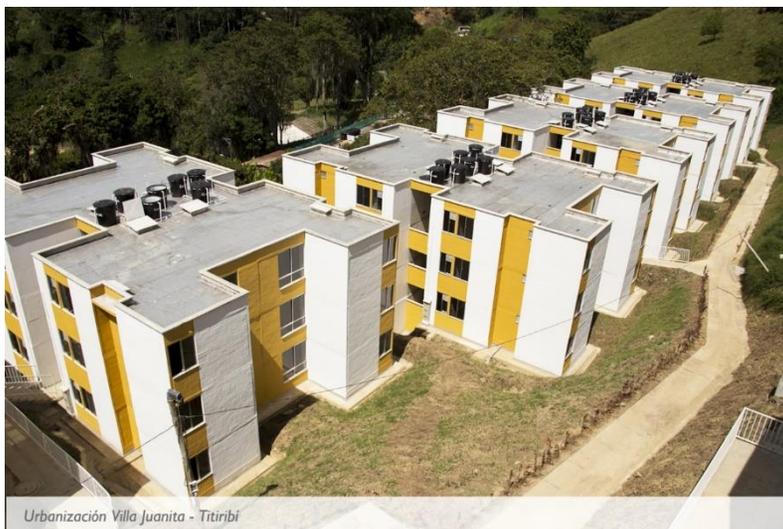


Figura 20. Vivienda multi-familiar con techo plano (losa de cubierta en concreto reforzado – (concreto + acero de refuerzo)).

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

En cuanto a la pendiente, la NSR-10 en el Título B, relaciona pendientes entre 0° y 45° : definiendo cálculos para: 7.5° , 15° , 22.5° , 30° , 37.5° y 45° pero las pendientes que más se utilizan en nuestro medio son:

- ✓ Entre 20% y 27% para cubiertas de zinc y tejas de fibro-cemento.
- ✓ Entre el 30% y el 60% para los diferentes tipos de teja de barro.
- ✓ Entre el 50% y 80% para techos de paja o palma.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Capítulo 4. Techo Ventilado.

La cubierta ventilada es una estrategia pasiva que se ha estudiado en los últimos años, buscando su implementación como una alternativa para minimizar la transferencia de calor a través del techo y así disminuir la demanda energética vinculada a sistemas de calefacción o refrigeración. En esta sección conoceremos su definición, tipología, antecedentes y comportamiento.

4.1.1 Techo Ventilado

Es un techo que está formado por dos paneles separados por una cámara de aire, en algunos casos la parte superior tiene la función de impermeabilizar (protección), mientras que la parte inferior tiene la misión de proporcionar el adecuado aislamiento térmico.

4.1.1.1 Tipos de Techos Ventilados

De acuerdo a la disposición de los elementos que conforman la cámara de aire en el techo ventilado se consideran tres tipos de ventilación: la micro-ventilación (circulación de aire entre el elemento de soporte y la placa externa, el espesor de vano es el mínimo que queda entre ambos elementos) figura 21; ventilación bajo revestimiento (capa de aire entre la placa interna y externa, donde se incorpora material aislante y se conforma un vano entre 3 y 4 cms., que permite un flujo continuo de aire) figura 22; ventilación bajo techo (cámara de aire ancha e irregular, conformada dentro de las pendientes de la cubierta y el elemento horizontal interior, en esta parte se adiciona material aislante) figura 23. (Escobar Ruiz. 2013)

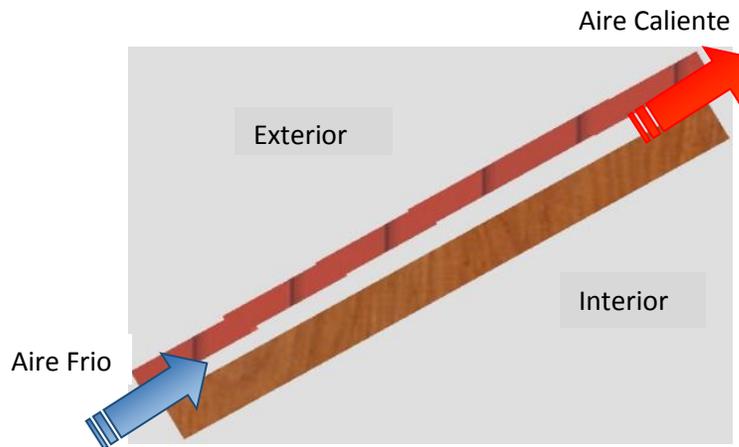


Figura 21. Micro-ventilación. Elaboración propia.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

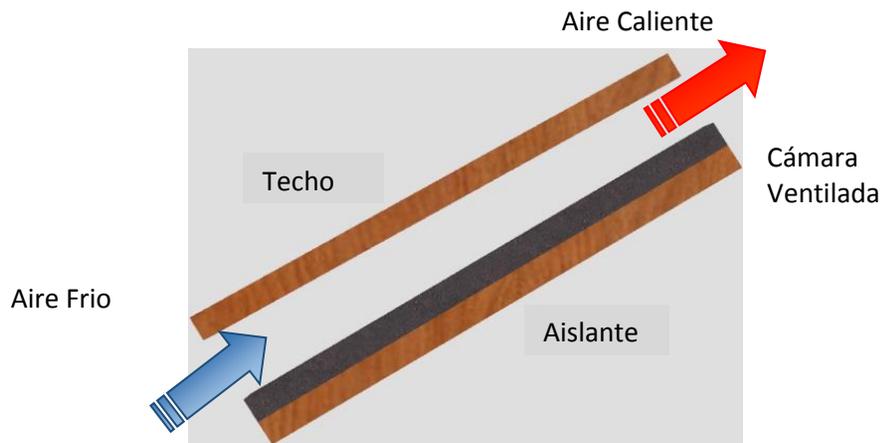


Figura 22. Ventilación bajo revestimiento. Elaboración propia.

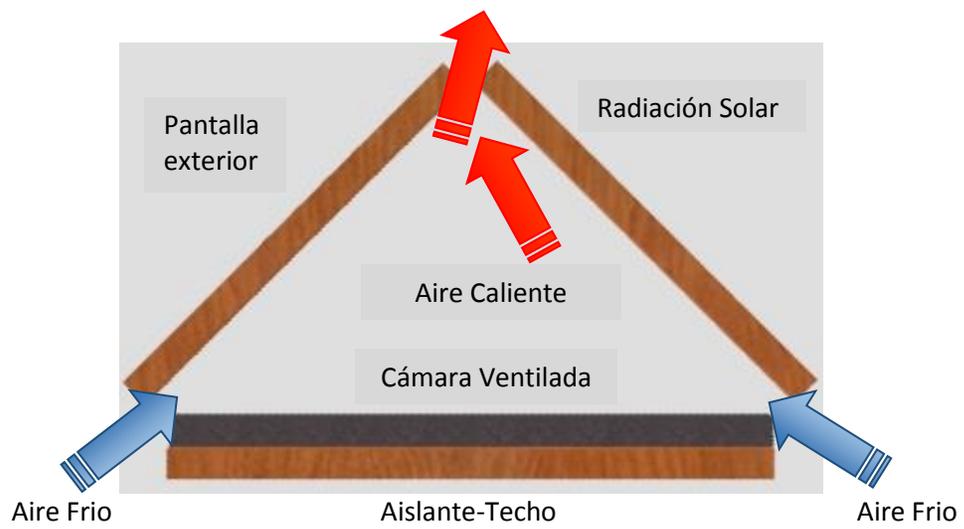


Figura 23. Ventilación bajo techo. Elaboración propia.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

4.1.2 Antecedentes del Techo Ventilado.

En la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX, se impuso en Barcelona una necesidad de resolver las dificultades constructivas que tenían en esa época, como el hecho de generar una “barrera” que aislara el interior del exterior y así dar mayor confort a sus ocupantes.

Es así como aparece el techo ventilado, que para la época ya era conocida como “cubierta a la catalana”. Esta estaba conformada por dos elementos, inicialmente de madera y posteriormente de perfilería metálica. El elemento en contacto con el interior del edificio era horizontal y “*los senos de los revoltones solían ser huecos. Al principio el tablero exterior se instalaba con una pendiente del 6% al 8% hacia el interior del edificio, según las ordenanzas municipales, y posteriormente con salida de aguas por el exterior de la fachada.* Figura 24.

La ventilación propiamente dicha se producía por la fachada y los patios interiores, creando así una circulación de aire que desecaba cualquier filtración que se produjera por el tablero. Figura 25. (Paricio Casademunt, 1998, P. 378)

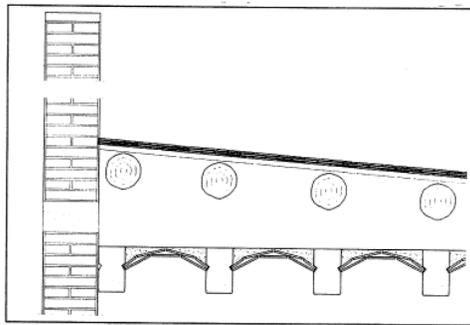


Figura 24. Interior de la cámara ventilada, en el techo.



Figura 25. Apariencia de los vanos para el ingreso de la ventilación a la cámara, sobre las fachadas.

A la fecha, se han desarrollado muchos sistemas para incorporar ventilación en las cubiertas, ya que algunas investigaciones han logrado demostrar que mejora el confort térmico al interior de las viviendas, en enero de 2015, investigadores de la Universitat Jaume I de Castellón desarrollaron, un sistema modular de ventilación para cubiertas inclinadas que resuelve el problema de la acumulación de calor por la radiación solar bajo los tejados sin necesidad de recurrir a sistemas de refrigeración.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

El módulo patentado está conformado por una estructura plana y alargada en forma de “U” invertida. Se pretende unir este elemento a la estructura existente del techo para crear un espacio vacío, por el que fluya el aire y así disminuir la transferencia de calor.

Para conformar un sistema, se unirían varios elementos como el descrito anteriormente que además dispone de aleros y cumbreras, todas estas con un espacio vacío en su interior que permitan el paso del aire. (García Esparza. 2015).

En Colombia encontramos piezas de tejas de fibrocemento para ventilación, figura 26, la primera es una teja para ventilación, que se puede instalar en cualquier parte del techo, preferiblemente en la parte inferior, por donde ingrese aire fresco que desplace el aire caliente; la segunda es una teja tipo caballete, para instalar en la parte superior del techo (cumbre) que sirve para extraer el aire caliente que por diferencia de temperatura asciende.

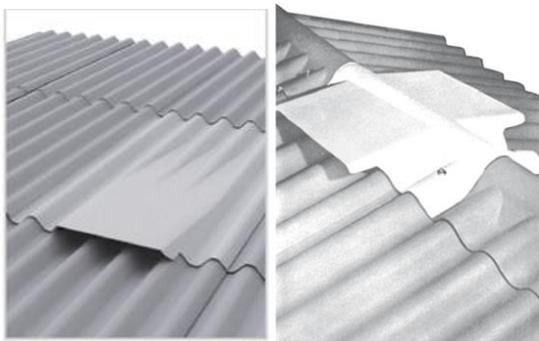


Figura 26. Teja para ventilación y Caballete de ventilación

4.1.3 Estrategias de protección térmica para techos en clima tropical.

En esta sección, se analizan algunas estrategias aplicables a los techos, en las que se puede incorporar además de ventilación otros parámetros que ya han sido estudiados como el cielo falso, la geometría y el tamaño de la cámara ventilada, todo esto con el fin de minimizar la transferencia de calor.

4.1.3.1 Cielo Falso o Cielorraso

Es un tablero horizontal, llamado “cielo falso” o cielorraso soportado en una estructura ligera que se instala a cierta distancia debajo del techo. Se utiliza para minimizar la altura de una habitación, ocultar instalaciones técnicas o disimular visualmente la cubierta original. (Osttuhen Díaz. 2012)

Generalmente, son prefabricados en materiales como: láminas de madera contrachapada, placas de yeso, placas de fibrocemento, lamina de poliestireno expandido, módulos metálicos, fibra de vidrio (tipo frescasa), lana mineral, estos últimos se encuentran comercialmente, en rollo, para sobre poner en el cielo falso, como aislante térmico y/o acústico.

En la Vivienda de Interés Social en Antioquia, no se utiliza cielo falso debido a los costos, por lo que la teja se instala directamente sobre la estructura metálica, dejando como material aislante solo la teja.

La técnica de incorporar el cielo raso o cielo falso como estrategia pasiva, aplica para el principio de convección de calor a través de los materiales. En el 2008, P.H. Biwole, M. Woloszyn y C.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Pompeo, realizaron un estudio en techos dobles donde añadieron una pantalla metálica sobre un techo existente, ellos comprobaron que el flujo de calor por convección alcanzando en el techo era 0.284 W para un aislamiento de 4 cm, 0.00007 para un aislamiento de 6 cm, y nulo para 10 cm de espesor.

Otro estudio realizado en 2008, por Galindo, Pérez y Benites, en la cual se construyeron prototipos de cubre-techos donde se observó la disminución de temperatura al variar el espesor del aislante, para este caso poliestireno expandido. Se pudo demostrar que para el caso base donde no se utilizó aislante pero existía un cubre-techo, se registró una diferencia de 8.5°C, esto comparado después con el prototipo donde el aislante tenía un espesor de 1" donde se disminuyó en 3.4°C, comparado con el prototipo sin aislante y de 3.2°C cuando el espesor era de 2".

La mayoría de los estudios realizados, coinciden en que el elemento más importante en la eficiencia de las cubiertas ventiladas es el material aislante, por ejemplo, Pilar de Zalazar, y Jacobo, concluyeron que *"la aislación térmica es necesaria, para que no existan riesgos de condensaciones superficiales"*. Y que influye de manera clara la ubicación de esta en el sistema constructivo, por debajo de la cámara funciona mejor. Además demostraron, un óptimo comportamiento térmico de los techos con cámaras muy ventiladas. (Pilar de Zalazar, Claudia A. - Jacobo, Guillermo José. 2003. Pág. 3)

4.1.3.2 La Ventilación de la Cámara

El aire es un buen disipador de las temperaturas, siempre que pueda ser renovado constantemente, esto es importante para que la cámara mantenga temperaturas interiores cercanas o iguales a las exteriores, ya que es necesario eliminar el excedente de flujo de calor que es irradiado desde el techo. Se observa que en la mayoría de los estudios realizados se comparte la ineficiencia del sistema cuando la cámara no está ventilada, además de la incidencia de las dimensiones y la forma de la cámara, ya que el comportamiento del flujo de calor a causa de los procesos convectivos y radiativos varían, por lo que contribuyen a la transmisión de calor por toda la superficie aumentando las temperaturas gradualmente ya que el calor se acumula, al no ser expulsado fuera de la cámara. (Escobar Ruiz. 2013)

Para mejorar los beneficios que brinda la cámara ventilada, es importante tener en cuenta:

4.1.3.3 Material de Acabado Radiante

El efecto de transmisión de calor por radiación dentro de las cámaras de aire se puede reducir aplicando sobre una o ambas caras, materiales de bajo poder de emisión y de elevado poder reflectivo, como por ejemplo pinturas reflectivas, o instalar materiales metálicos pulidos que sean reflectivos.

Comúnmente los materiales con los que se construyen los techos inclinados son de colores oscuros. Por lo tanto, su tendencia a absorber la radiación solar es mayor es por esta razón que su temperatura aumenta mucho con respecto a la del aire exterior. Las láminas metálicas de acero galvanizado o aluminio pierden gran parte de sus propiedades reflectivas con el tiempo y por lo tanto se calientan de igual manera (conducción). Al ser estas superficies muy delgadas y tener una alta conductividad térmica, la temperatura de la cara interior se eleva al mismo nivel que la cara exterior, este calor se transfiere a la segunda hoja de la cubierta calentando el aire de la cavidad y reemitiendo energía de onda larga. Al elevarse la temperatura de la cámara de aire de la cubierta ventilada se aumenta el efecto térmico de ventilación y por tanto el nivel de intercambio de aire

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

con el exterior. Este efecto depende en gran medida de los materiales y color de la hoja exterior. (Violeta Escobar Ruiz. 2013)

En el 2008, P.H. Biwole, M. Woloszyn y C. Pompeo, demostraron en su estudio una reducción de hasta el 50% (54,2 a 27,97 W) del flujo de calor, en la pantalla metálica interna de la cámara, debido a su emisividad (hoja metálica), por lo tanto se determina que la superficie más importante para reducir el flujo de calor es la pantalla interna, teniendo en cuenta que debe de contar con propiedades de emisividad; para el estudio mencionado era una hoja de metal.

Adicionalmente se conoce que Givoni y Hoffman, estudiaron ampliamente el tema del color en los techos, en un estudio realizado en 1968 en el Technion en Haifa, Israel, con modelos ligeros (paneles tipo sándwiches de madera contrachapada/poliestireno), se registró una temperatura máxima del aire cercana a los 27°C y la temperatura media máxima de la superficie externa estaba a alrededor de 27.5°C. Las temperaturas máximas del techo fueron cercanas a los 25,5°C; una reducción de hasta 2°C, cuando el color de acabado era blanco; aunque es importante resaltar que el espesor del techo también influye.

4.1.3.4 Tamaño de la Abertura de la Cámara.

En cuanto al tamaño de la cavidad se puede definir que el flujo de aire es proporcional al tamaño de la cavidad, debido a la disminución de fricción del aire con las paredes. Pero se debe de tener en cuenta otros factores, como por ejemplo las propiedades de los materiales de la cubierta, tales como: la emisividad y el aislamiento de la capa interior.

En 2007, Chang, Chiang, Lai, encontraron que la velocidad del aire al interior de la cámara y el flujo de calor a través de la cubierta varían con respecto a la inclinación del techo; siempre que el ángulo de inclinación aumenta, el flujo de calor en el interior también disminuirá, debido a que aumenta la fuerza de flotabilidad. Además probaron que cuando la distancia entre las paredes de la cavidad ventilada es inferior a 5cm el flujo de aire al interior de la cámara aumenta, provocando que las turbulencias aparezcan rápidamente, incrementando la transmisión de calor al interior del espacio.

En otros estudios, P.H. Biwole, M. Woloszyn y C. Pompeo (2008), demostraron que el espesor del material aislante influye en el comportamiento del flujo de calor al interior de la cavidad, ya que encontraron que la pérdida de calor a través del techo fue de 10W/cm, cuando se aumentó el espesor del aislamiento, y solo de 0.8W/cm cuando se aumentó el ancho de la cavidad. Por lo tanto, se podría decir que es mejor aumentar el espesor del aislamiento que aumentar el ancho de la cavidad.

Adicionalmente es importante resaltar, que este tipo de cubiertas debe de tener una abertura de entrada y otra de salida, que por diferencia de temperaturas, la entrada está por debajo del nivel de la de salida, cuando el área de abertura de entrada y salida son iguales o las de entrada son ligeramente menores a las de salida se obtienen mayores flujos de aire y mayores velocidades de aire interior. (Yarke. 2005)

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Algunos métodos de cálculo empíricos para dimensionar aberturas, son:

Método	Características de abertura	Fuerzas de flujo
The Florida Solar Energy Centre Method I	Considera abertura de entrada igual la de salida. Calcula el área de abertura bruta. Considera aberturas con mosquiteros	Considera solo el efecto del viento. Propone correcciones para orientación del viento, tipo de terreno, edificios vecinos y altura de aberturas
The Florida Solar Energy Centre Method II	Considera áreas de aberturas desiguales. Calcula el área efectiva de ventana. Propone una metodología para tener en cuenta el efecto de mosquiteros y porosidad de ventanas	Considera solo el efecto del viento. Toma en cuenta los coeficientes de presión debido al viento. Propone correcciones para edificios vecinos y la altura de las aberturas
The ASHRAE Method	Considera áreas de aberturas desiguales. Propone un coeficiente para considerar la efectividad de la abertura en función del ángulo de incidencia del viento	Considera el efecto del viento o la temperatura. No considera el efecto combinados de ambos
The Aynsley Method	Considera aberturas desiguales	Considera solo el efecto del viento. Toma los coeficientes debido al viento
The British Standard Method	Considera aberturas desiguales	Considera tanto el efecto del viento como el de la temperatura. Propone criterios para el efecto combinado (solo para el cálculo de caudales de aire).

Tabla 1. Métodos de cálculo empíricos para dimensionamiento de aberturas.

4.1.3.5 Forma del Techo

Un techo plano o uno con una pendiente menor a 15° tiene presiones negativas sobre toda su superficie, independiente del ángulo de incidencia del viento. Cualquier abertura ubicada en estos tipos de techos experimentará una succión y funcionaran como aberturas de salida. Los techos que tengan una inclinación superior a los 15°, tendrán presiones positivas (zona a favor del viento). Los techos a dos aguas con inclinaciones menores a 21° estarán bajo presiones negativas (zona de succión) sobre el total de su superficie. (Yarke. 2005)

Con respecto a esto, Lee, Park, Yeo y Kim, demostraron en su estudio de techos ventilados en 2008, que cuando el techo estaba en un ángulo de 0°, la temperatura de la cavidad era de 65°C, sin embargo cuando se aumentó la pendiente del techo, a 55° la temperatura descendió a 40.3°C, 24.7°C menos; además aumento la velocidad del flujo del aire, debido al efecto de la fuerza de la flotabilidad

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

4.1.3.6 Orientación con Respecto a Vientos Dominantes

No se puede negar que la acción del viento es fundamental en el comportamiento del aire al interior de la cámara, pero son pocos los estudios que se han realizado en cubiertas ventiladas que registren la eficiencia del sistema por este motivo. Esto debido a que el viento es muy variable durante el día, por lo tanto se dificulta su inclusión en la elaboración de modelos matemáticos o simulaciones, a través de software, para la predicción del comportamiento de fluidos.

Por un lado el viento puede generar ventilación forzada en la cámara de la cubierta he incrementar de forma exponencial el flujo de aire que permitirá evacuar mayor cantidad de energía de la cubierta. Y por otro, puede generar turbulencias que dificulten el flujo del aire por la cavidad. (Violeta Escobar Ruiz. 2013.)

En 2005, Černea y Medved, demostraron que la velocidad del viento tiene una gran influencia sobre la carga térmica de los edificios, que se reduce en un 50% cuando la velocidad del este aumenta desde 0.5 a 4m/s.

4.1.3.7 Techos Fríos o “Cool Roof”

“A Cool Roof” es un sistema de cubierta capaz de reflejar la radiación solar y mantener la superficie del techo fría bajo el sol. Esto es debido a las propiedades reflectantes y de emisividad de los materiales utilizados que reflejan la radiación solar de vuelta a la atmósfera. A medida que el techo permanece más fresco se reduce la cantidad de calor transferido al edificio. Los materiales utilizados en este tipo de sistema tienen niveles de reflectancia que van de 0.74 a 0.80 mientras que su emisividad infrarroja es de 0.9 para todos los casos.

Como ente promotor de “Cool Roof” encontramos al *European Cool Roof Project*, quien llevo a cabo cinco estudios de caso, para demostrar la eficiencia de este sistema para disminuir la transferencia de calor.

Las conclusiones de los estudios de caso muestran 10-40% de ahorro de energía y 1,5 a 2°C de reducción de las temperaturas interiores, dependiendo de las condiciones climáticas.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

A manera de conclusión, se puede decir que para evaluar el funcionamiento de una cubierta ventilada es importante tener en cuenta las siguientes variables:

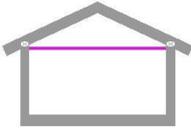
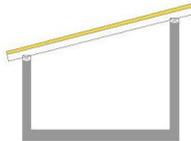
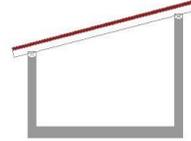
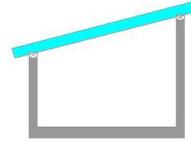
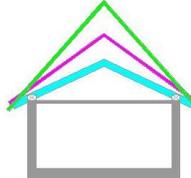
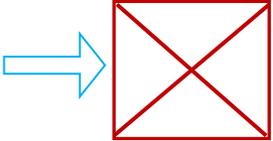
VARIABLE		OBSERVACIONES
Cielo Falso (aislante)		Minimiza la transferencia de calor al interior Varía la temperatura y velocidad del aire al interior de la cámara que conforma
Material reflectante		Refleja radiación al cielo – menor paso de calor al interior
Emisividad del material		Emite calor al interior de la cámara – aumento de la temperatura del aire
Tamaño de la abertura		Variación en la velocidad y fricción del viento
Inclinación		Menor inclinación – mayor incidencia de radiación solar Mayor inclinación – mayor volumen de aire – incremento de la fuerza de flotabilidad
Orientación con respecto al viento dominante		En presencia de ventilación - Inducción forzada de ventilación a la cámara En ausencia – varía la efectividad de la estrategia

Tabla 2. Variables para análisis de cubiertas ventiladas. Elaboración propia.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Capítulo 5. Descripción del Estudio.

5.1.1 Tipología de Vivienda a Simular.

Debido a que este trabajo pretende evaluar el desempeño energético de la vivienda en un clima tropical, ubicado en la latitud 6°25N y altitud -75°58E; al incorporar ventilación en cubierta. Específicamente en la vivienda de interés social, es importante contextualizar el tema, en cuanto a algunos aspectos como: área de construcción definida por norma para el tema de las VIP, y material de construcción para cubierta más empleado en Colombia.

Según el artículo 44 de la Ley 9ª de 1989, modificado por el artículo 91 de la Ley 388 de 1997, "Se entiende por vivienda de interés social, aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos". Además, según los Derechos Humanos de las Naciones Unidas, "hace parte de los derechos humanos acceder y mantener un hogar y una comunidad, seguros de que pueden vivir con paz y dignidad. Por tal motivo toda vivienda debe considerar:

- ✓ Un área adecuada para dormir.
- ✓ Una unidad sanitaria.
- ✓ Una zona de lavado, secado y planchado de ropa.
- ✓ Una unidad de alimentación, para el procesamiento y consumo de los alimentos".

Considerando el Decreto Número (2060) del 24 de junio de 2004, las áreas mínimas de lote para Vivienda de Interés Social tipo 1 y 2 en Colombia, son:

Tipo de vivienda	Lote mínimo	Frente mínimo	Aislamiento posterior
Vivienda unifamiliar	35m2	3.50m2	2.00m2
Vivienda bifamiliar	70m2	7.00m2	2.00m2
Vivienda multifamiliar	120m2	-	-

Tabla 3. Áreas para construcción de vivienda de interés social.

En Colombia se identifican dos tipologías de Vivienda Social, que están definidas por su costo; encontramos entonces: la Vivienda De Interés Social VIS, cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 smlv); y la Vivienda De Interés Prioritario VIP, cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 smlv).

Para las simulaciones del caso base, se tendrá como tipología la siguiente vivienda:

Vivienda unifamiliar de 1 piso con un área construida de 46.22m², cumpliendo así con la norma establecida para vivienda tipo VIP, tabla 3. Se propone en mampostería estructural con ladrillo de arcilla de 12cm de espesor acabado a la vista; el piso es una losa de concreto pulido de 30cm de espesor; las puertas son en madera, las ventanas con marco en madera y vidrio simple, el techo es una estructura metálica, con pendiente de 30%. El nivel de enrase es de 2.5m.

Con estas especificaciones la carga térmica a través de paredes y piso será la misma para todas las simulaciones, la variable para realizar la comparación será el material de la teja, el cielo falso, la inclinación y la incorporación de ventilación al techo.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Adicionalmente se propone la orientación norte-sur, con la fachada principal en orientación norte, que para este tipo de clima es favorable.

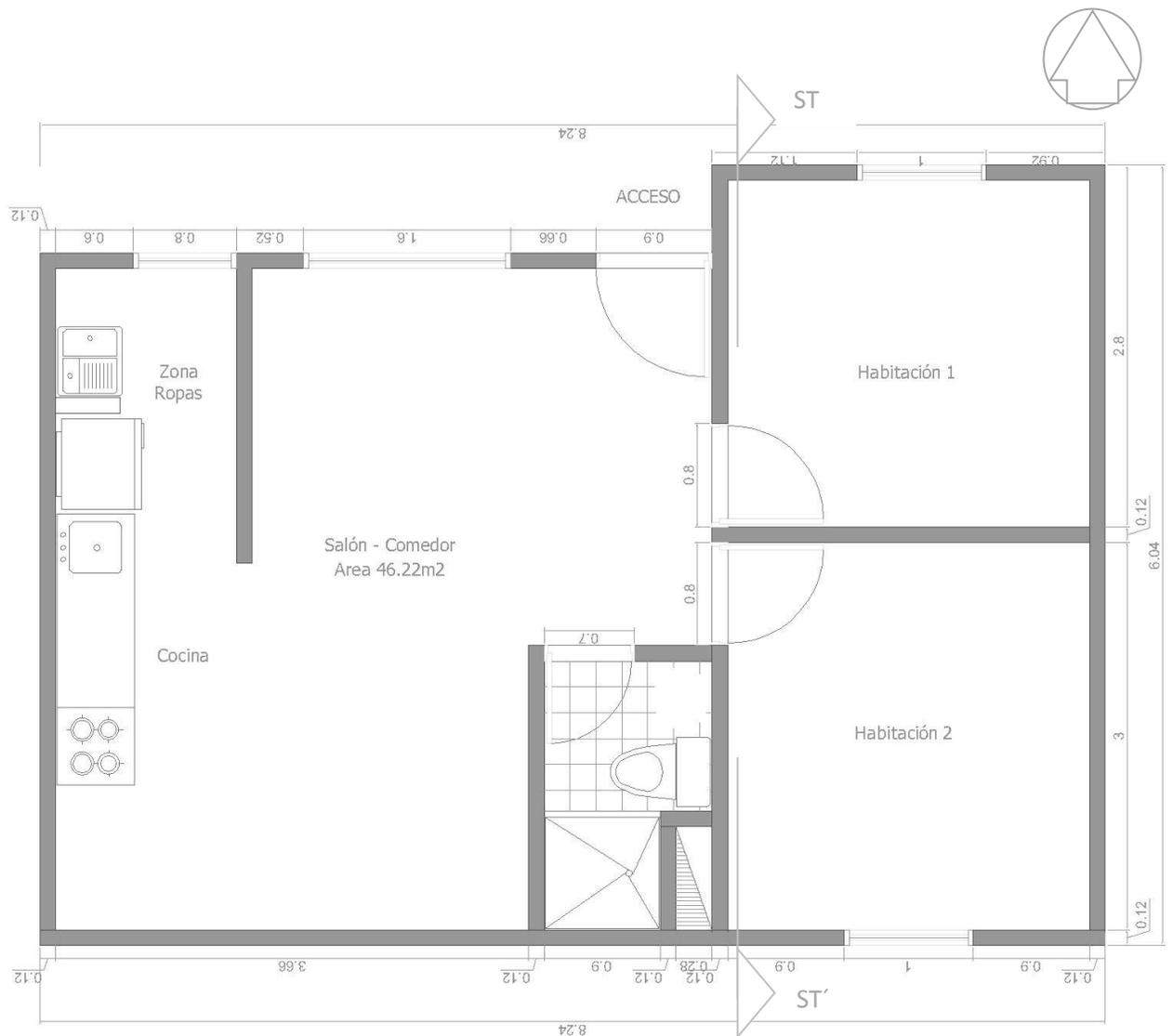


Figura 27. Planta arquitectónica. Vivienda Unifamiliar.
Área. 46.22m². Sin escala. Elaboración propia.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

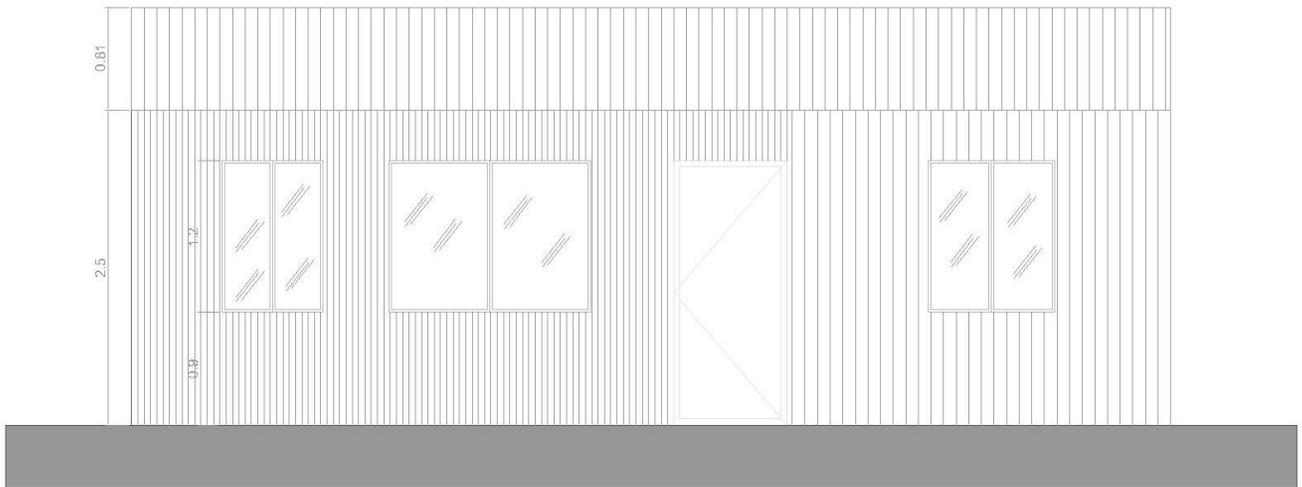


Figura 28. Fachada Principal. Vivienda Unifamiliar
Sin escala. Elaboración propia.

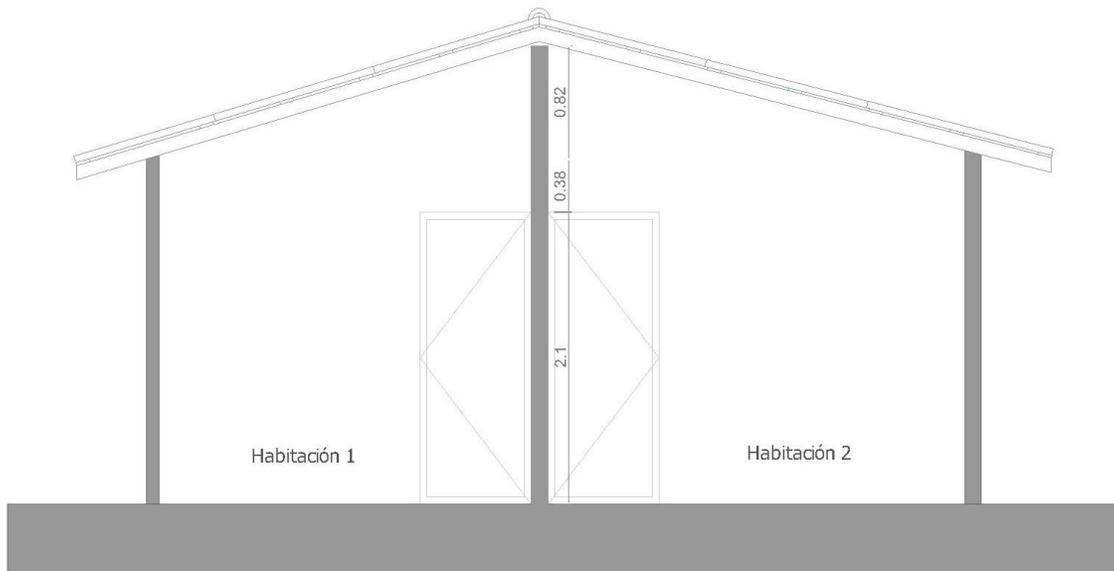


Figura 29. Sección Transversal ST-ST'. Vivienda Unifamiliar
Sin escala. Elaboración propia.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Para las simulaciones se utilizan las dos tipologías de tejas más utilizadas en la construcción de Vivienda de Interés Social en Antioquia, que según la Empresa de Vivienda de Antioquia VIVA, está conformado por: estructura metálica con teja de Fibrocemento; espesor 6mm y teja Metálica, calibre 24 (6mm), además el rango de pendiente es entre 20% y 80%, se pretende realizar las simulaciones para estas dos tipologías de cubierta, variando la inclinación del techo entre 20%, 30% y 45%.

MATERIAL TEJA	ESPESOR	DENSIDAD (KG/M2)	CONDUCTIVIDAD (W/M°C)	CALOR ESPECIFICO (J/KG.°C)
FIBROCEMENTO	6mm	1480	0.35	1250
METALICA	6mm	2700	204	896

Fuente TAS

Adicionalmente se consideran otras variables como:

La sección de la abertura para ventilar la cámara. Para este estudio se realiza el cálculo para dimensionar el área mínima de la abertura, para ventilación con el método ASHRAE, que tiene la siguiente formula:

$$A=Q/(E \cdot W)$$

Donde:

A, es el área libre de la abertura (m²)

Q, es el caudal de aire de diseño (m³/s)

E, es la efectividad de la abertura

W, es la velocidad del viento (m/s)

Asimismo: Q = Volumen*N (renovaciones de aire)

$$Q= 115.55\text{m}^3 \cdot 4 = 462.2\text{m}^3/\text{h} = 1.28\text{m}^3/\text{s}$$

Y el parámetro E se toma entre 0.5 y 0.6 para vientos perpendiculares, para este caso el valor es de 0.5.

$$A=1.28\text{m}^3/\text{s} / (0.5 \cdot 3.33\text{m}/\text{s})$$

$$A=0.45\text{m}^2$$

Para este estudio, se utiliza una abertura de entrada y otra de salida de 20x20cm, ubicada en el frontón de la vivienda.

Además, se introduce a las simulaciones, el cielo falso (material aislante), que para este estudio será:

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

MATERIAL CIELO FALSO	ESPESOR	DENSIDAD (KG/M2)	CONDUCTIVIDAD (W/M°C)	CALOR ESPECIFICO (J/KG.°C)
POLIESTIRENO EXPANDIDO	2cm	16	0.04	1210
PANELES DE YESO CARTÓN	1cm	1200	0.42	834
FIBRA DE VIDRIO	8cm	12	0.04	833

Fuente TAS

Las simulaciones se realizaran a través del software, EDSL TAS Thermal Analysis Simulation. Que permite realizar simulaciones térmicas dinámicas y conocer con precisión el consumo de energía. Para este estudio nos interesa conocer la demanda de energía para refrigeración, ya que nos encontramos en un clima tropical y se tendrá como periodo de consumo un año de 365 días.

5.1.2 Descripción de las Simulaciones

Se inician las simulaciones evaluando la demanda energética vinculada a la refrigeración del caso base, donde se compara el uso de teja de fibrocemento (alternativa 1) y teja metálica (alternativa 2) figura 30. En este caso solo se agrega la variable de geometría, dándole una pendiente intermedia del 30%, se considera para la altura del techo 0.81m, sobre el nivel de enrase de 2.5m, para una altura total de 3.31m.

Con el fin de disminuir las ganancias de calor a través del techo, se incorpora a las simulaciones otras variables, con las que se pretende disminuir la demanda energética, estas son: cielo falso con materiales aislantes que minimicen el efecto de convección a través de los materiales, la variación de la pendiente con el fin de crear mayor volumen que incremente la fuerza de flotabilidad y permita el ascenso del calor; la incorporación de ventilación a través de vanos de entrada y de salida en los frontones del techo, como medio para desplazar el calor hacia el exterior y aplicar alta y baja emisividad externa al material de acabado de la teja, con el fin de disminuir la emisión de calor al interior.

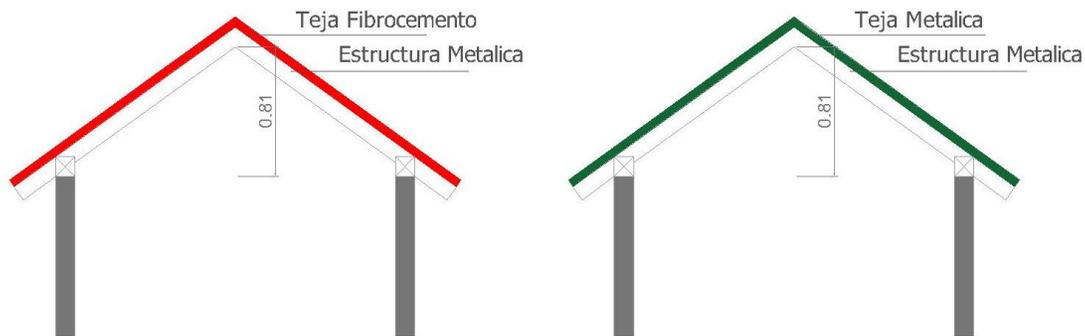


Figura 30. Alternativa 1 y Alternativa 2. Pendiente del techo del 30%.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

5.1.3 Descripción de las Alternativas 3 y 4.

Se utiliza teja de fibrocemento de 6mm, se incorpora cielo falso en poliestireno expandido, de 2cm de espesor, se generan tres simulaciones en las que se varia la pendiente del techo, estas son: inclinación de 20% altura desde el nivel de enrase de 0.55m, para una altura total del techo de 3.05m figura 31, inclinación de 30% altura desde el nivel de enrase de 0.81m, para una altura total de 3.31m figura 32, e inclinación de 45% altura desde el nivel de enrase de 1.25m, para una altura total de 3.75m figura 33. Además se incorpora ventilación a través de dos vanos, uno de entrada y otro de salida, de 20x20cms, en el frontón de la vivienda. Esta simulación se repite, variando el cielo falso, este se cambia por paneles de yeso cartón de 1cm más fibra de vidrio de 8cm de espesor.

Como en la revisión bibliográfica se encontraron aportes de mejora utilizando la emisividad del material de acabado de la teja, se decide utilizar esta variable de forma desfavorable en la simulación en la que se incorpora ventilación, es decir, cuando la simulación incluye ventilación el material para la teja se modifica, y se le aplica una alta emisividad externa de 0.9, para evaluar cuanto puede influir esta propiedad en los resultados, ya que varios estudios han demostrado que un material con alta emisividad, emite mayor cantidad de calor al interior del espacio. En el caso en el que no se incorpora ventilación, se aplica una baja emisividad externa de 0.22, con el fin de que el material de acabado emita menor cantidad de calor.

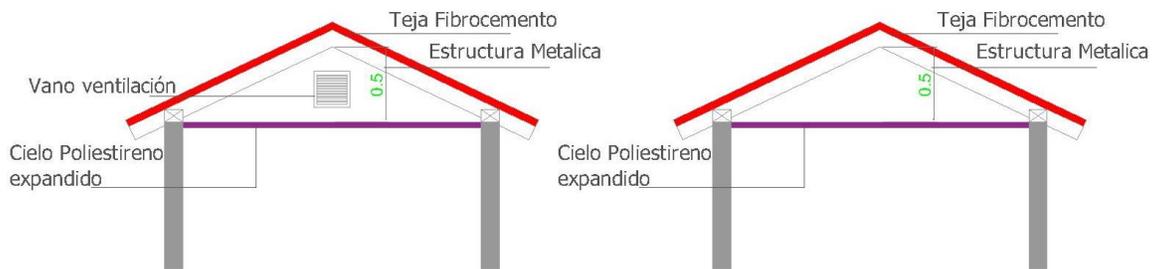


Figura 31. Alternativa 3a. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%

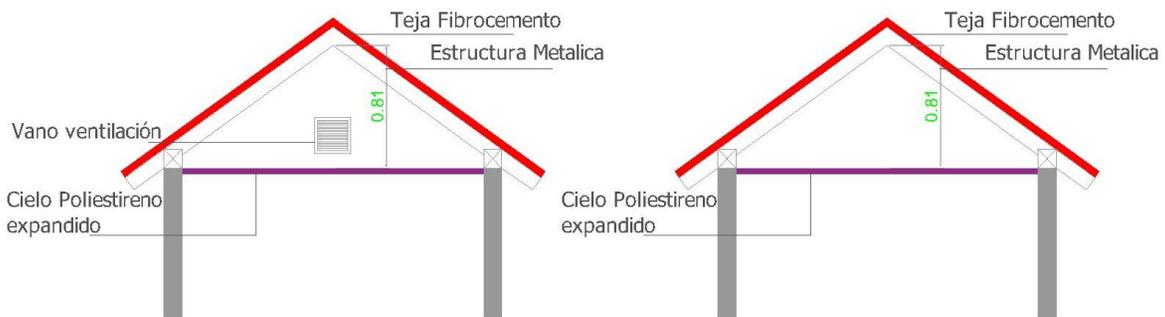


Figura 32. Alternativa 3b. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

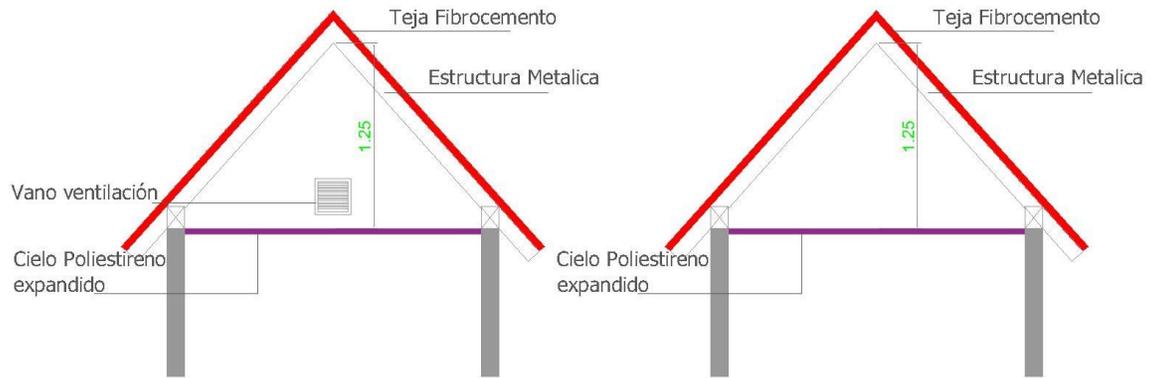


Figura 33. Alternativa 3c. Cielo Poliéstireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%

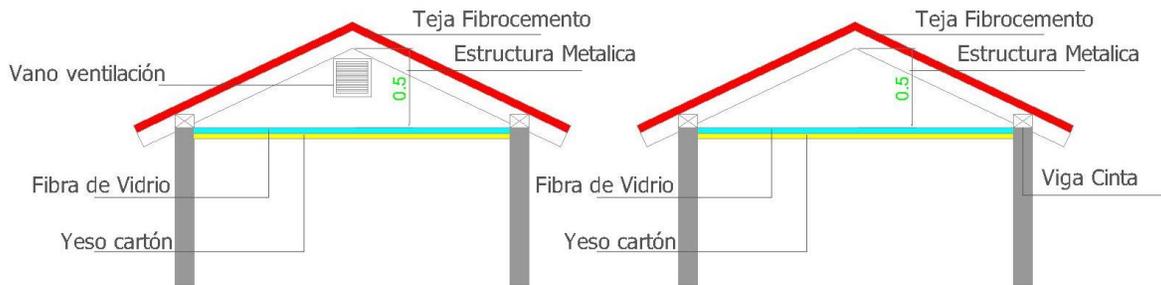


Figura 34. Alternativa 4a. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%

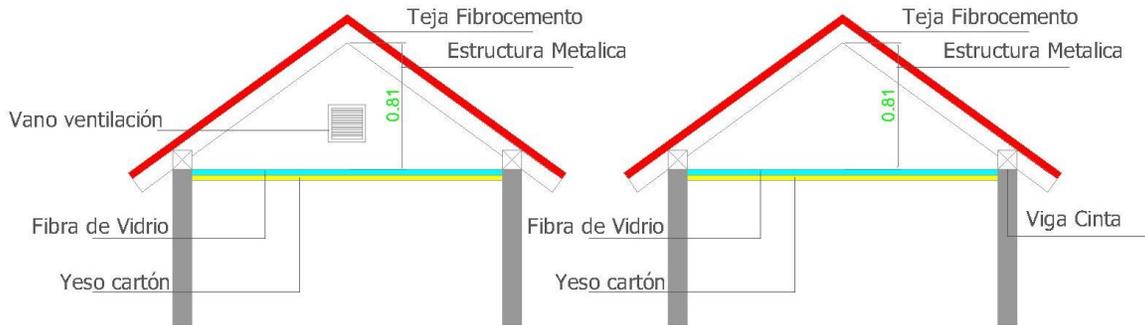


Figura 35. Alternativa 4b. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

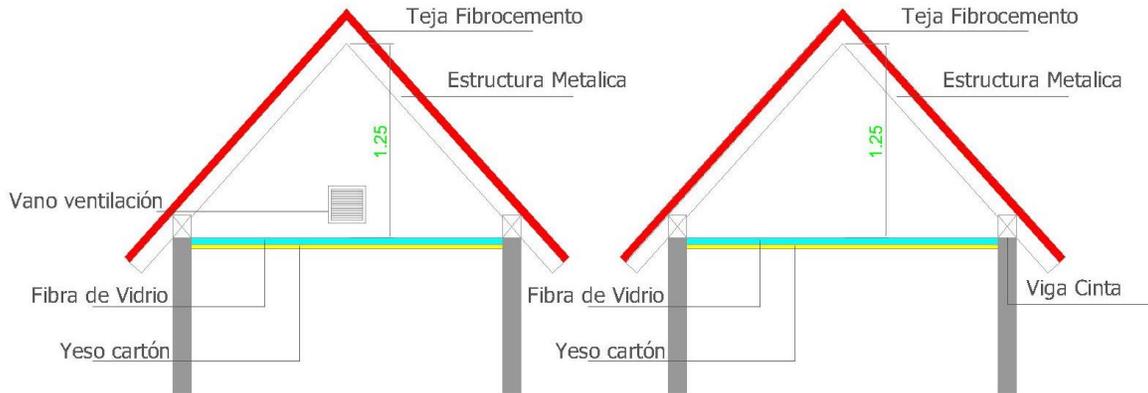


Figura 36. Alternativa 4c. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%

5.1.4 Descripción de las Alternativas 5 y 6.

Se utiliza teja metálica calibre 24 (6mm), al igual que la alternativa 3 Y 4 se incorpora cielo falso en poliestireno expandido, de 2cm de espesor y se generan tres simulaciones en las que se varia la pendiente del techo, estas son: inclinación de 20% altura desde el nivel de enrase de 0.55m, para una altura total del techo de 3.05m figura 34, inclinación de 30% altura desde el nivel de enrase de 0.81m, para una altura total de 3.31m figura 35, e inclinación de 45% altura desde el nivel de enrase de 1.25m, para una altura total de 3.75m figura 36. Además se incorpora ventilación a través de dos vanos, uno de entrada y otro de salida, de 20x20cms, en el frontón de la vivienda. Esta simulación se repite, variando el cielo falso, este se cambia por paneles de yeso cartón de 1cm más fibra de vidrio de 8cm de espesor.

Al igual que en la alternativa 3 Y 4, se utiliza la emisividad del material de acabado de la teja, como variable desfavorable en la simulación en la que se incorpora ventilación. En este caso, la emisividad natural de la teja metálica es baja, por lo tanto se modifican sus valores, con el fin de obtener una alta emisividad, cuando el techo esta ventilado.

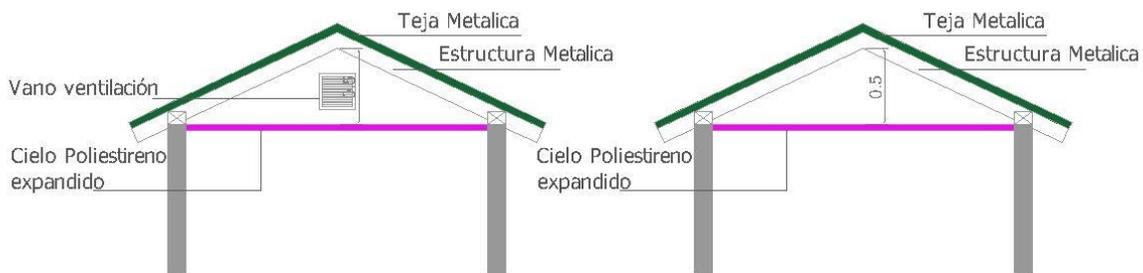


Figura 37. Alternativa 5a. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

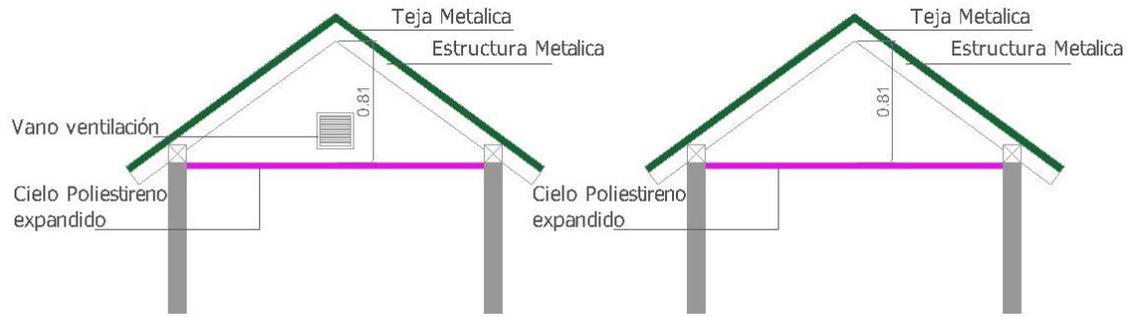


Figura 38. Alternativa 5b. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%

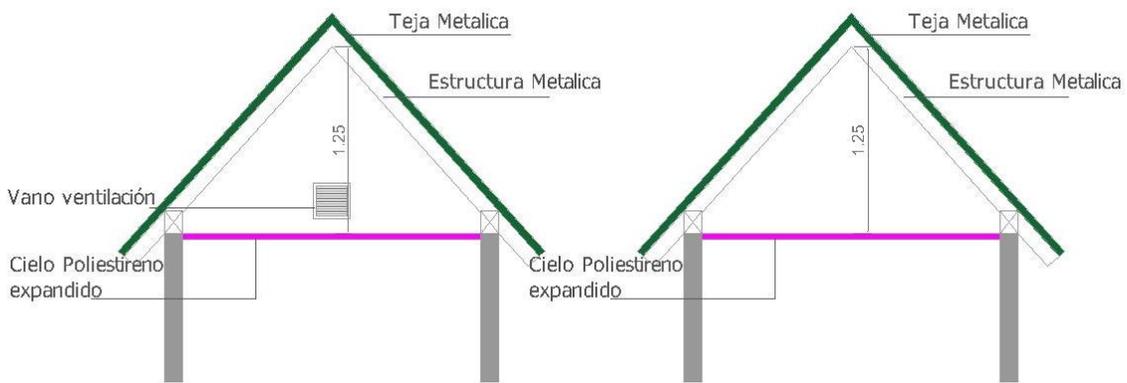


Figura 39. Alternativa 5c. Cielo Poliestireno expandido. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%



Figura 40. Alternativa 6a. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 20%

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

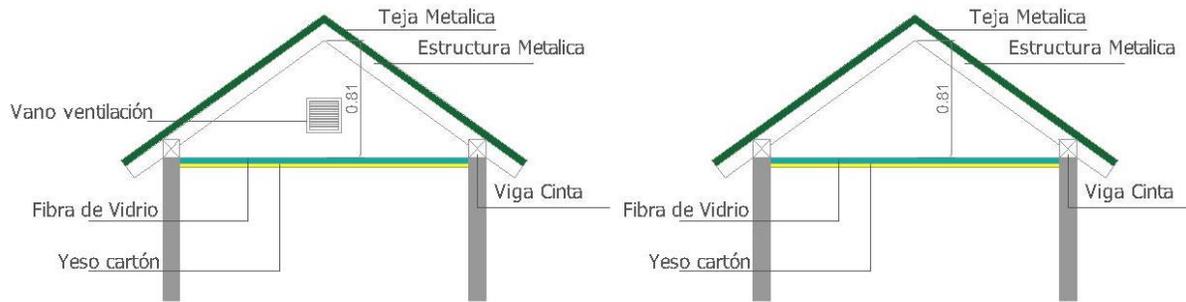


Figura 41. Alternativa 6b. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 30%

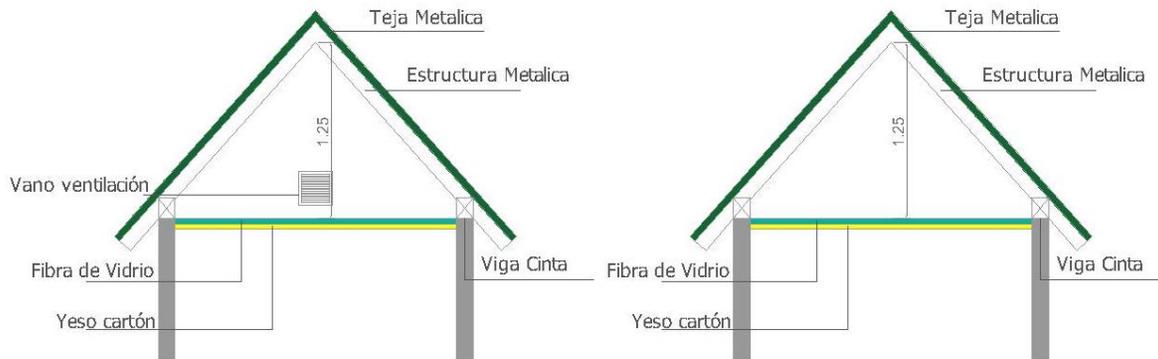


Figura 42. Alternativa 6c. Cielo yeso cartón + fibra de vidrio. Con y sin ventilación. Pendiente del techo de 45%

En el siguiente cuadro se resumen las variables para las alternativas de simulación:

	MATERIAL TEJA	MATERIAL CIELO FALSO	GEOMETRÍA /INCLINACIÓN	VENTILACIÓN ABERTURA DE 20X20	SIN VENTILACIÓN	ALTA EMISIVIDAD	BAJA EMISIVIDAD
AL1	Fibrocemento		30% h:0.81m		X		
AL 2	Metálica		30% h:0.81m		X		
AL 3	Fibrocemento	Poliestireno expandido	20% h:0.55m 30% h:0.81m 45% h:1.25	X	X	Ventilación	Sin Ventilación
AL4	Fibrocemento	Yeso cartón+ fibra de vidrio	20% h:0.55m 30% h:0.81m 45% h:1.25	X	X	Ventilación	Sin Ventilación
AL 5	Metálica	Poliestireno expandido	20% h:0.55m 30% h:0.81m 45% h:1.25	X	X	Ventilación	Sin Ventilación
AL 6	Metálica	Yeso cartón+ fibra de vidrio	20% h:0.55m 30% h:0.81m 45% h:1.25	X	X	Ventilación	Sin Ventilación

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Para el desarrollo de las simulaciones, se generaron parámetros de infiltración, ventilación, ganancias de iluminación, ocupación sensible, ocupación latente y equipo sensibles, estos datos según su uso y horario de ocupación son:

Para las habitaciones, de lunes a domingo, se asume que las 24 horas se generan infiltraciones, que en las horas de la tarde van a estar ocupadas, por eso en este horario se aplica ventilación y ganancias de calor por iluminación, ocupación y equipos. Estos parámetros fueron:

INFILTRACIÓN	0.5 ach	1.0	24 hrs
VENTILACIÓN	1.0 ach	1.0	18 a 22hrs
GANANCIA DE ILUMINACIÓN	14.2 W/m ²	1.0	21 a 24hrs
OCUPACIÓN SENSIBLE	8.6 W/m ²	1.0	21 a 07hrs
OCUPACIÓN LATENTE	5.7 W/m ²	1.0	21 a 07hrs
EQUIPO SENSIBLE	10.7 W/m ²	1.0	21 a 24 hrs

Tabla 4. Parámetros de simulación habitaciones.

Además, se adopta como rango de temperatura general: Temperatura mínima 18°C y temperatura máxima 24°C, en el horario de las 21 a las 07, tiempo en el que va a estar ocupado.

Para el salón, comedor y cocina de lunes a viernes, se asume que las 24 horas se generan infiltraciones, que a partir de las 16 horas se ocupan estos espacios, por eso en este horario se generan ganancias de calor por ocupación y equipos, y que a partir de las 18 horas se aplica ventilación y se generan ganancias de calor por iluminación. Estos parámetros fueron:

INFILTRACIÓN	0.5 ach	1.0	24 hrs
VENTILACIÓN	1.0 ach	1.0	18 a 22 hrs
GANANCIA DE ILUMINACIÓN	9.4 W/m ²	1.0	18 a 22hrs
OCUPACIÓN SENSIBLE	7.5 W/m ²	1.0	16 a 22hrs
OCUPACIÓN LATENTE	5.0 W/m ²	1.0	16 a 22hrs
EQUIPO SENSIBLE	3.1 W/m ²	1.0	18 a 22hrs

Tabla 5. Parámetros de simulación salón, comedor y cocina – días de la semana.

Se adopta como rango de temperatura general: Temperatura mínima 18°C y temperatura máxima 24°C, en el horario de las 16 a las 22, tiempo en el que va a estar ocupado.

Adicionalmente, se programa el salón, comedor y cocina, de una forma diferente de sábado a domingo, se asume que las 24 horas se generan infiltraciones, que a partir de las 16 horas se ocupan, por eso en este horario se aplica ventilación y ganancias de calor por iluminación, ocupación y equipos. Estos parámetros fueron:

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

INFILTRACIÓN	0.5 ach	1.0	24 hrs
VENTILACIÓN	1.0 ach	1.0	16 a 22 hrs
GANANCIA DE ILUMINACIÓN	9.4 W/m ²	1.0	16 a 22hrs
OCUPACIÓN SENSIBLE	7.5 W/m ²	1.0	16 a 22hrs
OCUPACIÓN LATENTE	5.0 W/m ²	1.0	16 a 22hrs
EQUIPO SENSIBLE	3.1 W/m ²	1.0	16 a 22hrs

Tabla 6. Parámetros de simulación salón, comedor y cocina – sábado y domingo.

Adicionalmente, se adopta como rango de temperatura general: Temperatura mínima 18°C y temperatura máxima 24°C, en el horario de las 18 a las 22, tiempo en el que va a estar ocupado.

En este estudio, se asume el área del baño y el techo, como no acondicionas, por esta razón solo se aplica infiltraciones las 24 horas del día, con un valor de 0.5 ach.

5.1.5 Resultados de las Simulaciones.

Los resultados que aquí se evalúan, corresponden a la demanda energética vinculada a refrigeración, ya que el clima estudiado es tropical y por lo tanto no hay demanda de sistema de calefacción. El rango de temperatura utilizado para las simulaciones fue: temperatura mínima 18°C y temperatura máxima 24°C, lo que significa que por debajo o encima de este rango de temperatura, se activaría un sistema de refrigeración para mantener la temperatura dentro de este condición, además se aclara que para las alternativas en las que se incorporó ventilación, se asignó a los vanos la característica de estar abierto 100%, 24 horas al día.

En la tabla 7, se observa el consumo anual para refrigeración del caso base definido por la alternativa 1 de 838.28Kwh, este valor se compara con los consumos de la alternativa 3, en donde se puede ver que el consumo pasa a ser un 80.07% del consumo inicial, teniendo una reducción del 19.93% cuando la pendiente del techo fue del 20% y del 30%.

Además se obtiene que el consumo pasa a ser un 79.5% del consumo inicial, teniendo una reducción del 20.5% cuando la pendiente del techo fue del 45%, lo que muestra una disminución considerable de la demanda energética, cuando se incorporó cielo falso en poliestireno expandido y se ventiló la cámara conformada entre el cielo falso y la teja, aunque la emisividad de la teja era alta se observa un ahorro importante.

Por otro lado, la tabla 7 también presenta los resultados de la demanda energética, cuando el techo tenía cielo falso en poliestireno expandido y baja emisividad externa, pero no se incorporó ventilación, para este caso se observa que el consumo pasa a ser un 83.65% del consumo inicial, teniendo una reducción del 16.35% cuando la pendiente del techo era del 20 y el 30%.

El consumo pasa a ser un 83.42% del consumo inicial, teniendo una reducción del 16.58% cuando la pendiente del techo era del 45%.

Para este último caso la disminución no es tan considerable comparado con los resultados anteriores.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Tabla 7 Consumo Kwh/añual para Refrigeración. Teja de Fibrocemento + Cielo PoliEstireno Expandido

Parámetro/Pendiente	30°	20°	30°	45°
Alternativa 1	838.28			
Alternativa 3/ ventilada/alta emisividad		671.27	670.79	666.55
Alternativa 3/sin ventilación/baja emisividad		703.29	704.11	699.30

En la tabla 8, se presenta el consumo anual para refrigeración del caso base definido por la alternativa 1 de 838.28Kwh, este valor se compara con los consumos de la alternativa 4, en donde se puede ver que el consumo pasa a ser un 77.57% del consumo inicial, teniendo una reducción del 22.43% cuando la pendiente del techo fue del 20% y del 30%.

El consumo pasa a ser un 77.08% del consumo inicial, teniendo una reducción del 22.92% cuando la pendiente del techo fue del 45%, lo que muestra una disminución mayor de la demanda energética, cuando se incorporó cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio y se ventiló la cámara conformada entre el cielo falso y la teja, aunque la emisividad de la teja era alta, se observa un ahorro importante.

También, se observa en la tabla 8 los resultados de la demanda energética, cuando el techo tenía cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio y baja emisividad externa, pero no se incorporó ventilación, para este caso se observa que el consumo pasa a ser un 79.51% del consumo inicial, teniendo una reducción del 20.49% cuando la pendiente del techo era del 20 y el 30%.

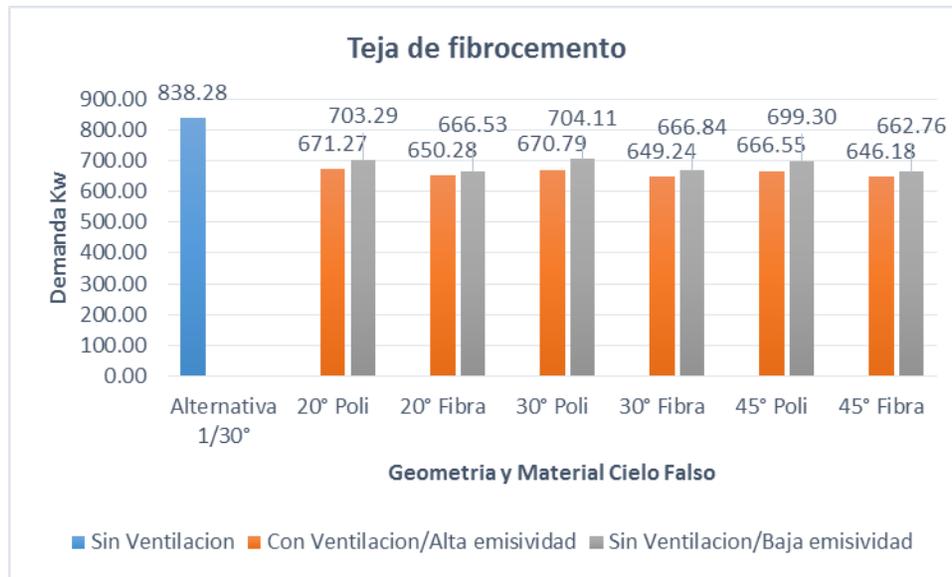
El consumo pasa a ser un 79.06% del consumo inicial, teniendo una reducción del 20.94% cuando la pendiente del techo era del 45%.

Estos resultados muestran mayor eficiencia en el sistema al incorporar cielo falso con material aislante, aunque el ahorro es más importante cuando el material del cielo falso era yeso cartón + fibra de vidrio, también se verifica el buen comportamiento del sistema cuando el ángulo de inclinación era mayor, ya que al aumentar el volumen se incrementa la fuerza de flotabilidad, además de la eficacia que genera incorporar ventilación, al sistema del techo.

Tabla 8. Consumo Kwh/añual para Refrigeración. Teja de Fibrocemento + Cielo Fibra de Vidrio + Placa de Yeso Cartón.

Parámetro/Pendiente	30°	20°	30°	45°
Alternativa 1	838.28			
Alternativa 4/ ventilada/alta emisividad		650.28	649.24	646.18
Alternativa 4/sin ventilación/baja emisividad		666.53	666.84	662.76

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.



Gráfica 1. Comparativo Alternativa 1 - Alternativa 3 –Alternativa 4

En la gráfica 1 se presentan los resultados de forma comparativa en columnas, donde se puede observar como al incorporar ventilación, variar la geometría e incluir material aislante en el cielo falso, logra una reducción importante en cuanto a demanda de energía para refrigeración, una vez más se puede observar como los valores más bajos los obtiene la alternativa a la que se le incorporo ventilación, y cuya geometría fue la pendiente más inclinada del 45%, adicionalmente el cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio hace parte de los resultados más bajos.

Siguiendo con la presentación de los resultados, encontramos la tabla 9, donde se observa el consumo anual para refrigeración del caso base definido por la alternativa 2 de 1322.94Kwh, este valor se compara con los consumos de la alternativa 5, en donde se puede ver que el consumo pasa a ser un 52.98% del consumo inicial, teniendo una reducción del 47.02%, cuando la pendiente del techo fue del 20% y del 30%; y el consumo pasa a ser un 52.64% del consumo inicial, teniendo una reducción del 47.36% cuando la pendiente del techo fue del 45%; Lo que muestra una reducción de hasta el 50% de la demanda energética cuando se incorporó cielo falso en poliestireno expandido y se ventilo la cámara conformada entre el cielo falso y la teja, aunque la emisividad de la teja era alta, se observa un ahorro importante.

Por otro lado, la tabla 9 también presenta los resultados de la demanda energética, cuando el techo tenía cielo falso en poliestireno expandido y baja emisividad externa, pero no se incorporó ventilación, para este caso se observa que el consumo pasa a ser un 55.11% del consumo inicial, teniendo una reducción del 44.89% cuando la pendiente del techo era del 20 y el 30%; y el consumo pasa a ser un 54.83% del consumo inicial, teniendo una reducción del 45.17% cuando la pendiente del techo era del 45%.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Tabla 9. Consumo Kwh/añual para Refrigeración. Teja Metálica + Cielo Poli-estireno Expandido

Parámetro/Pendiente	Caso Base 30°	20°	30°	45°
Alternativa 2	1322.94			
Alternativa 5/ ventilada/alta emisividad		700.94	701.59	696.42
Alternativa 5/sin ventilación/baja emisividad		729.16	730.74	725.49

En la tabla 10, se presenta el consumo anual para refrigeración del caso base definido por la alternativa 2, de 1322.94Kwh, este valor se compara con los consumos de la alternativa 6, en donde se puede ver que el consumo pasa a ser un 50.15% del consumo inicial, teniendo una reducción del 49.85% cuando la pendiente del techo fue del 20% y del 30%; y el consumo pasa a ser un 49.86% del consumo inicial, teniendo una reducción del 50.14% cuando la pendiente del techo fue del 45%. Lo que muestra una disminución del 50% de la demanda energética, cuando se incorporó cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio y se ventilo la cámara conformada entre el cielo falso y la teja, aunque la emisividad de la teja era alta, se observa un ahorro muy importante.

También, se observa en la tabla 10 los resultados de la demanda energética, cuando el techo tenía cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio y baja emisividad externa, pero no se incorporó ventilación, para este caso se observa que el consumo pasa a ser un 51.21% del consumo inicial teniendo una reducción del 48.79% cuando la pendiente del techo era del 20 y el 30%, y el consumo pasa a ser un 50.95% del consumo inicial, teniendo una reducción del 49.05% cuando la pendiente del techo era del 45%.

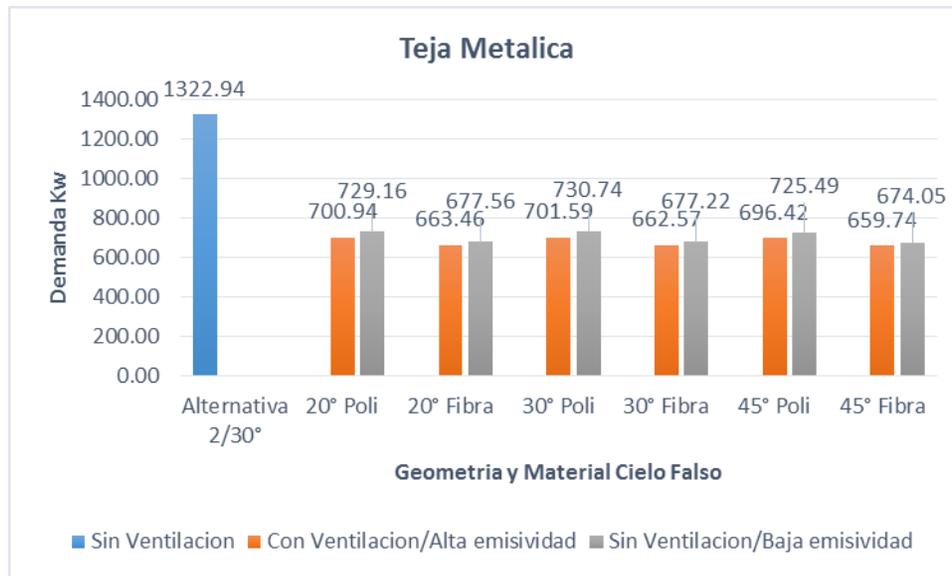
Estos resultados confirman la eficiencia en el sistema al incorporar cielo falso con material aislante, pero se evidencia un ahorro mayor cuando el material del cielo falso era yeso cartón + fibra de vidrio, también se verifica el buen comportamiento del sistema cuando el ángulo de inclinación era mayor, ya que al aumentar el volumen se incrementa la fuerza de flotabilidad, además de la eficacia que genera incorporar ventilación al sistema del techo.

También es importante observar que la mayor demanda la registro la alternativa 2, con teja metálica tipo termo-acústica, que posiblemente por ser un material conductivo aumenta la transferencia de calor, la diferencia en el consumo energético es mayor debido al alto consumo de esta alternativa, porque en el caso de la alternativa 1 la demanda no fue tan alta comparada con la alternativa anterior, lo que se evidencia en los resultados.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Tabla 10. Consumo Kwh/añual para Refrigeración. Teja Metálica + Cielo Fibra de Vidrio + Placa de Yeso Cartón

Parámetro/Pendiente	Caso Base 30°	20°	30°	45°
Alternativa 2	1322.94			
Alternativa 6/ ventilada/alta emisividad		663.46	662.57	659.74
Alternativa 6/sin ventilación/baja emisividad		677.56	677.22	674.05



Gráfica 2. Comparativo Alternativa 2 - Alternativa 5 –Alternativa 6

En la gráfica 2, se presentan los resultados para la alternativa 2, 5 y 6 donde se observa como al incorporar la ventilación, variando la geometría e incluyendo material aislante para el cielo falso, se logra una reducción importante, en cuanto a demanda de energía para refrigeración. Una vez más se puede observar como los valores más bajos los obtiene la alternativa a la que se le incorporó ventilación, y cuya geometría fue la pendiente más inclinada del 45%, adicionalmente el cielo falso en yeso cartón + fibra de vidrio hace parte de los resultados más bajos.

A continuación se presentan 4 tablas, con los resultados obtenidos para temperatura externa y del salón y se comparan con los resultados obtenidos para la temperatura del techo ventilado + alta emisividad y techo sin ventilación + baja emisividad. Se elige presentar solo los valores para las alternativas donde la pendiente era del 45%, ya que con los resultados anteriores, se pudo observar que es la opción más eficiente en cuanto a geometría.

En la tabla 11 se muestra la temperatura ambiente comparada con la temperatura interna del salón vs la temperatura del techo ventilado vs el techo sin ventilar de la alternativa 3, se selecciona el más caluroso del año, según la simulación con TAS, donde la máxima temperatura

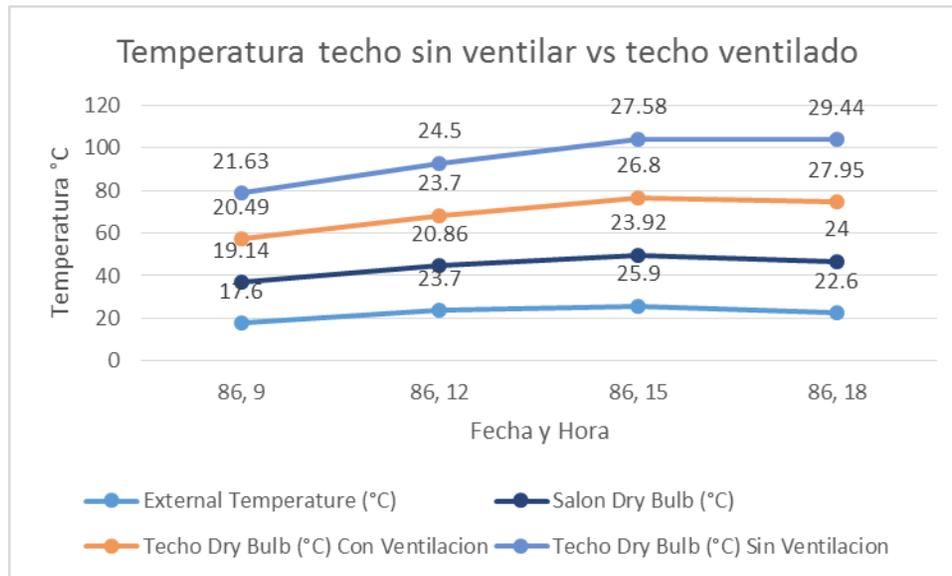
Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

ambiente fue de 25.9°C. Las demás variables fueron: pendiente del techo 45% el material de la teja fue fibrocemento, el cielo falso era en poliestireno expandido, la emisividad era alta y baja según la ventilación.

Según los resultados la mayor diferencia se presenta cuando el techo estaba ventilado, con una diferencia de hasta 1.49°C a las 18 horas. Grafica 3.

Hour	External Temperature (°C)	Salón Dry Bulb (°C)	Techo Dry Bulb (°C) Con Ventilación	Techo Dry Bulb (°C) Sin Ventilación
86, 9	17.6	19.14	20.49	21.63
86, 12	23.7	20.86	23.7	24.5
86, 15	25.9	23.92	26.8	27.58
86, 18	22.6	24	27.95	29.44

Tabla 11. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para la alternativa 3.



Gráfica 3. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar

La tabla 12, presenta la temperatura ambiente comparada con la temperatura interna del salón vs la temperatura del techo ventilado vs el techo sin ventilar de la alternativa 4, en un día caluroso del año donde la máxima temperatura ambiente fue de 25.9°C, y donde la pendiente del techo era del 45% el material de la teja era fibrocemento, el cielo falso era en yeso cartón + fibra de vidrio, la emisividad era alta y baja según la ventilación.

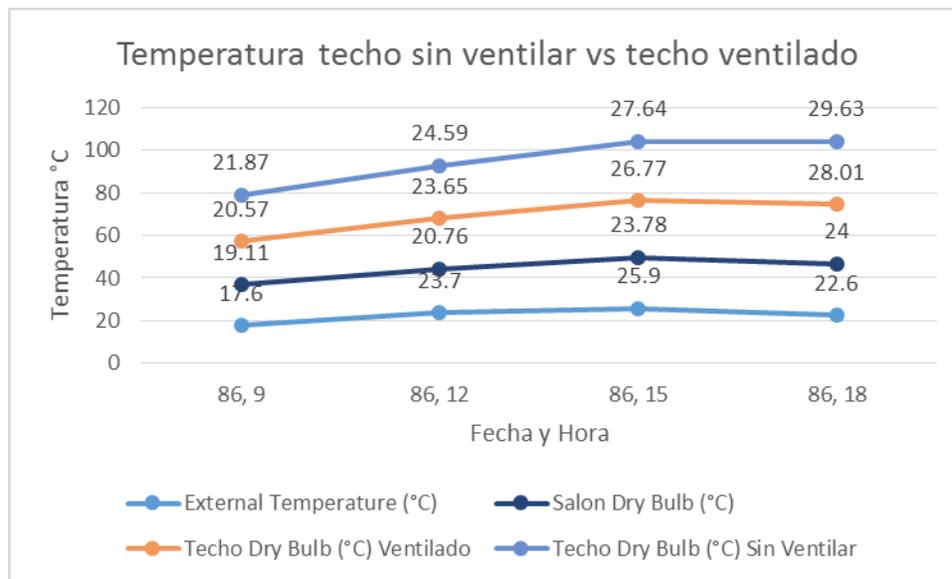
Según los resultados la mayor diferencia se presenta cuando el techo estaba ventilado, con una diferencia de hasta 1.62°C a las 18 horas.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Estos resultados muestran que la temperatura del techo fue menor cuando se incorporó ventilación y el cielo falso fue yeso cartón + fibra de vidrio, además se observa que aunque se aplicó una emisividad alta, la temperatura fue menor comparada con la opción que tenía la emisividad baja. Grafica 4.

Hour	External Temperature (°C)	Salón Dry Bulb (°C)	Techo Dry Bulb (°C) Con Ventilación	Techo Dry Bulb (°C) Sin Ventilar
9	17.6	19.11	20.57	21.87
12	23.7	20.76	23.65	24.59
15	25.9	23.78	26.77	27.64
18	22.6	24	28.01	29.63

Tabla 12. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 4



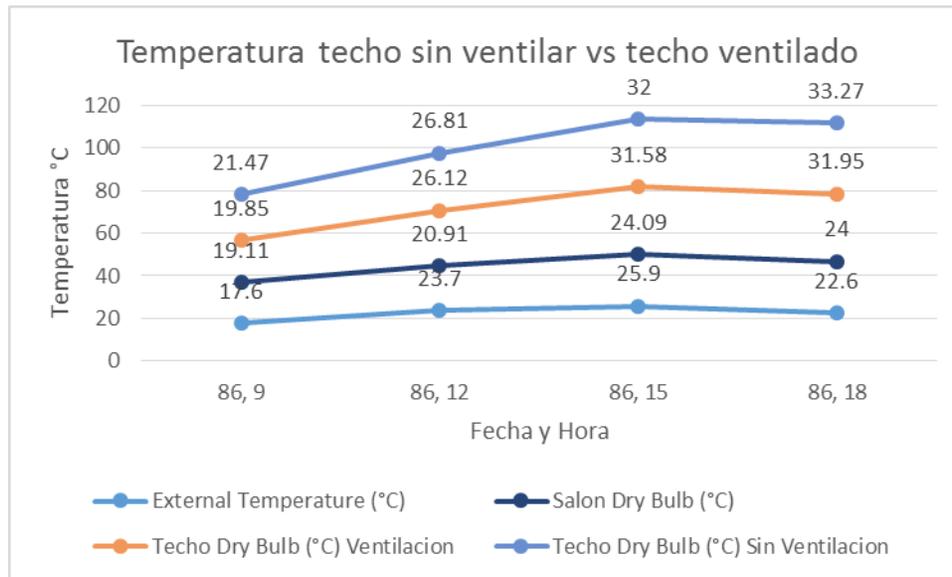
Gráfica 4. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar

En la tabla 13, se observa la temperatura ambiente comparada con la temperatura interna del salón vs la temperatura del techo ventilado vs el techo sin ventilar de la alternativa 5, donde la pendiente del techo era del 45% el material de la teja era metálica, el cielo falso era en poliestireno expandido, la emisividad era alta y baja según la ventilación. Según los resultados la mayor diferencia se presenta cuando el techo estaba ventilado, con una diferencia de hasta 1.32°C a las 18 horas. Grafica 5.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Hour	External Temperature (°C)	Salón Dry Bulb (°C)	Techo Dry Bulb (°C) Con Ventilación	Techo Dry Bulb (°C) Sin Ventilación
9	17.6	19.11	19.85	21.47
12	23.7	20.91	26.12	26.81
15	25.9	24.09	31.58	32
18	22.6	24	31.95	33.27

Tabla 13. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 5



Gráfica 5. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar.

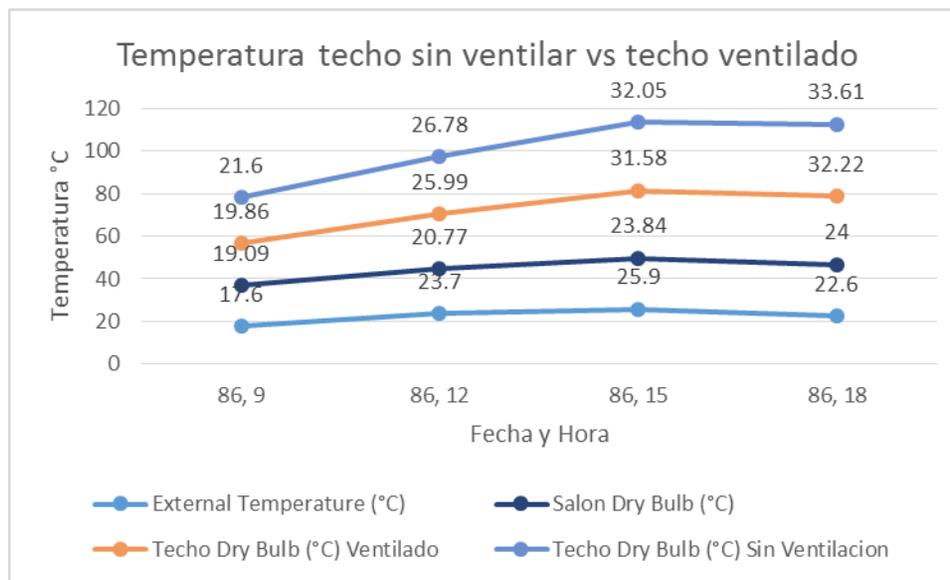
En la tabla 14, se observa la temperatura ambiente comparada con la temperatura interna del salón vs la temperatura del techo ventilado vs el techo sin ventilar de la alternativa 6, donde la pendiente del techo era del 45% el material de la teja era metálica, el cielo falso era en yeso cartón + fibra de vidrio, la emisividad era alta y baja según la ventilación.

Según los resultados la mayor diferencia se presenta cuando el techo estaba ventilado, con una diferencia de hasta 1.39°C a las 18 horas. Cabe resaltar que debido a que el material de la teja es metálico, aumenta su condición de conductividad, por lo tanto su temperatura es más alta, pero también se evidencia que cuando se incorporó ventilación, por el efecto convectivo se logró minimizar esta temperatura en hasta 1.39°C. Grafica 6.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Hour	External Temperature (°C)	Salon Dry Bulb (°C)	Techo Dry Bulb (°C) Con Ventilación	Techo Dry Bulb (°C) Sin Ventilación
9	17.6	19.09	19.86	21.6
12	23.7	20.77	25.99	26.78
15	25.9	23.84	31.58	32.05
18	22.6	24	32.22	33.61

Tabla 14. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar, para alternativa 6



Gráfica 6. Temperatura externa – Temperatura del Salón – Temperatura del Techo Ventilado y Temperatura del Techo Sin Ventilar.

Adicionalmente se observa que las menores temperaturas dentro del salón, se obtuvieron cuando el cielo falso era yeso cartón + fibra de vidrio. Se asume que estos resultados están relacionados con las propiedades térmicas del material, ya que la fibra de vidrio tiene menor densidad que el poliestireno expandido, además influye el espesor del material, que para este último caso fue de 8cm.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
 Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

5.1.6 Análisis de las Simulaciones.

Posterior a las simulaciones, se procedió a realizar un análisis de los resultados, según las variables de la simulación con el fin de identificar cual es la alternativa más adecuada que permita una disminución en la demanda energética.

Material de la Teja.

Se observa que la mayor demanda de energía, la genera la teja metálica, que tiene una transmitancia térmica de $4.34\text{W/m}^2\text{°C}$.; y la demanda de energía para refrigeración fue de 1322.94Kwh , esto principalmente se debe al material de la teja, que por ser metálico tiende a ser conductivo y a reflejar la radiación solar al interior del espacio, cuando pierde su condición reflectiva. Por en cambio la teja de fibrocemento, tuvo un consumo de 838.28Kwh ; casi un 63.36% menos que la anterior y una transmitancia térmica de $2.68\text{W/m}^2\text{°C}$, menor que la primera. Lo que le otorga mejores condiciones térmicas, esto posiblemente sea por las propiedades térmicas del fibrocemento que tiene una conductividad del $0.35\text{W/m}^2\text{°C}$ y su densidad es de 1480Kg/m^3 , valores inferiores a los de la teja metálica. Estos primeros datos dan indicios de lo importante que es la selección del material de la teja, ya que su comportamiento térmico influye directamente con el consumo energético.

En cuanto a la emisividad del material de acabado de la teja se utilizó un valor de emisividad alto cuando el techo era ventilado, para generar un efecto adverso ya que la emisividad alta, emite mayor cantidad de calor al interior, y se utilizó emisividad baja cuando el techo no estaba ventilado, en un intento por mejorar las condiciones del techo. Pero los resultados en conjunto no logran evidenciar una mejorar debido a esta propiedad, ya que en este estudio son muchas las variables que influyen en los resultados, tal vez más importantes que la emisividad del material.

Cielo Falso - Material Aislante Interior.

Para evaluar la efectividad del material aislante se realizaron las simulaciones, comparando la alternativa 1 y 2 que no tienen cielo falso, con alternativas de mejora 3, 4, 5 y 6, cuyo material aislante fue:

- ✓ Cielo falso en poliestireno expandido, de 2cm de espesor, y transmitancia térmica de $1.40\text{W/m}^2\text{°C}$

Placas de poliestireno expandido

Espesor: 2cm	Conductividad: $0.04\text{W/m}^2\text{°C}$	Densidad: 16 kg/m^3
--------------	--	------------------------------

- ✓ Cielo falso en paneles de yeso + fibra de vidrio, de 10cm, y transmitancia térmica de $0.44\text{W/m}^2\text{°C}$.

Panel de Yeso

Espesor: 1cm	Conductividad: $0.42\text{W/m}^2\text{°C}$	Densidad: 1200 kg/m^3
--------------	--	--------------------------------

Fibra de vidrio

Espesor: 8cm	Conductividad: $0.04\text{W/m}^2\text{°C}$	Densidad: 12 kg/m^3
--------------	--	------------------------------

Información extraída de: EDSL TAS

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

En cuanto al material aislante para el cielo falso se observó que la menor demanda energética se obtuvo cuando este fue de paneles de yeso + fibra de vidrio, ya que en la alternativa 3 y 4, donde la teja era de fibrocemento se redujo hasta un 20.5% cuando el material aislante era poliestireno expandido y en 22.92% cuando el material eran paneles de yeso cartón + fibra de vidrio. En cuanto a la alternativa 5 y 6, se redujo en 47.36% cuando el cielo falso era en poliestireno expandido y en 50.14% cuando el cielo falso era en paneles de yeso cartón + fibra de vidrio.

Estos datos reflejan los resultados de muchos estudios realizados, donde se encontró que al incorporar materiales aislantes se lograba reducir hasta 8°C la temperatura interior; cabe resaltar que el espesor del material es importante para los resultados ya que a mayor espesor, menor es la transferencia de calor, y para este estudio la fibra de vidrio tenía un espesor de 8cm, y su densidad es menor que la densidad del poliestireno expandido, que para este estudio tuvo un espesor de 2cm, esta puede ser una de las razones por la cuales no tuvo mejores resultados.

Inclinación de la Cubierta.

Se observa que el comportamiento de los techos según la inclinación no es muy relevante, cuando la inclinación es del 20% y del 30%, ya que en la alternativa 3 la diferencia en demanda energética entre la opción que tuvo pendiente del 20% y el 30% era mínima, un 19.93% comparado con el consumo energético de la alternativa que utilizó la inclinación de 45%, donde la demanda se redujo en 20.5%, estos valores comparados con la demanda energética de la alternativa 1.

Esto se debe a que la perpendicularidad de los rayos solares es menor, cuando la inclinación se aleja del eje horizontal, además un incremento en la pendiente genera mayor volumen al interior de la cámara lo que permite generar fuerza de flotabilidad, que por diferencia de temperatura ayuda a que el calor ascienda y sea expulsado.

Incidencia del Viento.

Aunque la incidencia del viento es difícil de evaluar, ya que su comportamiento en un escenario real no es constante ya que varía según el clima, la ubicación y posibles obstáculos, que existan próximos a la vivienda. En este estudio se determinó que la ventilación era 24 horas, y la apertura era del 100%, para los vanos ubicados en el frontón de la vivienda.

En los resultados se observa que la alternativa 3 donde se incorporó ventilación, redujo la demanda energética en un 20.5%, comparado con la misma alternativa que no incluyó ventilación, donde se redujo en 16.58%, estos datos son comparados con la alternativa 1 y la inclinación del techo fue del 45%. En el caso de la alternativa 5, donde se incorporó ventilación, se redujo la demanda energética en 50.14% comparado con la misma alternativa, pero sin ventilación, donde la reducción de la demanda energética fue de 49.05%. Estos valores se comparan con la alternativa 2 y la inclinación del techo fue del 45%.

Estos resultados muestran la eficiencia de la ventilación, ya que un flujo constante de aire desplaza el calor que se genera al interior de la cámara.

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

Conclusiones

Luego de terminar este estudio, se puede destacar la importancia de diseñar y construir techos, apropiados para el clima en el que se implantan, teniendo en cuenta su materialidad y geometría para lograr mejorar el confort térmico en los recintos, y disminuir la demanda de energía vinculada a sistemas de climatización o ventiladores.

Cabe resaltar que la implementación de cielo falso, con materiales de baja conductividad térmica, para conformar una cámara de aire ventilada, reduce en un porcentaje importante la demanda energética, vinculada a refrigeración en clima tropical, ya que minimizan la transferencia de calor al interior de la vivienda.

Es importante tener un criterio apropiado al momento de elegir materiales para cubierta, ya que se pudo observar cómo este elemento es determinante al momento de elevar la demanda energética. En este estudio, la teja metálica mostró mayor demanda energética, comparada con los resultados obtenidos en el caso de la teja de fibrocemento, sin ser esta última la mejor opción al momento de elegir una alternativa que minimice la demanda de energía para refrigerar, ya que ambas registraron una alta demanda de energía, y teniendo en cuenta la necesidad de reducir el gasto energético por motivos del cambio climático, cualquier mejorar que se haga en la envolvente de las viviendas, puede marcar una gran diferencia.

Adicionalmente se pudo verificar el impacto positivo que tuvo incorporar el cielo falso al sistema del techo, ya que en ambos casos se registraron disminuciones importantes en la demanda de refrigeración. Por ejemplo, en el techo con teja de fibrocemento se redujo la demanda en un 20.5% cuando el cielo falso era en poliestireno expandido y en un 22.95% cuando el cielo falso era de yeso cartón + fibra de vidrio en relación a la demanda energética de la alternativa 1. Para el caso del techo con teja metálica, se redujo la demanda en un 50.14% cuando el cielo falso eran placas de yeso cartón + fibra de vidrio y del 47.36% cuando el cielo falso era en poliestireno expandido.

Además se pudo comparar materiales para cielo falso, que ayudan a conformar la cámara de aire, estos elementos en poliestireno expandido y panel de yeso + fibra de vidrio, demostraron su baja conductividad, y transferencia de calor al interior de la vivienda, aunque el segundo demostró un mejor comportamiento; es importante aclarar que debe de ser evaluado cuanto influye el espesor

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

del material, ya que para este estudio se tomaron como referencia espesores comerciales de los materiales, se considera que este parámetro puede influir en los resultados, ya que la fibra de vidrio tenía mayor espesor.

En cuanto a la geometría, se observó que los techos cuya pendiente se aleja más del eje horizontal, tuvieron reducciones importantes en cuanto a demanda energética. Las alternativas de inclinación entre el 30% y el 45%, registraron consumos menores.

Ya que uno de los objetivos de este estudio era evaluar la incorporación de ventilación a los techos como estrategia pasiva, para minimizar la demanda energética vinculada a refrigeración para clima tropical, se puede concluir que las alternativas en las cuales se empleó ventilación a través de dos vanos uno de entrada y otro de salida de 20cmx20cm registraron menores consumos de hasta el 50.14%, en el caso de la alternativa 6, comparado estos resultados con la alternativa 2. Este ahorro es muy importante, si se garantiza ventilación constante, de lo contrario es necesario instalar cielo falso con material aislante. Ya que todo el conjunto de variables que se estudiaron, convierten esta alternativa en un sistema eficiente.

Aunque la población que ocupa la Vivienda de Interés Social en Colombia, es de bajos recursos como para instalar un sistema de climatización, es importante aclarar que este grupo poblacional opta por utilizar equipos como ventiladores, que aunque su consumo de energía es menor comparado con un sistema de aire acondicionado, este logra aumentar la demanda promedio de consumo de energía, que para el caso de Colombia según la empresa prestadora de servicios públicos es de 152Kwh mes de energía y al año 1824Kwh anual.

Por esta razón implementar todas las mejoras analizadas en la construcción de techo en VIP, mejora el confort térmico al interior de la vivienda y minimiza el consumo de energía eléctrica.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Cuando se realiza un estudio de investigación, se busca hallar respuesta a la hipótesis planteada, pero el tema específico que se formula, se complementa de un sin número de temáticas que deben ser resueltas. A partir de este estudio se sugiere, como futuras líneas de investigación los siguientes temas:

Incidencia del diseño de la techumbre sobre el desempeño energético de viviendas en clima tropical. Caso de estudio
Vivienda de Interés Social en Antioquia, Departamento de Colombia.

- ✓ Es importante conocer el sobre costo que puede generar incorporar el sistema de cubierta ventilada + cielo falso, al precio final de la vivienda de interés social.
- ✓ Se puede calcular la disminución de gases de efecto invernadero que se dejan de emitir, con la reducción de demanda energética, ya que la construcción de vivienda de interés social es una de las actividades que más se desarrolla.
- ✓ Se puede evaluar el sistema con otros materiales para cielo falso, variando el espesor con el fin de encontrar el más eficiente térmicamente y económicamente.

Referencias Bibliográficas

- ✓ ANTONI PARICIO CASADEMUNT. 1998. La cámara ventilada como recurso constructivo durante el siglo XIX en Barcelona. Pág. 376.
- ✓ ARANGO ESCOBAR Gilberto. La Casa Urbana Colombiana Tradicional. 2010. Págs. 4, 5, 7, 8, 13, 20.
- ✓ ARANGO CARDINAL SILVIA. 1989. Historia de la Arquitectura en Colombia. P. 20 y 32
- ✓ ASIAIN ALBERICH María López de. Estrategias bioclimáticas en la arquitectura. 2003. Pág. 25 y 26.
- ✓ BOS ˇTJAN Č ERNEA, SAS ˇO MEDVEDB. 2005. Determination of transient two-dimensional heat transfer in ventilated lightweight low sloped roof using Fourier series.
- ✓ DÍAZ OSTTUHEN. Tesis. “La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana”. 2012. Págs. 16 y 20.
- ✓ ESCOBAR RUIZ VIOLETA. Tesina “Parámetros de diseño de cubiertas ventiladas metálicas para clima cálido húmedo en Tabasco”. 2013. Págs. 5, 15 y 18.
- ✓ GALINDO DUARTE M. PÉREZ TELLO C, BENÍTEZ ZAMORA J., SANTOS GÓMEZ M. Y LEYVA CAMACHO O. 2008. Sistema de protección del aislamiento e impermeabilización de techos. Evaluación de viviendas del desierto.
- ✓ GIVONI, B. (1994), Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold. Pág. 30
- ✓ OLGYAY VÍCTOR. Arquitectura y Clima. 1998. pág. 33
- ✓ PILAR DE ZALAZAR, Claudia A. - JACOBO, Guillermo José. Estudio comparativo del comportamiento higrotérmico de cubiertas ventiladas y no ventiladas, para las condiciones climáticas de la región NEA. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. Pág. 3
- ✓ P.H. BIWOLE, M. WOLOSZYN, C. POMPEO. 2008. Heat transfers in a double-skin roof ventilated by natural convection in summer time.
- ✓ PEI-CHI CHANG, CHE-MING CHIANG, CHI-MING LAI. 2007. Development and preliminary evaluation of double roof prototypes incorporating RBS (radiant barrier system)
- ✓ RAMÍREZ GUZMÁN GERMAN. Tesis Armaduras Para Techo Y Cubiertas. 2013. Universidad Veracruzana
- ✓ SANCHEZ GAMA CLARA EUGENIA. 2007. La arquitectura en tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas. P. 251
- ✓ SERRA RAFAEL Florensa and H. Coch Roura, Arquitectura y Energía Natural, 1st ed. Barcelona: Ediciones UPC, 1995, pág. 210.
- ✓ SERRA RAFAEL. Arquitectura y Climas. 1999. pág. 8
- ✓ STAGNO BRUNO. La creatividad en el techo bioclimático tropical. San Pablo, Brasil, 2004. Pág. 3
- ✓ SUNWOO LEE, SANG HOON PARK, MYONG SOUK YEO, KWANG WOO KIM. 2008. An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof.
- ✓ YARKE EDUARDO. Ventilación natural de edificios. Fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos. 2005. Págs. 99 y 117.
- ✓ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Título B. Elementos estructurales. 2010. Pág. 16 y 17
- ✓ Plan de Acción Sectorial de Mitigación para el sector vivienda y desarrollo territorial. Estrategia Colombiana De Desarrollo Bajo En Carbono. Julio de 2014.

- ✓ Ministerio de Educación. Hábitat y arquitectura. Colombia Aprende. 2003. P. 207 y 213
- ✓ https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Vivienda_y_Dllo_Terr_-_Final.pdf. Febrero de 2015.
- ✓ Informe Sector Energía Eléctrica 2010 – 2011 para el Ministerio de minas y energía. (<http://www.minminas.gov.co/documents/10180/23400/05-ENERGIA2010-2011.pdf/770a198d-d4ee-4687-b74c-74592b403ae6>). Febrero de 2015.
- ✓ Bojórquez, Inocente; Castillo, Set J.; Flores, Fernando; Hernández, José. Criterios para el diseño térmico de techumbres en climas cálido-húmedos, a partir de materiales locales. Palapa, vol. V, núm. II, julio-diciembre, 2010, pp. 27-38 Universidad de Colima. Colima, México (<http://www.redalyc.org/pdf/948/94820991004.pdf>). Febrero de 2015
- ✓ Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo. Análisis térmico de la cubierta ventilada. 2008. Autor: Mariana Guimarães Merçon. Febrero de 2015
- ✓ Boletín de prensa. Del 4 de septiembre de 2014. Vivienda VIS y No VIS II trimestre de 2014 (preliminares) www.dane.gov.co. Marzo de 2015
- ✓ Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social. Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. Febrero de 2015.
- ✓ http://bart.ideam.gov.co/portal/prono_fin_semana/meteorologia/info/clasifclim.html. Junio de 2015
- ✓ <https://es.wikipedia.org/wiki/Medell%C3%ADn>. Junio de 2015.
- ✓ <https://es.wikipedia.org/>. Julio de 2015.
- ✓ <http://www.fotothing.com/JJAP/photo/23c83f199fc7d0739a1640542fe46dea/> Septiembre de 2015.
- ✓ www.viva.gov.co. Agosto de 2015
- ✓ <http://www.constructora-rb.com/proyectos/cubiertas/teja-shingle/> Septiembre de 2015.
- ✓ http://www.bibliocad.com/biblioteca/tejas-de-barro_21589 Septiembre de 2015.
- ✓ http://www.cinducr.com/laminas%20fibrocemento_etermit%20.htm Septiembre de 2015.
- ✓ <http://www.distrienchapes.com/site/cubiertas-teja-de-zinc-galvanizada-y-pintadas/cubiertas-teja-de-zinc-galvanizada-y-pintadas>
http://www.solotejas.com/tejas_thermoacoustic.html. Septiembre de 2015.
- ✓ <http://fferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/Imagen5.10.png> septiembre 2015.
- ✓ <http://www.certificadosenergeticos.com/estrategias-naturales-refrigeracion-espacios-interiores-edificios> septiembre 2015.
- ✓ <http://www.moondoreyes.com/M5.58.html>. Septiembre 2015.
- ✓ www.atecos.es. Octubre de 2015.
- ✓ Grupo de Tecnología, Calidad y Sostenibilidad en la Edificación de la UJI. <http://ujiapps.uji.es/com/noticies/2015/01/2q/patent-ventilacio/&idioma=es>. Octubre 2015.
- ✓ http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_1.pdf. Octubre 2015
- ✓ <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/2060%20-%202004.pdf>. Octubre de 2015
- ✓ <http://www.antioquia.gov.co/index.php/abc-habitat>. Octubre de 2015
- ✓ <http://coolroofs.org/>. Diciembre de 2015.

Anexos