



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

**ARQUITECTURAS TEXTILES. COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y
APLICACIONES PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS Y DESASTRES**

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

AUTOR: ARQ. LEANDRO HOYOS URREA

PROFESOR GUÍA: DR. ARQ. JESÚS PULIDO

CONCEPCIÓN, 19 de diciembre de 2017

A mi hijo, mi esposa, mi madre y mis hermanos... por quienes trabajo para hacer de este, un mundo mejor.

Agradecimientos a:

Liliana Medina y al Colegio Rochester. Chía. Colombia

Javier Olaya y a la Oficina de Socorro Nacional de la Cruz Roja Colombiana

Parques Nacionales Naturales de Colombia

Jhouben Yanik Cuesta por su ayuda en esas dimensiones especiales

Al equipo de LEHO SAS por todo el apoyo en esta y tantas aventuras por venir

RESUMEN

Este es el desarrollo de un proyecto que busca respuestas a preguntas básicas sobre materiales textiles y su aplicación en soluciones de respuesta a requerimientos tan especiales como los que se necesitan en la atención de emergencias y desastres, en un país como Colombia, con una gran diversidad de climas, topografía y comunidades, que cada año se ven afectadas por distintas situaciones críticas, causadas por el hombre y su relación poco afortunada con la naturaleza o con el mismo.

El proyecto se desarrolló a través de la fabricación de tres (3) prototipos que, durante varios días, fueron puestos en distintas condiciones de clima, configuraciones de envoltente, de geometría y ventilación, donde se midieron (temperatura y humedad relativa) y tomaron datos que permitieron analizar y lograr conclusiones para recomendar parámetros de diseño, que permita adecuar las soluciones textiles de un modo preciso a los diferentes usos que se pueden dar durante un desastre.

Palabras claves:

Arquitectura textil, Colombia, emergencias, desastres, refugios

ABSTRACT

This is the development of a project that seeks answers to basic questions about textile materials and their application in solutions to respond to special requirements such as those needed in emergency and disaster relief, in a country like Colombia, with a great diversity of climates, topography and communities that each year are affected by different critical situations caused by man and his unfortunate relationship with nature or with it.

The project was developed through the manufacture of prototypes (3) that, for several days, were placed in different weather conditions, envelope configurations, geometry and ventilation, where they were measured (temperature and relative humidity) and took data that they allowed us to analyze and reach conclusions to recommend design parameters that allow adapting textile solutions in a precise way to the different uses that can occur during a disaster.

Keywords:

Textile architecture, Colombia, Disaster and relief, shelter

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	13
1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	14
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. RELEVANCIA	16
1.3. BENEFICIARIOS - AUDIENCIA	18
1.4. HIPÓTESIS.....	18
1.5. PREGUNTAS.....	18
2. CAPITULO II. EL PROYECTO	19
2.1. OBJETIVOS	19
2.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2.2. METODOLOGÍA.....	19
MARCO TEORICO	19
MARCO REFERENCIAL.....	20
MATRIZ DE GEOMETRIAS Y MATERIALES	20
DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE CAMPO	21
EJECUCIÓN DE EXPERIMENTOS IN SITU	21

ANÁLISIS DE DATOS.....	22
CONCLUSIONES	22
2.3. PLAN DE TRABAJO	23
2.4. MARCO TEÓRICO.....	24
2.4.1. ARQUITECTURA TEXTIL.....	24
2.4.2. ARQUITECTURA Y EMERGENCIAS.....	28
2.4.3. APLICACIONES EN EMERGENCIAS Y DESASTRES	29
2.5. MARCO REFERENCIAL.....	33
2.5.1. ORGANISMOS DE ASISTENCIA HUMANITARIA	33
2.5.2. SOLUCIONES USADAS ACTUALMENTE	36
2.5.3. CLIMA	39
3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE CAMPO	40
3.1. ENVOLVENTE - MATERIALES.....	40
3.2. ENVOLVENTE – VENTILACIÓN	40
3.3. GEOMETRÍAS.....	40
3.4. CLIMAS	41
3.5. REQUERIMIENTOS DE USO PARA LAS ARQUITECTURAS TEXTILES	42
3.6. ESQUEMA DE MEDICIONES	45
3.7. MATRIZ PARA TOMA DE DATOS.....	46
3.8. PROTOTIPOS.....	48
4. CAPÍTULO IV. EXPERIMENTO 1 – PNN COCUY. PILOTO	50
4.1. DESCRIPCIÓN.....	50
4.2. RESULTADOS	51
4.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	53
4.4. CONCLUSIONES	55

4.4.1.	CONCLUSIONES SOBRE LA METODOLOGÍA	55
4.4.2.	CONCLUSIONES SOBRE EL PROTOTIPO	56
5.	CAPITULO V. DISEÑO FINAL DE METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS.....	57
5.1.	ANÁLISIS DIRECTO	57
5.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
6.	CAPITULO VI. EXPERIMENTO 2. CLIMA FRIO	60
6.1.	DESCRIPCIÓN	60
6.2.	RESULTADOS	62
6.2.1.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN CERRADA (FDC)	63
6.2.2.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (FDA)	65
6.2.3.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (FSA)	67
6.2.4.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN CERRADA (FSC).....	69
6.3.	ANÁLISIS DE DATOS.....	71
6.3.1.	ANÁLISIS DIRECTO	71
6.3.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	76
7.	EXPERIMENTO 3. CLIMA CÁLIDO	78
7.1.	DESCRIPCIÓN	78
7.2.	RESULTADOS	79
7.2.1.	CONFIGURACIÓN CON CUBIERTA SIMPLE Y VENTILACIÓN CERRADA (CSC)	80
7.2.2.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (CSA).....	82
7.2.3.	CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN CERRADA (CDC).....	84
7.2.4.	CONFIGURACIÓN DE CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (CDA)	86
7.3.	ANÁLISIS DE DATOS.....	87
7.3.1.	ANÁLISIS DIRECTO	87
7.3.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	91
8.	CONCLUSIONES	97

8.1.	GENERALES.....	97
8.2.	GEOMETRÍA.....	97
8.3.	MATERIAL.....	98
8.3.1.	CÁMARA DE AIRE.....	98
8.3.2.	SOMBREADO	99
8.4.	VENTILACIÓN.....	99
8.5.	PARÁMETROS SUGERIDOS	99
8.6.	APLICACIONES MULTIPROPÓSITO	102
9.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y PROYECTOS.....	104
	BIBLIOGRAFÍA.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Refugio con carpas. Clima cálido. Emergencias en Mocoa, Putumayo marzo 2017.	14
Figura 2 Refugio autoconstruido Bajo la dirección de la Cruz Roja Colombiana. Material polietileno. Clima cálido. Costa caribe colombiana. 2016.....	15
Figura 3 Árbol de problemas	16
Figura 4 Árbol de objetivos	17
Figura 5 Metodología experimental. Actividades	23
Figura 6 Plan de trabajo. Gantt	24
Figura 7 Yurta. Mongolia 2008. Fuente Panoramio. Fotografía Seara	25
Figura 8 Tienda de campaña. www.Coverttechnology.es	26
Figura 9 Tienda para glamping. Niddo Suesca Colombia	27
Figura 10 Implementación de shelter kit. IFRC. Filipinas 2012.....	28
Figura 11 Proyecto Esfera.....	29
Figura 12 Proyecto Speedkit. www.speedkit.eu	32
Figura 13 Clúster. Plataforma humanitaria.	33
Figura 14. Esquema de gestión e investigación.....	35
Figura 15 Ficha Carpa Shelter Box.....	37
Figura 16 Ficha tienda defensa civil	37
Figura 17 Ficha Carpa Federación	38
Figura 18 Domos. LEHO SAS.	38
Figura 19 Climas en Colombia. Ideam. 2012	39
Figura 20 Locaciones seleccionadas para las pruebas de campo.....	41
Figura 21 Parámetros Requeridos según tipo de uso.....	44
Figura 22 Esquema de sensores	45
Figura 23. Prototipos para experimentos de campo.....	49
Figura 24 Domos de medición en PNN Cocuy	50
Figura 25 Domo y tienda. Medición en clima frio	61
Figura 26 Bóveda. Medición en clima frio	61
Figura 27 Equipos complementarios facilitados por el colegio Rochester.....	62
Figura 28 Prototipos instalados en clima cálido en configuración de doble cubierta y ventilación cerrada.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros Requeridos	42
Tabla 2 Matriz para la Toma de Datos.....	46
Tabla 3 Variación térmica día 1	54
Tabla 4. Tiempos de comportamiento térmico dentro y por encima del rango de confort	55
Tabla 5. Tiempos dentro de los rangos según uso	73
Tabla 6. Análisis estadístico unidimensional. Clima frío (ver en detalle anexo...)	76
Tabla 7. Análisis estadístico bidimensional. Clima frío (Ver en detalle anexo...).....	77
Tabla 8 Tiempos dentro de los rangos según uso	90
Tabla 9. Análisis unidimensional (ver en detalle anexo...).....	92
Tabla 10. Análisis multidimensional (Ver en detalle anexo...).....	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1 Variación térmica temperatura exterior	51
Gráfica 2 Variación térmica temperatura entre las dos cubiertas del prototipo.	52
Gráfica 3 Variación térmica temperatura interior posición alta (160 cm)	52
Gráfica 4 Variación térmica temperatura interior posición baja (40 cm).....	53
Gráfica 5 Variación térmica temperatura interior dentro de contenedor (40 cm)	53
Gráfica 6 Comportamiento higrotérmico de un prototipo en relación a los rangos definidos según los requerimientos de uso.....	59
Gráfica 7. Comportamiento térmico. FDC.....	63
Gráfica 8. Comportamiento térmico FDA.....	65
Gráfica 9. Comportamiento térmico FSA	67
Gráfica 10. Comportamiento térmico FSC	69
Gráfica 11. Temperaturas máximas	71
Gráfica 12. Temperaturas mínimas	72
Gráfica 13. Humedad relativa mínima	72
Gráfica 14. Humedad relativa máxima	73
Gráfica 15. Comparativo simultaneo Temperatura.....	74
Gráfica 16. Comparativo simultaneo HR	75
Gráfica 17 Comportamiento térmico CSC	80
Gráfica 18 Comportamiento térmico CSA	82
Gráfica 19 Comportamiento térmico CDC.....	84
Gráfica 20 Comportamiento térmico CDA	86
Gráfica 21. Temperaturas máximas	87
Gráfica 22 Temperaturas mínimas	88
Gráfica 23. Humedad relativa máxima	88
Gráfica 24. Humedad relativa mínima	89
Gráfica 25. Comparativo simultaneo. Temperatura.....	90
Gráfica 26. Comparativo simultaneo. HR	91
Gráfica 27. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta simple + Ventilación abierta. Clima cálido. 3D.....	93

Gráfica 28. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta simple + Ventilación abierta. Clima calido	94
Gráfica 29. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta doble + ventilación abierta. Clima cálido. 3D.....	95
Gráfica 30. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta doble + Ventilación abierta. Clima cálido	96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plan de trabajo. Diagrama de Gantt.....	99
Anexo 2. Clasificación climática en Colombia	100
Anexo 3. Experimento de campo piloto. PNN. Cocuy. Tabla de datos	105
Anexo 4. Experimento de campo clima frio. Tabla de datos y graficas	110
Anexo 5. Experimento de campo clima frio. Tabla de datos y graficas	142
Anexo 6. Análisis de datos. Tabla general	174
Anexo 7. Tiempos dentro de los rangos de uso	179
Anexo 8. Temperaturas máximas y mínimas	180

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente cuando se presentan emergencias y desastres, la infraestructura vital de respuesta, se basa en soluciones espaciales livianas en textiles. (Davis Ian 1980) Estas soluciones se escogen debido a que su bajo peso, facilita los procesos de logística de transporte y reduce los tiempos de montaje. Sin embargo, y a pesar de sus ventajas, las estructuras livianas de membranas normalmente usadas, son soluciones de dos tipos: productos importados o soluciones improvisadas con materiales locales. En el primer caso (ver un ejemplo en Figura 1), estas soluciones conllevan una alta carga de emisiones y energía contenida, resultado de la fabricación y transporte internacional, lo que las hace soluciones poco sostenibles desde la dimensión de ciclo de vida. En el segundo caso (ver un ejemplo en Figura 2), las soluciones no cuentan con el desarrollo adecuado y se presenta desperdicio de material, mal uso de los recursos y corta vida útil. En ambos casos, se presentan bajos niveles de adaptabilidad a las necesidades y contexto local, poca evolución de uso y pobres niveles de confort térmico, lo que a su vez redundaría en afectación de la salud de los usuarios (víctimas y asistentes), desuso y genera una pérdida económica importante.



Figura 1 Refugio con carpas. Clima cálido. Emergencias en Mocoa, Putumayo marzo 2017.



Figura 2 Refugio autoconstruido Bajo la dirección de la Cruz Roja Colombiana. Material polietileno. Clima cálido. Costa caribe colombiana. 2016

No obstante, al respecto de la arquitectura textil y gracias a la evolución de materiales (membranas), se ha presentado un gran avance en las últimas décadas, las cuales se mantienen en soluciones de gran escala y de uso casi siempre permanente (ver <http://www.tensinet.com>) y a pesar de la alta frecuencia con que se presentan emergencias y desastres producidos por causas naturales o antropogénicas, esta evolución en la arquitectura textil aún no se ha transferido a las soluciones que usan los organismos de asistencia humanitaria, no se aplican criterios de alto desempeño, de eficiencia energética y de confort mínimo, generando una afectación importante en la calidad de vida de las víctimas y el personal de atención de los organismos de asistencia humanitaria, a lo que se suma un alto impacto ambiental ocasionado por el uso de soluciones foráneas, poco adaptables y de baja flexibilidad o evolución.

La figura 3, ilustra el árbol de problemas de esta situación, en la cual se evidencia las causas del problema y las consecuencias de no tener la formación y la información adecuada para la aplicación de textiles, lo que repercute indirectamente en la salud, la resiliencia y los costos asociados a los procesos de reconstrucción.

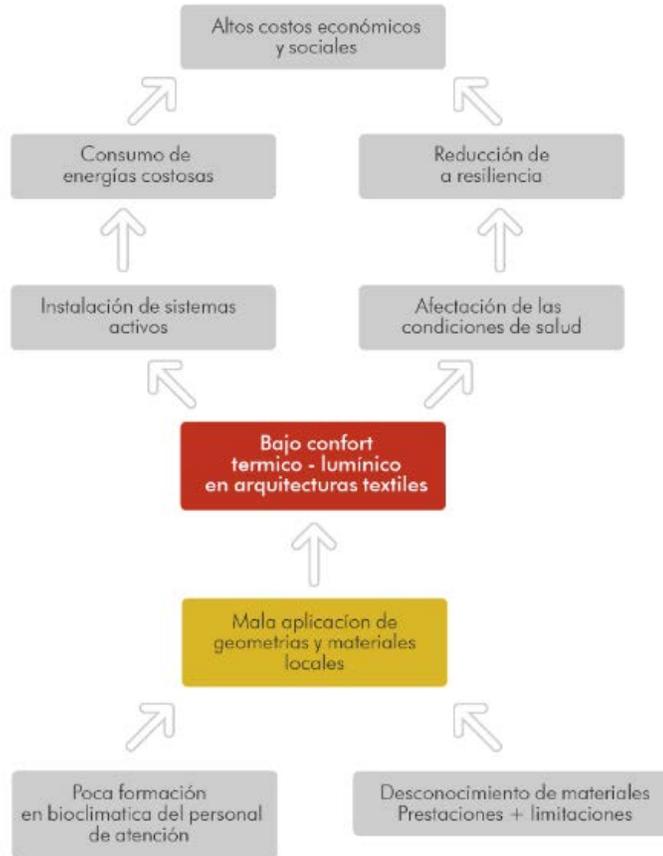


Figura 3 Árbol de problemas

1.2. RELEVANCIA

Este proyecto es relevante por dos razones principales: La cantidad de personas que se ven afectadas por el problema, las consecuencias que este proyecto pretende resolver o minimizar y la relación directa, que existe entre el confort de un hábitat como el de atención post emergencia y la maestría de hábitat sustentable y eficiencia energética.

Solo en Colombia, según cifras de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, anualmente se atienden alrededor de 10.000 familias afectadas por algún tipo de desastre natural, de las cuales, alrededor de 2.000 familias, tienen daños graves o pérdidas totales de vivienda. Esa cifra puede aumentar si se consideran las víctimas en otras partes de América Latina o el mundo, donde el resultado de este trabajo puede ser de utilidad. Pero, más allá del confort directo de los hábitats post desastre, es importante tener en cuenta las consecuencias de no resolver los problemas de confort en este tipo de hábitats, los cuales pueden generar problemas de salud, afectación de la resiliencia de las

comunidades vulnerables y en última instancia, un alto costo económico en atención, la salud pública y el desarrollo y recuperación de las dinámicas sociales. (Banco Mundial 2012)

El segundo argumento se basa en la relación directa que existe entre el conocimiento disciplinar de la Maestría en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética, y el confort y desempeño térmico de las soluciones arquitectónicas. En este caso específico, los espacios multipropósito requeridos para la atención de emergencias y desastres, presentan retos específicos asociados a la bioclimática, en relación a factores específicos que pueden ser controlados, modificados y optimizados con el conocimiento y las competencias que se desarrollan en la maestría.

Los tres objetivos en la base de la figura 4 del árbol de objetivos, son la conexión directa con la pertinencia de la aplicación de la maestría en esta situación, que se espera tenga un impacto positivo en los objetivos que se encuentran relacionados en la parte superior del árbol de objetivos.

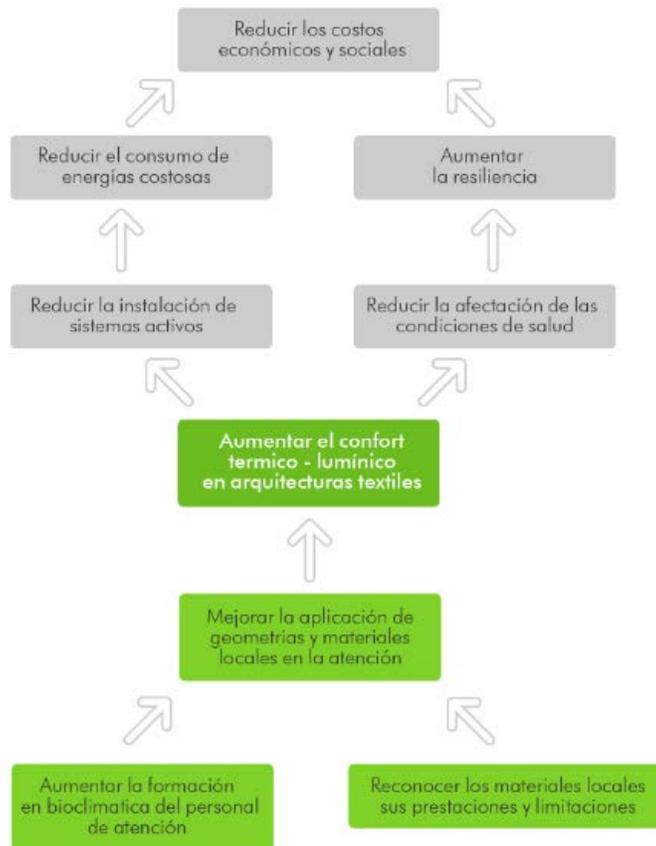


Figura 4 Árbol de objetivos

1.3. BENEFICIARIOS - AUDIENCIA

Directos: Operadores de asistencia humanitaria. Contratistas de los organismos de atención de emergencias y desastres

Indirectos: Usuarios, Víctimas. Fabricantes de textiles y membranas. Fabricantes de carpas y aplicaciones de textiles y membranas arquitectónicas o espaciales.

1.4. HIPÓTESIS

Las arquitecturas textiles usadas en la atención de emergencias y desastres en Colombia, pueden ser mejoradas de manera eficiente, (ajustando solo la envolvente y sus configuraciones de geometría y ventilación y aprovechando la radiación solar) para que logren un comportamiento eficaz (que permita que estas soluciones tengan temperaturas y humedades relativas cercanas a los rangos requeridos de acuerdo a usos específicos en climas definidos) y aumenten su efectividad (mejorando el confort de los usuarios, los tiempos de procesamiento o cultivo o la vida útil de los elementos almacenados).

1.5. PREGUNTAS

¿Cuál es el impacto de las membranas producidas industrialmente en el país, su configuración y geometría, en el comportamiento térmico de las estructuras espaciales livianas, basadas en membranas usadas, en la respuesta ante emergencias y desastres por parte de los organismos de asistencia humanitaria?

¿Puede la geometría aplicada en las soluciones de arquitectura textil, regular el comportamiento térmico de manera adecuada?

¿Cuáles son los aspectos materiales y geométricos clave para garantizar el potencial multipropósito de las soluciones textiles?

2. CAPITULO II. EL PROYECTO

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer los parámetros de diseño para que las arquitecturas textiles usadas en la atención de emergencias y desastres en Colombia, logren un comportamiento eficaz que permita que estas soluciones tengan temperaturas y humedades relativas cercanas a los rangos requeridos de acuerdo a usos específicos en climas definidos

2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar y estudiar el impacto de la geometría en el comportamiento térmico y el confort de las soluciones espaciales construidas con membranas y textiles.
- Explorar el potencial y limitaciones de los materiales locales (textiles y membranas) en el comportamiento térmico de las soluciones espaciales construidas con membranas y textiles.
- Identificar las combinaciones de materiales y geometrías que presentan el mejor comportamiento térmico y lumínico en función del uso y condiciones climáticas específicas a través de simulaciones y mediciones in situ.

2.2. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos específicos y general, y debido a los requerimientos de información, se ha identificado la metodología EXPERIMENTAL como la forma adecuada para obtener la información necesaria para poder cumplir con el objetivo de establecer parámetros. Aunque los objetivos plantean explorar el aspecto geométrico y de material por separado, la metodología los integra en la mayoría de los pasos y permitirá evaluarlos por separado en la fase de análisis de datos y llegar a conclusiones separadas e integradas. Ver figura 5.

MARCO TEORICO

Esta actividad está enfocada en encontrar los fundamentos relacionados con las arquitecturas textiles y la exploración teórica al respecto. Para tal fin se establecen las siguientes tareas:

- Recopilación de información base relacionada con la arquitectura textil, sus características, potenciales y limitaciones y generalidades.
- Colectar información sobre la arquitectura en relación a la atención de emergencias y desastres. Sus características, desarrollos, requerimientos, limitaciones y demás información.
- Colectar información sobre experiencias, diseños y desarrollos previos en el ámbito nacional e internacional sobre arquitectura textil especialmente aplicada a la atención de emergencias y desastres.

MARCO REFERENCIAL

Esta actividad tiene como objetivo establecer un marco de trabajo asociado específicamente a la asistencia humanitaria y los criterios y variables que desde esta área debe tener en cuenta el proyecto. Para tal fin se establecen las siguientes tareas:

- Recopilar información sobre los organismos de asistencia humanitaria que directa o indirectamente requieren arquitecturas textiles para la atención de emergencias y desastres, sus requerimientos y necesidades.
- Recopilación de información base relacionada con soluciones, materiales, geometrías y tipologías comúnmente usada y su relación con las condiciones de borde en los espacios según las actividades de asistencia humanitaria.
- Recopilar información e identificar los aspectos climáticos que ha de tener en cuenta este proyecto de acuerdo a los lugares de actividad de los organismos de atención de emergencias y desastres.

MATRIZ DE GEOMETRIAS Y MATERIALES

Esta actividad tiene por objetivo consolidar la información necesaria del marco teórico y referencial que defina los parámetros para el diseño del experimento de campo. Para tal fin se realizaron las siguientes tareas:

- Definir las condiciones de geometría, basadas en el marco referencial.

- Definir las condiciones de clima para el desarrollo de los experimentos de campo.
- Consolidar una matriz de posibilidades geométricas, combinaciones y configuración de materiales, secuencias de instalación, tamaños de acuerdo al uso y condición climática predominante.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE CAMPO

Esta actividad se enfoca en el diseño del experimento de campo, con base en el marco teórico, el marco referencial y la matriz de geometrías y materiales. Para lograr esta actividad, se desarrollaron las siguientes tareas:

- Determinar los materiales a probar y evaluar en los experimentos de campo
- Determinar las configuraciones de ventilación a instalar y medir en los experimentos de campo.
- Especificar las geometrías y dimensiones a evaluar en los experimentos de campo.
- Determinar las condiciones de clima donde se realizarán los experimentos de campo.
- Determinar los requerimientos de uso que deben ser tenidos en cuenta para la evaluación de los experimentos de campo.
- Determinar el esquema de mediciones de los experimentos de campo.
- Determinar la forma de registro y toma de datos de los experimentos de campo.
- Diseñar y fabricar prototipos físicos de las opciones de diseño seleccionadas para la realización de los experimentos de campo.

EJECUCIÓN DE EXPERIMENTOS IN SITU

Esta actividad tuvo por objetivo, llevar a cabo el componente práctico de la actividad anterior y para tal fin se realizaron las siguientes tareas:

- Gestión de permisos y logística para el desarrollo de los experimentos

- Transporte de los prototipos y equipos a los puntos de realización de los experimentos de campo.
- Instalación de prototipos y medición de comportamiento térmico en campo.
- Recolección y consolidación de datos de mediciones de las pruebas in situ.

ANÁLISIS DE DATOS

Esta actividad tiene como objetivo el procesamiento de los datos recolectados en los experimentos de campo, de tal manera que permitan y faciliten la generación de conclusiones enfocadas en la pregunta e hipótesis del proyecto. Para tal fin se realizaron las siguientes tareas:

- Identificación de comportamientos de borde en cada uno de los prototipos y configuraciones.
- Comparación de momento específicos y mediciones simultaneas de sensores y/o prototipos.
- Identificación de las configuraciones y geometrías que más se aproximaron al comportamiento térmico requerido de acuerdo a uso y clima.

CONCLUSIONES

Esta actividad tiene por objetivo sintetizar la información resultado de la actividad de procesamiento de datos. Para completar esta actividad, se realizaron las siguientes tareas:

- Formular conclusiones generales y por aspectos específicos (geometría, material, ventilación)
- Formular los parámetros y criterios de diseño sugeridos a tener en cuenta en las arquitecturas textiles para atención de emergencias y desastres.

La figura 5, plantea el esquema de actividades relacionadas directamente con la metodología, la cual a su vez está relacionada con los objetivos específicos de este proyecto.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

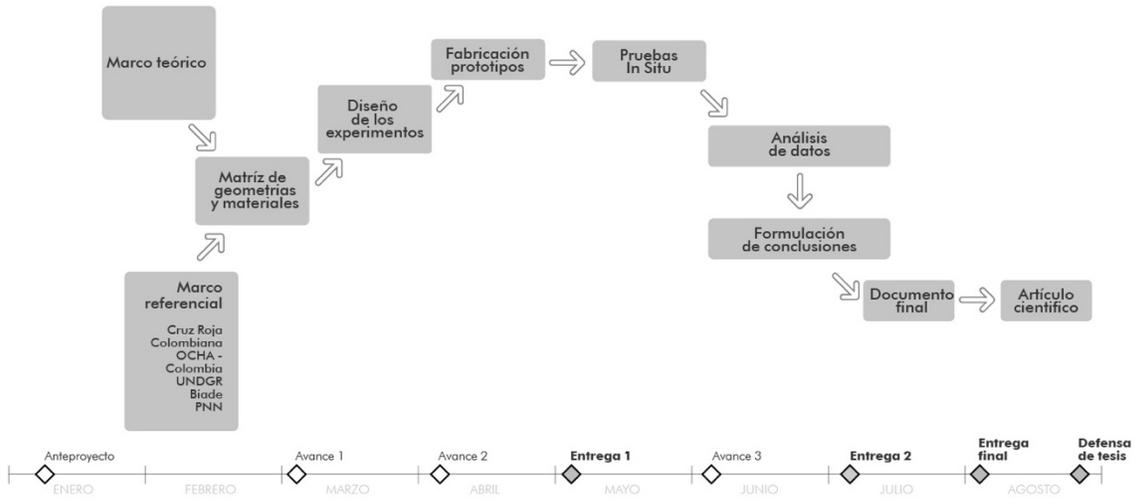


Figura 5 Metodología experimental. Actividades

2.3. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo formulado para desarrollar este proyecto, tomó en cuenta los tiempos disponibles, el personal de apoyo (asesores y proveedores) y los recursos económicos y físicos disponibles para realizar todos los pasos y desarrollos necesarios.

Al respecto de la programación en detalle, se pueden consultar las actividades, tareas y tiempos en el ANEXO 1 Programación tabla de Gantt:

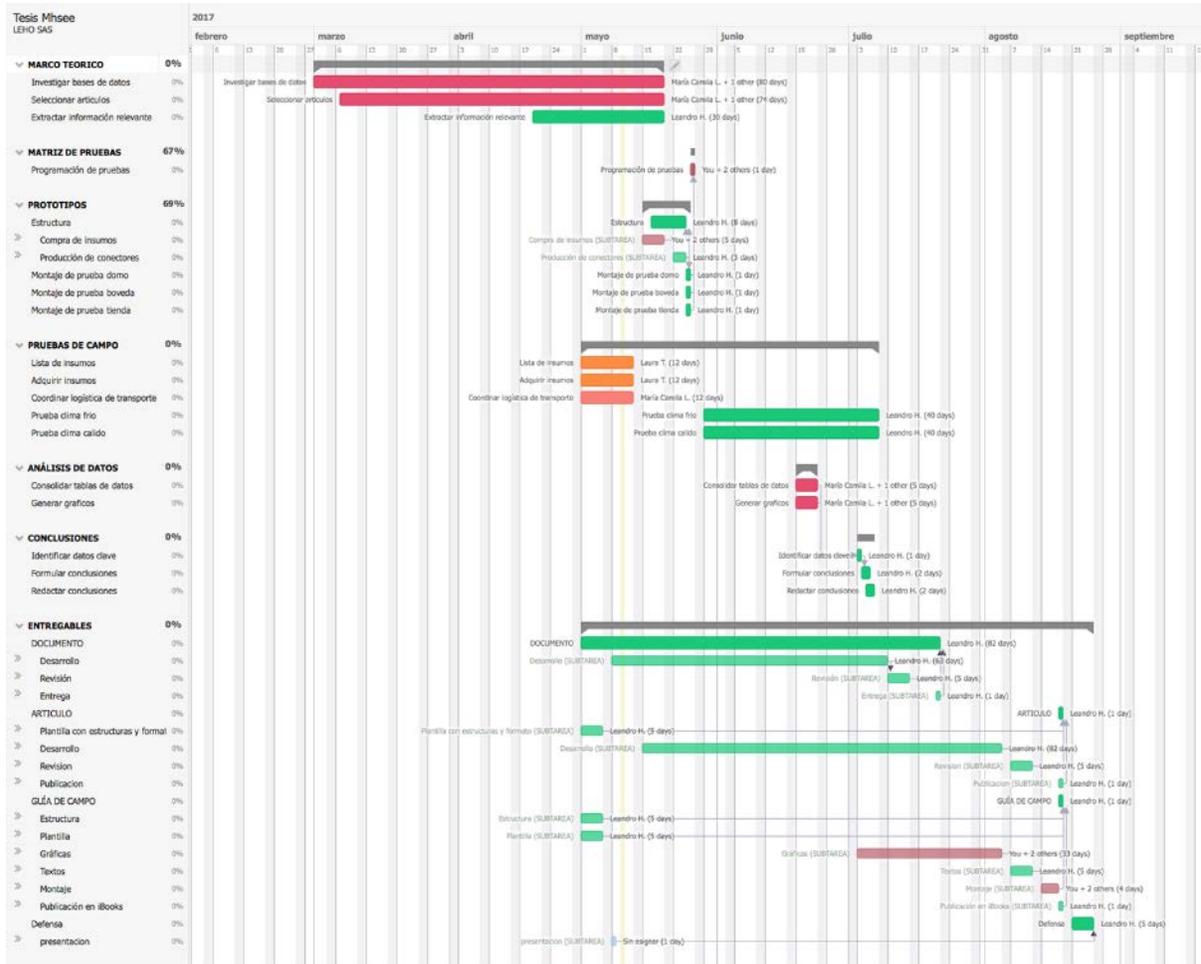


Figura 6 Plan de trabajo. Gantt

Con base en las actividades planteadas, se han realizado avances parciales en distintas actividades que a su vez han permitido perfeccionar varios de los procesos de simulación, pruebas in situ y formular conclusiones preliminares.

2.4. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este proyecto se puede abordar desde la perspectiva teórica con base en tres temas clave, que permiten identificar aspectos, formas y criterios para el aprovechamiento de la arquitectura textil en el contexto complejo de la atención de emergencias y desastres.

2.4.1. ARQUITECTURA TEXTIL

La arquitectura textil en sí misma ha sido un tema recurrente en el interés de varios académicos con múltiples aplicaciones, desde usos temporales hasta aplicaciones permanentes, se han desarrollado

extensos documentos e investigaciones que dan cuenta de un detallado análisis de diversos aspectos como la forma, la estructura, su comportamiento ante aspectos medioambientales entre otros.

Los registros más antiguos indican un origen de la arquitectura textil en pueblos nómadas y guerreros que se ha usado hasta nuestros tiempos siempre y cuando exista el carácter de provisionalidad y movilidad (Monjo Carrió 1985), el cual en este nuevo siglo se hace más evidente en la atención de emergencias y desastres, pero también en arquitecturas más permanentes que exploran otros tipos de lenguajes arquitectónicos.



Figura 7 Yurta. Mongolia 2008. Fuente Panoramio. Fotografía Seara

Las primeras membranas aplicadas éstas soluciones se basaban en pieles de animales; más adelante el tejido con fibras naturales reemplaza y sustituye las pieles, siendo estas últimas producibles en mayor tamaño, formas y colores. Actualmente los tejidos han dado pasos a fibras sintéticas que ha permitido superar el rendimiento y comportamiento de las telas tejidas.

Monjo Carrió, fija los años 60 como la década que marca la irrupción de estas soluciones de la mano del arquitecto alemán Otto Frei que, junto con los militares, ha jugado un papel de conservación y

transmisión de la tradición del uso de los textiles en las tiendas de campaña bajo una premisa funcional y de carácter provisional.



Figura 8 Tienda de campaña. www.Covertchology.es

Desde la perspectiva funcional es posible lograr grandes espacios cubiertos con un costo relativamente reducido, una gran velocidad de ejecución basado en el bajo peso que puede tener los textiles ($< 1 \text{ Kg/M}^2$) y si bien los textiles se consideran un material pobre en términos de aislamiento, es un material rico en la medida que facilita la transmisión luminosa y mejora el contacto con el entorno.

Es también muy relevante entender que las arquitecturas textiles tienen la posibilidad de tener un comportamiento mecánico muy eficiente en la medida en que desde el diseño su desarrollo vaya más allá de lo simplemente decorativo, llevando los textiles a un comportamiento estructural activo a través de tenso estructuras, donde las membranas gracias a apoyos puntuales o perimetrales puede hacer parte de la decisión que garantice la integridad de la estructura.

Desde la perspectiva medioambiental, se plantean aspectos importantes que se encuentran de manera más específica en la conferencia aspectos medioambientales en la arquitectura textil del año 2003 de la profesora Marijke Mollaert. En esta conferencia la profesora explora aspectos relacionados con el rendimiento térmico de las membranas donde advierte que, aunque tienen bajo peso y puede ser útiles y efectivas para emergencias y desastres, posee unos valores U muy bajos. La conductividad térmica puede ser de $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ para membranas sencillas hasta $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ para

membranas aisladas y por ello es importante entender que las membranas sencillas más que una barrera ante factores climáticos, se puede aplicar mejor si se considera un filtro. También es claro que la translucidez que se puede lograr en algunas membranas, es un factor clave a tener en cuenta con respecto a la captura de energía. Adicionalmente la profesora Mollaert indica que la condición de transparencia y translucidez ayuda reducir los costos de energía por iluminación durante el día.

También es claro que esta radiación solar que puede penetrar una membrana durante el día permite concebir las envolventes bajo la lógica del efecto invernadero, de tal manera que esta energía se pueda almacenar en elementos con masa térmica que permitan tener unos niveles de radiación térmica aceptables durante la noche y cuando no se cuente con esta ganancia externa. La profesora Mollaert concuerda y confirma al profesor Monjo, cuando indica también la importancia de tener puntos altos y bajos de tal manera que sea factible instalar ventilaciones cruzadas para reducir y prevenir un sobre calentamiento de los espacios desarrollados con membranas.



Figura 9 Tienda para glamping. Niddo Suesca Colombia

De manera complementaria, la profesora presenta también la posibilidad de aplicar membranas en sistemas de muro trombé que permitan circular aire y recalentarlo.

Desde la perspectiva estructural, las soluciones con membranas presentan una ventaja importante en la medida en que con ellas es posible generar formas aerodinámicas que permita acelerar el viento y facilitar la ventilación natural, en este caso son clave para tener una refrigeración natural y la extracción de aire viciado.

Por supuesto el confort interno en este tipo de construcciones depende en gran medida de parámetros de diseño correctamente desarrollados, sin embargo, es claro que debido a que estos sistemas no se regulan automáticamente, depende también de la habilidad de los ocupantes para manejar y adaptar las configuraciones de estas estructuras durante el día y la noche, especialmente en lo relacionado a la configuración de ventilación.

En términos de iluminación la profesora Mollaert indica que una transmisión del 6% es suficiente para trabajar sin iluminación artificial durante el día y hay que tener en cuenta que un brillo excesivo puede causar encandilamiento que pueden ser evitado utilizando difusores de luz y ajustando la reflectividad de las superficies de trabajo. (Mollaert Marijke 2001)

2.4.2. ARQUITECTURA Y EMERGENCIAS

Desde la emergencia, la arquitectura textil se ha estudiado y elaborado siempre desde la perspectiva de refugio temporal o provisional. (Architecture for Humanity / Stohr 2006)

Como tal, no existe un modelo universal de aplicación y desde ese punto de partida Roberto Maffei en el 2012 en su proyecto doctorado, plantea una reflexión interesante entre las aproximaciones “All in one” y la posibilidad de desarrollar estas soluciones basadas en componentes de acuerdo a la participación de voluntarios y comunidades vulnerable. Desde esta perspectiva la forma para a un segundo pues empieza a ser susceptible a las habilidades de quien fabrica e instala, a la disponibilidad de recursos entre otros factores. (Roberto Maffei 2012)



Figura 10 Implementación de shelter kit. IFRC. Filipinas 2012

Dentro del sistema de atención humanitaria el Proyecto Esfera, es el documento clave en el desarrollo de soluciones para la atención de emergencias y desastres. Tiene un capítulo especialmente dedicado al refugio y aunque plantea estándares mínimos universales que son muy útiles en términos de tamaño, no tiene especificaciones relacionadas con refugios desarrollados con membranas o textiles. Entre la página 297-300, el manual incluye lineamientos básicos de alojamiento que debe tenerse en cuenta ante climas fríos, climas cálidos secos, climas templados y húmedos, sin embargo, la referencia material sólo indica el uso de materiales locales, sin dar lineamientos para la aplicación de arquitecturas textiles. (Cruz Roja - Media Luna Roja 2011)

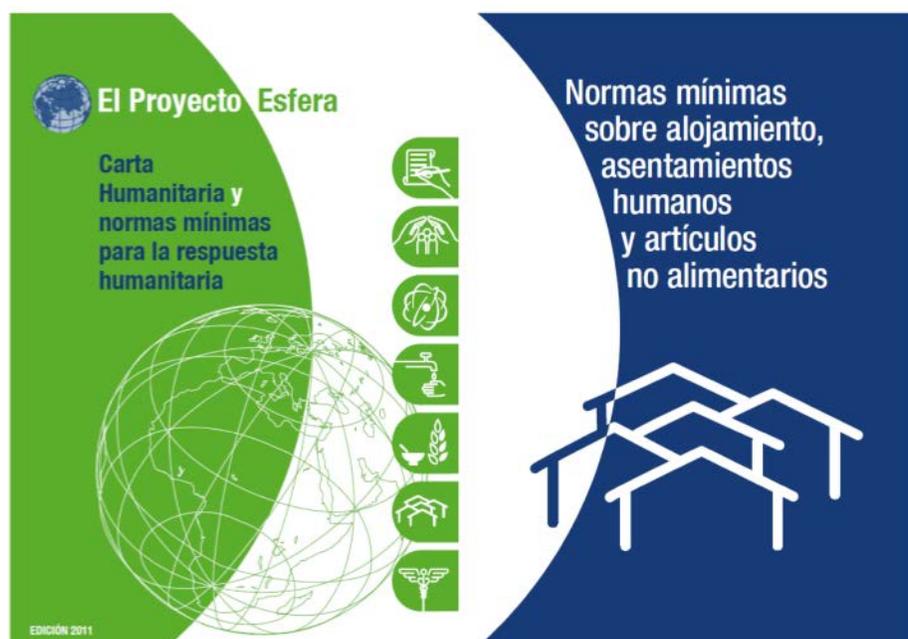


Figura 11 Proyecto Esfera.

2.4.3. APLICACIONES EN EMERGENCIAS Y DESASTRES

Membranas para refugios, un estudio comparativo para los trabajadores de asistencia humanitaria en la selección de materiales textiles, es uno de los más interesantes trabajos que fue desarrollado en equipo entre la Universidad técnica de Eindhoven, la unidad de investigaciones para refugios de la Federación internacional de la Cruz Roja y Centexbel. En ese trabajo se comprobaron varios materiales a los cuales se les hicieron pruebas de laboratorio y prueban en exteriores, se caracterizaron los materiales teniendo en cuenta su resistencia ante la rasgadura, la fuerza ante la atracción y la elongación, la permeabilidad del aire, la permeabilidad ante el vapor de agua, la

resistencia al agua, la opacidad, su comportamiento ante el fuego, el envejecimiento y su resistencia ante microorganismos y los costos relacionados con reparación y limpieza. Las conclusiones más importantes están relacionadas con el reconocimiento de que no existe un material universal de bajo costo y larga duración que se adapte a todas las condiciones climáticas. Por lo anterior es importante y muy recomendable desarrollar este tipo de espacios con una combinación de múltiples materiales. Este estudio recomienda usar un techo resistente al agua en PVC cubierto con PES, pisos en láminas de PVC cubierto con PES o PE laminado y muros en polialgodón para mantener una buena respiración de los espacios. (Buyle, Ine De Vilder, Virgo y Roel Gijbers 2016)

La profesora Mollaert aborda la aplicación de los textiles en tiendas para atención de emergencia, señala la importancia de aspectos claves relacionados con este tipo de soluciones bajo costo y alta duración, un plegado compacto, bajo peso y fácil transporte, resistencia ante el fuego, aceptación cultural y respeto por las tradiciones locales entre otros aspectos. En esta misma conferencia realiza un compendio de posibilidades de forma, basados en soluciones actuales, posibilidades técnicas, elementos estructurales y su gran versatilidad. (Mollaert Marijke 2001)

En término de sostenibilidad es importante tener en cuenta las posibilidades de reciclaje de los materiales con los que se construyen ese tipo soluciones. Aunque la expectativa de vida de materiales laminados y recubiertos va desde entre 15 a 30 años, este tipo de laminados reduce la posibilidad del reciclaje completo por lo que es importante tener en cuenta en estas combinaciones de soluciones materiales que no estén laminados y para los cuales se puede garantizar un proceso completo de reciclaje. Dentro de este tipo de materiales es posible tener en cuenta procesos que separen el PVC del poliéster, de tal manera que el PVC se pueda tener obtener en forma de polvo y el poliéster en forma de fibras.

Otro aspecto de sostenibilidad con respecto a la infraestructura de emergencias y teniendo en cuenta que rara vez se cuenta con espacios adecuados, durante el momento del desastre es viable utilizar arquitecturas livianas textiles, pues de la misma manera que estas han sido usadas por los nómadas, con un manejo adecuado no dejan rastro de su instalación en el sitio.

Dentro de la revisión teórica se encontró SPEEDKIT, este proyecto es de especial importancia e interés. En él participan varias empresas, organismos de asistencia humanitaria y universidades europeas. Este proyecto ha avanzado en el desarrollo de propuestas y estudios relacionados con

refugios, materiales y propuestas de diseño de soluciones se enfoca en la mayor eficiencia, durabilidad y confort posible para las comunidades en situación de vulnerabilidad.

Una de las propuestas más interesantes es denominada t3-capullo (T3-COCOON ver figura 7), que es básicamente una solución de cubierta pensada con postes y cuerdas y bajo la cual se puede desarrollar una habitación aislada. Esta propuesta tiene una especial participación de investigadores del departamento de ingeniería y arquitectura de la Universidad de Bruselas (VUB) quienes desarrollaron una labor enfocada en la estructura para garantizar una cubierta segura. Aunque hay una búsqueda y experimentación en relación a la forma, el énfasis de esta propuesta está relacionado con la estructura más que con el comportamiento térmico, que es el objeto de este proyecto, sin embargo, esta propuesta tiene en cuenta y analiza de manera similar algunos otros aspectos como el tema de la ventilación, el sombreado que son referencia importante en términos metodológicos para este proyecto. (Viscuso y Zanelli 2016)



Shelters

- Design and development of novel shelter kits for four different basic types of shelter:

- **Ultra light unit:** a short term solution for the very first hours
- **Collective unit:** an emergency shelter which could be removed or re-used for other purposes later
- **Family house unit:** the first version of a real house, to be used in the transitional period and later
- **Warehouse unit:** to be used for long term storage, medium span

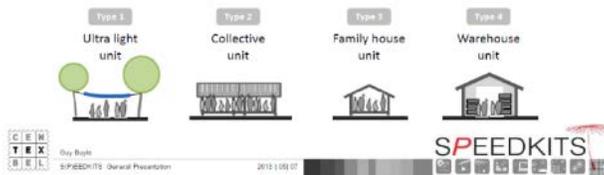


Figura 12 Proyecto Speedkit. www.speedkit.eu

2.5. MARCO REFERENCIAL

2.5.1. ORGANISMOS DE ASISTENCIA HUMANITARIA

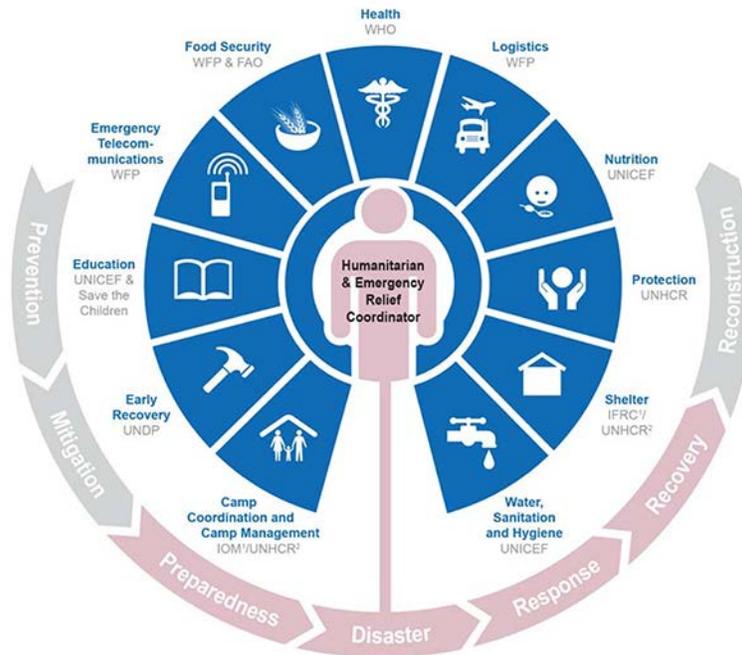


Figura 13 Clúster. Plataforma humanitaria.

<https://www.humanitarianresponse.info/es/coordination/clusters/what-cluster-approach>

Trabajar con asistencia humanitaria para atención de emergencias y desastres, implica entender una estructura colaborativa compleja a nivel global está determinada por las naciones unidos a través de la plataforma de respuesta humanitaria. Esta plataforma se estructura a través de organismos que coordinan actividades en áreas específicas para momentos previos, durante o posteriores al momento de emergencia.

Estas actividades específicas determinan también requerimientos importantes y directrices a nivel nacional, y local que para el caso de Colombia se enfoca en la Unidad Nacional de Atención de Riesgos y Desastres y organismos internacionales como la Cruz Roja Internacional.

Teniendo en cuenta la naturaleza de la aplicación del proyecto, se realizó una serie de entrevistas con integrantes de los organismos de asistencia humanitaria relacionados con el tema (Ver figura

9). Es de especial interés, la entrevista con Javier Olaya, Director de Respuesta Inmediata de la Oficina de Socorro Nacional de la Cruz Roja Colombiana, con quien fue posible identificar las tipologías de refugios usadas actualmente y los tipos de materiales más usados y accesibles a nivel nacional para este tipo de aplicaciones.

Esta Oficina ofrece dos tipos de soluciones listas para armar (prefabricadas) o para autoconstrucción.

Las soluciones pre construidas usualmente son en forma de tienda de campaña o bóveda, son soluciones recibidas por donación y no están disponibles para compra en el País. Debido a requerimientos especiales de uso, como instalaciones médicas y oficinas, han adquirido unidades como la *Western Shelter*, que resulta muy costosa (alrededor de \$ 1.300 USD por metro cuadrado) y de poca sostenibilidad, pues por la naturaleza de su diseño y producción, en caso de fallar, requeriría importación de piezas y transporte refacción fuera del País.

Por otro lado, y considerando los niveles disponibles de autoconstrucción, normalmente se compran materiales como polietileno negro o lona "*tarpauline*" (lonas de polipropileno laminado en formatos de 10 × 10 m con borde fileteado y perforaciones para sujeción con cuerdas). Las formas y geometrías para estas soluciones son básicamente tiendas de campaña y el criterio aplicado es facilidad constructiva, costo y posibilidades de desarrollo progresivo con compra de materiales In situ, la cual se puede dar en fases posteriores de la recuperación de las víctimas.

Adicionalmente, en esta entrevista fue posible identificar como principal usuario, a los operarios de asistencia humanitaria, quiénes son los encargados de construir los refugios antes de que lleguen las víctimas, las cuales se pueden encontrar en condiciones de extrema vulnerabilidad y pueden no estar en capacidad de participar en los procesos de montaje o construcción de refugios.

La Cruz Roja cuenta con soluciones que han recibido en donación y que eventualmente pueden estar disponibles para mediciones comparativas simultáneas con los prototipos que se medirían en este proyecto.



Figura 14. Esquema de gestión e investigación.

Esta labor permitió identificar distintos usos requeridos por los deferentes organismos de asistencia humanitaria, que pueden ser atendidos usando arquitecturas textiles entre los cuales destacan:

- Refugio. Este tipo de uso supone un uso temporal relativamente corto, pero de acuerdo a las condiciones socio políticas y económicas del lugar de la emergencia, se pueden prolongar durante meses o incluso años. Es un uso complejo que exige ocupación durante todo el tiempo.
- Saneamiento básico. Los refugios requieren de manera colectiva o familiar, el acompañamiento de espacios para saneamiento básico, que pueden incluir uso ocasional por parte de cualquier persona en términos de sanitarios, duchas e incluso procesamiento de residuos.

- Cocina y comedor. Los espacios de alimentación colectivos se pueden requerir de acuerdo a las necesidades del tipo de emergencia. Estos espacios pueden ser de usos ocasional o temporal.
- Aulas y Espacios productivos. Este tipo de uso se requiere también, de acuerdo a las características de la comunidad en situación de vulnerabilidad y hacen parte importante de los procesos de recuperación y resiliencia de los grupos humanos. Usualmente suelen ser espacios colectivos de tamaños variables.
- Agricultura. Menos frecuente pero especialmente útiles en climas fríos, las arquitecturas textiles aplicadas a invernaderos y espacios de cultivo protegido, pueden ser resueltos con arquitecturas textiles. Estos espacios pueden ser destinados para uso familiar o comunal, por lo que su tamaño puede ser variable.
- Puestos de mando e información. A nivel del personal de asistencia humanitaria, se requieren espacios de trabajo de uso intensivo especialmente en la fase de respuesta inmediata. Estos espacios funcionan como oficinas de coordinación inter institucional y puntos de información.
- Puestos de salud. Un aspecto clave de la asistencia humanitaria es la atención médica, la cual también puede ser resuelta en escalas específicas por arquitecturas textiles que deben responder a requerimientos de intimidad, salud y confort muy exigente.

2.5.2. SOLUCIONES USADAS ACTUALMENTE

Se realizó un seguimiento de las soluciones usadas actualmente la atención de emergencias y desastres en Colombia y se evidencia como modelos predominantes los siguientes:



Figura 15 Ficha Carpa Shelter Box

Elaboración Oscar Guevara. Documento de tesis de proyecto de grado. Diseño Industrial. Universidad el Bosque. Colombia. 2016



Figura 16 Ficha tienda defensa civil

Elaboración Oscar Guevara. Documento de tesis de proyecto de grado. Diseño Industrial. Universidad el Bosque. Colombia. 2016



Figura 17 Ficha Carpa Federación

Elaboración Oscar Guevara. Documento de tesis de proyecto de grado. Diseño Industrial. Universidad el Bosque. 2016

Estas soluciones presentan características de formas geométricas básicas, de fácil fabricación y construcción y uso de materiales cuyo principal requisito es la impermeabilidad. Por lo demás, las dimensiones están pensadas para economía productiva y funcionalidad mínima, pero no para un adecuado confort o comportamiento térmico específico. Tampoco están pensadas en términos de adaptabilidad climática o construcción progresiva o evolutiva.



Figura 18 Domos. LEHO SAS.

Adicionalmente, se encuentran disponibles en el mercado nacional otras alternativas, entre las cuales se identifica el domo tipo yurta. (ver figura 13) Aunque esta alternativa es un poco más compleja productivamente que la bóveda, es viable como alternativa y presenta otras ventajas de resistencia y facilidad de montaje, que la hacen una alternativa interesante para este proyecto.

2.5.3. CLIMA

Los organismos de asistencia humanitaria operan en todas las regiones del País, el cual presenta un alto grado de diversidad térmica y de humedad, de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar y la geografía. Para efectos de entender el clima en Colombia, el IDEAM como organismo dedicado al tema climático, presenta varias clasificaciones climáticas en Colombia, pero en general son escalas asociadas a las lluvias y muy enfocadas en temas agrícolas. Solo recientemente se está avanzando en clasificaciones de acuerdo al confort humano y que tengan mayor relación con la arquitectura.

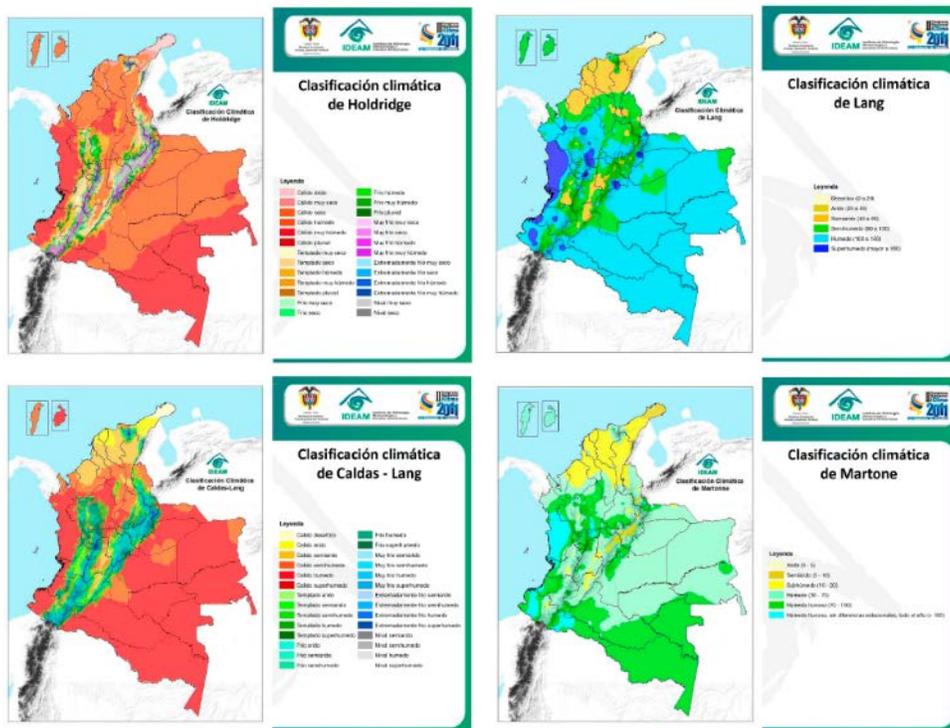


Figura 19 Climas en Colombia. Ideam. 2012

Para efectos de este trabajo se tiene en cuenta especialmente la clasificación Holdrige y Caldas-Lang pues combinan temperatura y humedad en distintas intensidades. (IDEAM 2011)

3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE CAMPO

Para realizar el experimento de campo, se desarrolló un paquete de elementos que considera aspectos como materiales, geometrías, climas, requerimientos de uso y configuraciones de envoltente, lo que permitió definir una herramienta para la recolección de datos.

3.1. ENVOLVENTE - MATERIALES

Luego de revisar los materiales disponibles localmente y con base en la información provista por el personal de campo de asistencia humanitaria, se identificaron dos materiales principales: Lonas de poliéster y láminas de polietileno. Estos materiales no cuentan con fichas técnicas adecuadas para este trabajo, los fabricantes no han realizado mediciones de aspectos clave como permeabilidad al vapor de agua, traslucidez, etc., que permitan adelantar simulaciones digitales o realizar comparaciones adecuadas.

Siendo las lonas de poliéster, el material más usado para este tipo de soluciones, se escogió como material de base para la fabricación de las soluciones textiles para este experimento.

Un aspecto importante, fue la decisión de probar con un solo color (Blanco) y explorar el comportamiento de acuerdo a la posibilidad de incluir una cámara de aire generada por una cubierta doble.

3.2. ENVOLVENTE – VENTILACIÓN

El aspecto de ventilación pasiva en los prototipos, llevó a plantear cuatro (4) ventilaciones tipo, de 40 cm de lado, en la parte inferior y dos (2) ventilaciones, en la parte superior, con portillas selladas con velcro, de tal manera, que se pueden explorar escenarios con las ventilaciones abiertas y cerradas.

3.3. GEOMETRÍAS

Luego de evaluar las topologías usadas actualmente según lineamientos de la IFRC, capacidad y facilidad productiva local y eficiencia del material, se identificaron las tres tipologías más usuales en la atención de emergencias y desastres en Colombia:

- Tienda de campaña. Esta tipología es de fácil fabricación y es de aplicación más usual.

- Bóveda. Esta tipología es menos usual que la anterior, sin embargo, se usa debido a las donaciones de la IFRC. Su envoltente es de fácil fabricación, aunque su estructura implica una mayor complejidad.
- Domo. Esta tipología es la menos usual de todas, sin embargo, es accesible y presenta un comportamiento aerodinámico muy eficiente. Los modelos que existen presentan una mayor complejidad en la fabricación de la envoltente y la estructura.

3.4. CLIMAS

Colombia es un país diverso en términos climáticos, sin embargo y debido a la frecuencia con se presentan situaciones de emergencias causados por desastres naturales, es posible evidenciar que no existe un único clima que sea de especial interés para este tipo de situación. Los desastres en Colombia se presentan en toda la región andina y la región caribe, la cual presenta climas desde los más fríos hasta los más cálidos, por lo que, para este ejercicio de medición, se considera evaluar solamente en dos climas extremos (cálido y frío) y que permita extrapolar datos para su aplicación en climas medios.



Figura 20 Locaciones seleccionadas para las pruebas de campo

Lo anterior, llevó a seleccionar dos lugares principales:

- La localidad de Chía, ubicada muy cerca de la ciudad de Bogotá, que está ubicada a 2.655 msnm y presenta climas fríos con presencia de alta humedad relativa.
- La localidad de Rivera en el departamento del Huila, que está ubicada a 452 msnm y presenta climas cálidos con humedades relativas variables durante el año.

3.5. REQUERIMIENTOS DE USO PARA LAS ARQUITECTURAS TEXTILES

De acuerdo a la información obtenida en las entrevistas del personal de campo para asistencia humanitaria y la información de los grupos de coordinación en la plataforma humanitaria, se identificaron los escenarios de uso más usuales y necesarios:

- Actividad humana diurna
- Actividad humana nocturna
- Almacenamiento
- Saneamiento básico para secado
- Saneamiento básico para compostaje
- Agricultura

Estos usos, a su vez permitieron identificar requerimientos específicos de temperatura y humedad relativa que, en algunos casos, difieren de acuerdo al clima. Estos parámetros serán la escala de referencia que permitirá evaluar el desempeño de los prototipos y configuraciones.

PARAMETROS REQUERIDOS		Alojamiento humana nocturna (Alojamiento)	Actividad humana diurna	Saneamiento básico (secado)	Saneamiento básico (compostaje)	Almacenamiento	Agricultura
Frio	Temperatura	14 - 22	14 - 22	18 - 65	18 - 65	10	18 - 40
	Humedad relativa	35% - 60%	35% - 75%	< 50%	50% - 75%	< 20%	> 50%
Calido	Temperatura	18 - 24	18 - 24	18 - 65	18 - 65	10	18 - 40
	Humedad relativa	35% - 75%	35% - 75%	< 50%	50% - 75%	< 20%	> 50%
Sensor clave		Inferior	Superior	Ambos	Ambos	Ambos	Inferior

Tabla 1 Parámetros Requeridos

El proceso de investigación basado en la experiencia de campo y experiencia específica, en los usos específicos identificados, arrojó una serie de rangos de temperatura y humedad relativa (ver tabla 1), de acuerdo a cada uso y también en relación a los climas específicamente con el aspecto de confort humano. Vale la pena aclarar que la información base para definir estos rangos, no está fundamentada en investigaciones académicas, sino en conocimiento empírico y experiencia de las personas entrevistadas en áreas como ingeniería ambiental, agricultura y asistencia humanitaria.

En términos de actividad humana nocturna y diurna, el rango de temperatura de confort está ubicado entre 14° y 22° para clima frío y 18° y 24° para clima cálido. Por su parte, la humedad relativa requiere un rango ideal para clima frío de 35% a 60%; una relativa muy alta genera una sensación térmica muy baja. Por otro lado, en clima cálido, la humedad relativa ideal oscila entre un 35% a un 75%. Las humedades relativas en porcentajes inferiores, pueden generar deshidratación y afectaciones en la piel.

Con respecto al saneamiento básico se identificaron dos procesos importantes que requieren condiciones de temperatura y humedad relativas diferentes. Ambos procesos, tienen por objeto, neutralizar el riesgo biológico. Sin embargo, difieren en el objetivo de generar un bioinsumo útil para procesos agrícolas.

El saneamiento básico para secado, que no busca específicamente un bioinsumo, puede funcionar con temperaturas altas (siempre superiores a 18°) y humedades relativas bajas. Por su parte, el saneamiento básico para compostaje, requiere respetar un rango de entre 18° y 65°, dentro del cual, los microorganismos que realizan el procesamiento de los residuos, sobreviven y son efectivos en condiciones óptimas y la humedad relativa debe mantenerse entre un 50% y un 75% para garantizar un alto valor nutritivo del bioinsumo resultante a ser usado en procesos agrícolas.

Los procesos de Agricultura, en cualquier caso, requieren temperaturas superiores a los 18 °C pero que no superen los 40 °C cuando la vegetación se puede ver afectada, y debe mantenerse una humedad relativa superior al 50%.

El almacenamiento (alimentos e ítems no comestibles) requiere un rango mucho más específico y definido de temperatura donde se considera ideal, temperaturas alrededor a los 10 °C y humedad relativa inferiores al 20%. Este tipo del rango genera una mayor larga vida en los alimentos y reduce

la posibilidad de generación de hongos y otros elementos que reduzcan la vida útil de elementos no comestibles.

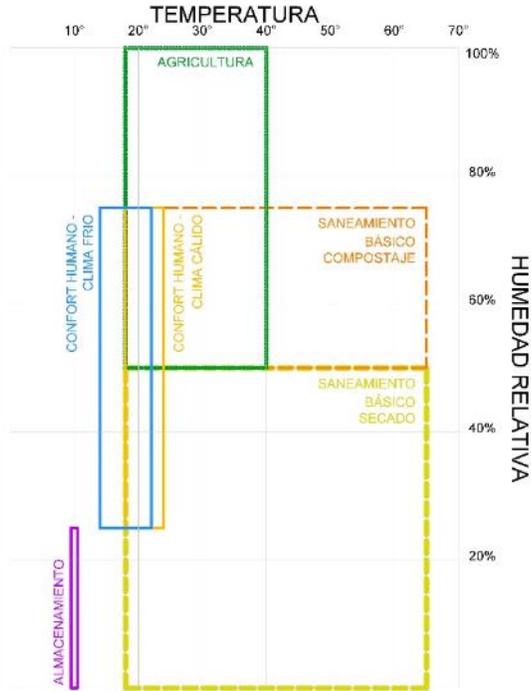


Figura 21 Parámetros Requeridos según tipo de uso

Como síntesis de análisis de estos parámetros, se desarrolló la figura 17, que permite entender una relación clara entre temperatura y humedad relativa de acuerdo a estos parámetros y con base en la cual, se evaluó el desempeño de los prototipos y sus configuraciones por escenario y clima.

Es importante aclarar en este aspecto, que las temperaturas asociadas a este trabajo no se manejarán con rangos estándar para arquitecturas fijas permanentes. Debido al tipo de uso y el nivel de confort adaptativo que se puede manejar en este tipo de situaciones, los rangos de temperatura definidos tienen por lo menos dos grados de tolerancia inferior y superior, en la medida en que para usos humanos se puede manejar de manera temporal o permanente, sistemas de calefacción o refrigeración activa, ropas, aislamientos complementarios, etc.

3.6. ESQUEMA DE MEDICIONES

Teniendo en cuenta los parámetros de uso, las geometrías y los climas, se instaló un esquema de sensores que permitió medir la temperatura y la humedad relativa en dos puntos del espacio interior de las geometrías. El primero, ubicado a 40 cm del piso, denominado sensor bajo (B), que midió las condiciones del clima en una posición relacionada con la altura de descanso de una persona en un alojamiento. El segundo punto, ubicado a 150 cm sobre el piso, denominado sensor alto (A), midió el clima a la altura promedio entre el pecho y la cabeza de las personas realizando actividades de pie.

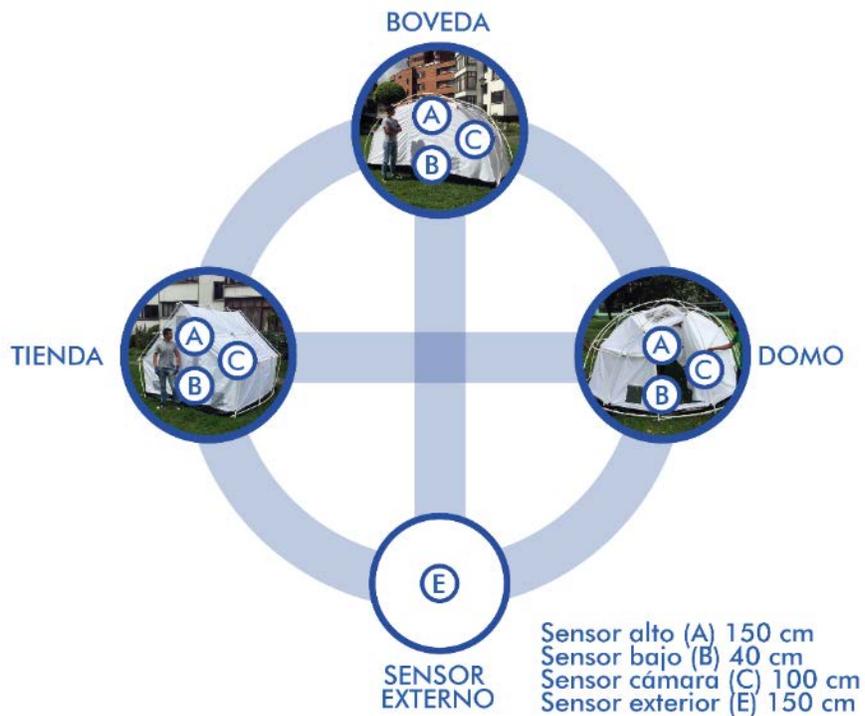


Figura 22 Esquema de sensores

Para el caso de los escenarios con doble cubierta se contó con un tercer sensor ubicado en esta cámara de aire. Denominado sensor cámara (C) Ver Prototipos 3.2.

Para efectos de verificar y poder controlar y medir el desempeño de estas geometrías, se instaló un sensor externo (E) que permitió tener una escala de comparación entre las temperaturas y humedades relativas interiores y exteriores. Ver Figura 18.

Debido a restricciones de logística y seguimiento diario de las mediciones, estas no se pudieron realizar por más de 24 horas y por ello se determinó una frecuencia de medición de 10 minutos durante 24 horas.

3.7. MATRIZ PARA TOMA DE DATOS

La compilación de todos los aspectos anteriores permitió desarrollar esta matriz que está pensada para recopilar los datos de mediciones que involucran tres prototipos, cada uno con cuatro configuraciones de cubierta y ventilación en dos climas distintos. Esta matriz da respuesta al putno metodologico de matriz de geometrias y materiales, pues aunque se trabaja con un solo material, da cuenta de la estructura de toma de datos en distintas geomtrias, configuraciones y climas.

MATRIZ PARA LA TOMA DE DATOS				
CLIMA	CONFIGURACIÓN	PROTOTIPO		
		DOMO	TIENDA	BÓVEDA
FRIO	Cubierta doble abierta FDA			
	Cubierta doble cerrada FDC			
	Cubierta simple abierta CSA			
	Cubierta simple cerrada CSC			
CÁLIDO	Cubierta doble abierta CDA			
	Cubierta doble cerrada CDC			
	Cubierta simple abierta CSA			
	Cubierta simple cerrada CSC			

Puntos de medición	144
Frecuencia	10 min
Rango	24 horas
Parámetros	HR + Temp

Tabla 2 Matriz para la Toma de Datos

Cada celda de medición incluyó como mínimo 24 horas de mediciones, con frecuencias de toma de datos de 10 minutos, donde se tomaron datos de humedad relativa y temperatura. Dependiendo de la configuración de cubierta, algunas celdas tuvieron dos o tres puntos de toma de datos con sensores independientes y siempre relacionados con sensores externos.

Debido a limitaciones de tiempo y recursos, esta matriz está hecha para mediciones sin ocupación. Por supuesto y para el caso de ocupación de humana, material en compostaje y vegetación que son condiciones que modifican las condiciones higrotérmicas, esta metodología requeriría duplicar la cantidad de mediciones, cosa que se considera necesaria y que se desarrollará en una fase posterior.

3.8. PROTOTIPOS

Teniendo en cuenta las geometrías ya definidas, el proceso de diseño de los prototipos se enfocó en resolver las dimensiones y para ello, se tuvieron en cuenta tres criterios fundamentales:

- Volumen de aire similar en los tres prototipos.
- Funcionalidad real de los espacios con base en ocupación humana.
- Eficiencia en el material de la estructura liviana.

En el proceso, se lograron encontrar dimensiones que corresponden a volúmenes similares de aproximadamente 14.5 m^3 , con estructuras que se pueden desarrollar con elementos flexibles de 1.00 ml y 1.20 ml con tubos de PVC y alturas libres mínimas de 1.90 m, lo que garantiza un uso funcional del espacio.

Respondiendo a los requerimientos de configuración de ventilación, todos los prototipos cuentan con ventilaciones inferiores y superiores, que se pueden controlar para configurar los espacios completamente cerrados o abiertos o con ventilaciones cruzadas.

En cuanto a materiales, se seleccionó la lona poliéster que ofrece el proveedor Lafayette pues garantiza mayor accesibilidad, equilibrio de costo beneficio y garantía. Sin embargo, este fabricante no ha desarrollado las fichas técnicas adecuadas para este proyecto, el cual debería incluir nivel de translucidez, porcentaje de permeabilidad al vapor de agua y otros aspectos clave. Aunque el proveedor ofrece varios colores, para efectos académicos se seleccionó el color blanco, teniendo en cuenta por anticipado que esto nos va a generar valores extremos, los cuales pueden ser luego ajustados usando sombreados y colores distintos para obtener menores valores de translucidez.

Y teniendo en cuenta los requerimientos de experimentación con base en el material, cuentan todos con doble cubierta, entre las cuales se dispuso un espaciado de 10 cm. Ver Figura 19



Figura 23. Prototipos para experimentos de campo

4. CAPÍTULO IV. EXPERIMENTO 1 – PNN COCUY. PILOTO

La primera prueba de campo se realizó gracias al apoyo de Parques Nacionales Naturales de Colombia, quienes mostraron interés en apoyar el proyecto, pues como misión, tienen la tarea de proteger áreas especiales que tienen potencial turístico, donde este tipo de infraestructuras se hacen necesarias.

De manera excepcional, se dió la posibilidad de realizar mediciones de prueba con un domo en un clima frío de alta montaña. Este primer ejercicio, permitió probar la metodología de la prueba en una medición corta de 36 horas, que fue la base para probar apuestas metodológicas de los experimentos de campo y con base en el cual posible definir y precisar las características de los experimentos de campo en clima frío y clima cálido. El experimento piloto se realizó con las siguientes condiciones.

4.1. DESCRIPCIÓN



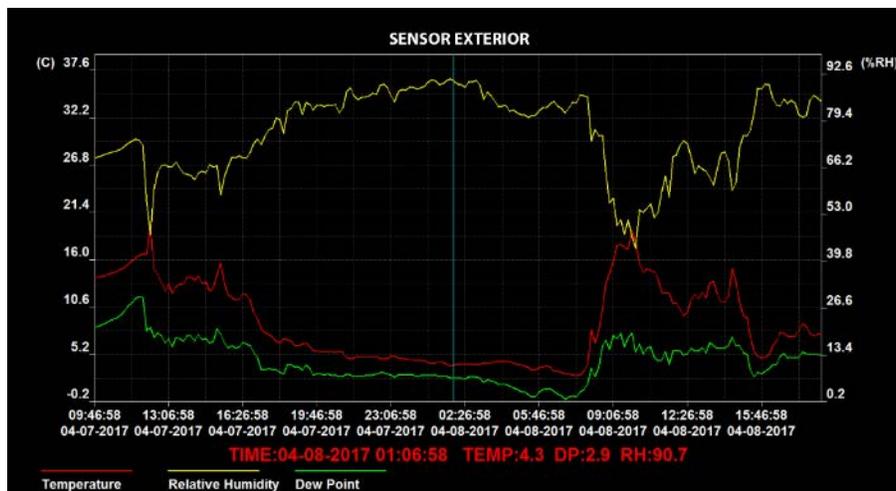
Figura 24 Domos de medición en PNN Cocuy

- Prototipo: Domo
- Locación: Portón de lagunillas. Parque Natural El Cocuy
- Altura: 4000 msnm
- Fecha: abril 8 de 2017

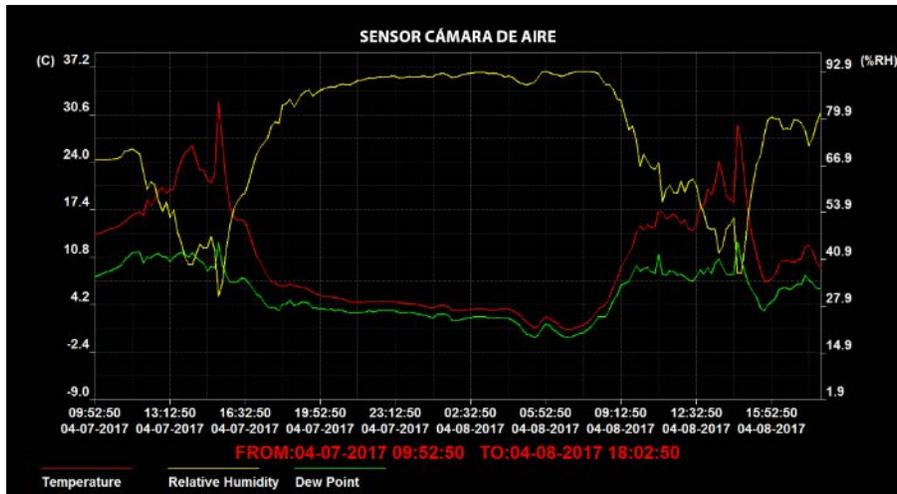
- Sensores: Exterior (1) interior (2, uno a 40 cm y otro 150 cm del piso) semi interior (1 entre las dos cubiertas) uno adicional dentro de un contenedor cerrado (1). Cinco sensores en total.
- Configuración del prototipo: Cerrado
- Ocupación humana nocturna: No
- Radiación solar directa: No
- Lluvia: Si
- Viento: No medido
- Sensor: Extech RHT10
- Frecuencia de medición: 10 minutos

4.2. RESULTADOS

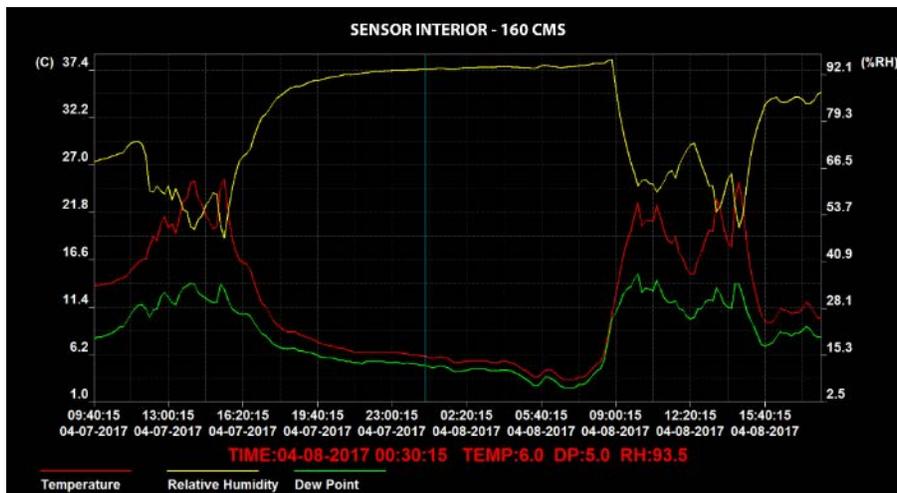
Como resultado de esta prueba preliminar, se obtuvieron 198 puntos de medición, tomados con intervalos de 10 minutos y distribuidos en 33 horas. (ver anexo 3) Estos resultados se graficaron utilizando el software del sensor con el cual se obtuvieron las siguientes gráficas.



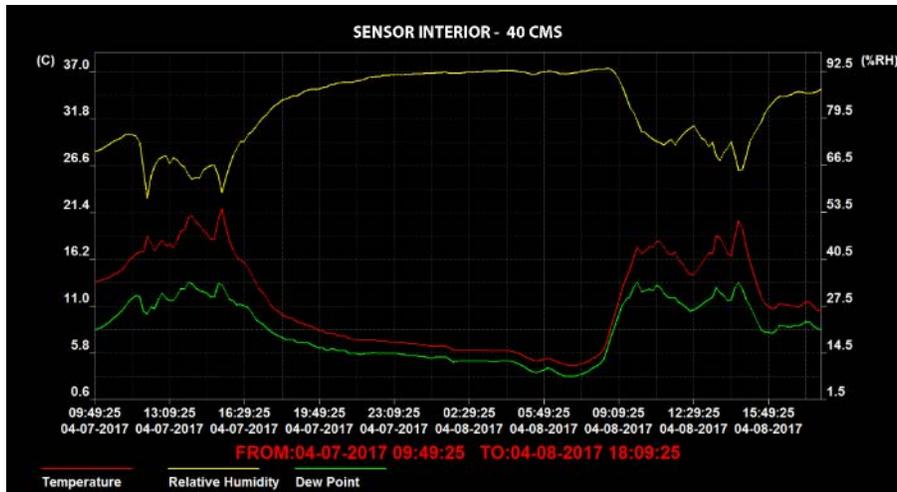
Gráfica 1 Variación térmica temperatura exterior



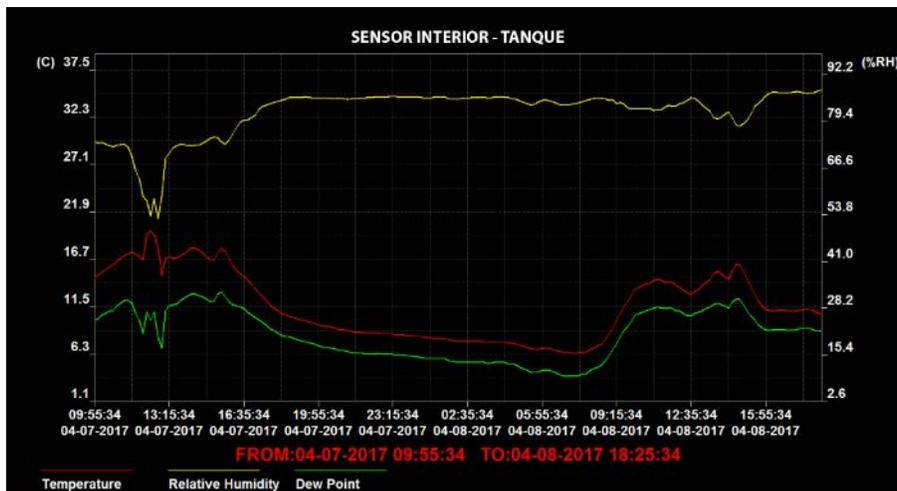
Gráfica 2 Variación térmica temperatura entre las dos cubiertas del prototipo.



Gráfica 3 Variación térmica temperatura interior posición alta (160 cm)



Gráfica 4 Variación térmica temperatura interior posición baja (40 cm)



Gráfica 5 Variación térmica temperatura interior dentro de contenedor (40 cm)

4.3. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos de la prueba en PNN Cocuy, incluyó las siguientes tareas:

- Identificar las temperaturas extremas
- Calcular el diferencial de temperatura entre el exterior y las distintas condiciones interiores.

- Calcular la cantidad de tiempo que logró temperaturas dentro del rango de confort humano (entre 18 y 24 grados centígrados).
- Calcular la cantidad de tiempo por encima del rango de confort para uso humano diurno y nocturno.

Con Base en los resultados obtenidos, fue posible identificar fenómenos interesantes en relación al comportamiento térmico con presencia de cielo cubierto y presencia de radiación solar.

NO.	TIME	SENSOR EXTERIOR	SENSOR		INTERIOR	CAMARA
		TEMPERATURE	INTERIOR ALTO	INTERIOR BAJO	TANQUE	DE AIRE
1	10:06:58	14,1	13,8	13,9	15	14,1
2	10:16:58	14,2	13,9	14,1	15,3	14,3
3	10:26:58	14,4	14	14,2	15,6	14,5
4	10:36:58	14,5	14,1	14,5	15,9	14,7
5	10:46:58	14,7	14,3	14,7	16,1	14,8
6	10:56:58	14,9	14,5	15	16,5	15
7	11:06:58	15,1	14,6	15,4	16,8	15,3
8	11:16:58	15,5	14,9	16	17,1	15,7
9	11:26:58	15,8	15,4	16,4	17,3	16,2
10	11:36:58	16,2	15,9	16,8	17,5	16,6
11	11:46:58	16,5	16,3	17	17,3	16,9
12	11:56:58	16,7	16,6	17	17	17
13	12:06:58	16,6	16,7	18,8	16,7	16,6
14	12:16:58	19,9	18,1	18	19,5	18,7
15	12:26:58	14,9	19,1	17,1	19,8	18
16	12:36:58	14,3	18,7	17,8	19,4	18,7
17	12:46:58	13,4	20,5	18,3	18	20
18	12:56:58	12,5	21,3	17,7	15	20,4
19	13:06:58	13,2	20,1	17,9	16,8	19,7
20	13:16:58	12,2	20,5	17,5	17	20,2
21	13:26:58	12,9	19,5	18,3	16,8	20,3
22	13:36:58	13,2	21,3	19,3	16,8	22,7
23	13:46:58	13,3	23	19,5	17,1	24,1
24	13:56:58	14	23,4	20,8	17,3	25,3
25	14:06:58	14	25	21	17,7	25,7
26	14:16:58	13,7	25,2	20,3	17,9	26,3
27	14:26:58	14,1	23,3	20	17,9	24,4
28	14:36:58	13,3	22,7	19,4	17,7	22,9
29	14:46:58	13,5	21,5	19	17,4	22,9
30	14:56:58	12,5	20,8	18,4	17	21,6
31	15:06:58	12,8	20	18,4	16,7	21,2
32	15:16:58	14,3	20,2	20,6	16,6	22,4
33	15:26:58	15,6	24,8	21,8	17,4	32,3
34	15:36:58	13,3	25,4	19,9	17,9	26,9
35	15:46:58	12	21,9	18,3	17,5	21,4
36	15:56:58	11,7	19,2	17,3	16,8	17,7
37	16:06:58	11,4	17,6	16,4	16	16,4
38	16:16:58	11,5	16,6	16,1	15,5	15,9
39	16:26:58	12,2	16,3	15,8	15,1	16
40	16:36:58	12	16,1	15,3	14,8	15,7
41	16:46:58	11,4	15,5	14,5	14,4	14,3
42	16:56:58	10	14,1	13,6	14	12,6
43	17:06:58	9,2	12,9	12,9	13,5	11
44	17:16:58	8,1	11,8	12,5	13	10,2

Tabla 3 Variación térmica día 1

Es posible identificar que efectivamente, el prototipo presenta una variación térmica importante con respecto a la temperatura exterior, la cual, solo tuvo una medición en la que la temperatura logró subir hasta el rango de confort. La temperatura más alta registrada es la medición No. 33 en la cámara de aire, en la cual se logró temperatura de 32,3 grados centígrados, variación que se refleja también en el interior del domo y donde se presenta un diferencial con el exterior de más de 15 grados centígrados.

En verde se pueden identificar la cantidad de mediciones y de tiempo en que se logra temperatura dentro del rango de confort y en colores cálidos, las mediciones con temperatura por encima del rango de confort.

	Tiempo dentro del rango de confort (h)	
	Día 1	Día 2
Sensor alto	3,2	4,2
Sensor bajo	3,0	1,2
Cámara de aire	2,5	1,7
Exterior	0,2	0,3
	Tiempo sobre el rango de confort (h)	
	Día 1	Día 2
Sensor alto	0,67	0,17
Sensor bajo	0,00	0,00
Cámara de aire	1,17	0,33
Exterior	0,00	0,00

Tabla 4. Tiempos de comportamiento térmico dentro y por encima del rango de confort

4.4. CONCLUSIONES

Esta prueba permitió evidenciar validar algunos aspectos metodológicos y otros de comportamiento térmico del prototipo.

4.4.1. CONCLUSIONES SOBRE LA METODOLOGÍA

Esquema de medición. El esquema de incluir dos sensores internos en diferentes alturas dentro del espacio, un tercer sensor dentro de la cámara de aire y un sensor externo de base, se confirma como un esquema adecuado, pues permite evidenciar distintas temperaturas.

Análisis de parámetros. Si bien la identificación de temperaturas límite, el cálculo de los diferenciales y los tiempos en relación a los rangos establecidos es útil, es insuficiente ante los requerimientos de comparación, entre distintos escenarios de configuraciones y prototipos, lo que hace necesario complementar este tipo de análisis básico, con un análisis estadístico que permita simplificar el proceso, pues ante la complejidad que implica evaluar dos dimensiones de manera simultánea, las herramientas disponibles y el trabajo análogo con gráficas y filtros de datos es extremadamente largo y dispendioso, por lo que se determina incluir un capítulo de análisis estadístico de los datos.

4.4.2. CONCLUSIONES SOBRE EL PROTOTIPO

A pesar de estar en un clima frío donde la temperatura exterior es baja, el domo logra conseguir variaciones térmicas en las que se logran tiempos dentro y por encima del rango de confort humano sin radiación solar directa, lo que indica que la geometría y el material logran un diferencial importante.

Gracias a la variación térmica, se presenta un alto grado de condensación interna debido a la humedad absorbida del suelo. Es necesario agregar la variable de aislamiento de piso en futuras pruebas de campo. Esta variable puede ser determinante para actividades específicas, como, por ejemplo, la función de invernadero en la cual, la humedad es importante, pero no en la función de habitación, donde este fenómeno afectaría el confort humano.

La cámara de aire entre las dos cubiertas funciona como un aislante entre el exterior y el interior, lo cual es ideal para evitar la pérdida de energía en las noches, pero que impide una óptima captura de energía durante el día, lo que puede afectar procesos y actividades donde se requieren temperaturas más altas.

Ya que la prueba se realizó con una cubierta exterior con ventilaciones abiertas, no se puede garantizar que la cámara de aire entre las cubiertas, esté completamente cerrada. Los prototipos de pruebas finales fueron modificados para poder garantizar que la cubierta exterior se cierre completamente.

5. CAPITULO V. DISEÑO FINAL DE METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS

Teniendo en cuenta las conclusiones del experimento 1 (piloto), y reconociendo la gran cantidad de información, que resulta de desarrollar un paquete completo de mediciones que combinen dos climas, cuatro configuraciones, tres prototipos físicos y tres sensores en cada prototipo, la cual implicaría y desbordaría la capacidad de análisis en modo gráfico análogo, se determinó desarrollar una metodología de análisis de datos, que permita optimizar el proceso y llegar a conclusiones de manera más eficiente y efectiva.

5.1. ANÁLISIS DIRECTO

Esta primera fase de análisis se basará en los siguientes aspectos:

- Identificación de temperaturas máximas y mínimas de cada escenario.
- Comparación entre:
 - Sensores de un mismo prototipo y configuración
 - Distintas configuraciones con relación a una misma temperatura exterior.
 - Mismo sensor (Alto, Bajo, Cámara) entre distintos prototipos de una misma configuración.
 - Calculo de tiempos en que los sensores registran datos que estén dentro de los rangos requeridos por los distintos usos.

5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Esta segunda fase de análisis, se basa en entender el comportamiento de los prototipos en relación entre la humedad relativa y la temperatura y los rangos definidos según los requerimientos de uso.

Debido a que estos datos se expresan como series de tiempo y conjuntos de datos, se realizó una investigación de metodologías que permitieran de manera eficiente, realizar cálculos y mediciones para evaluar el comportamiento de los prototipos en condiciones específicas.

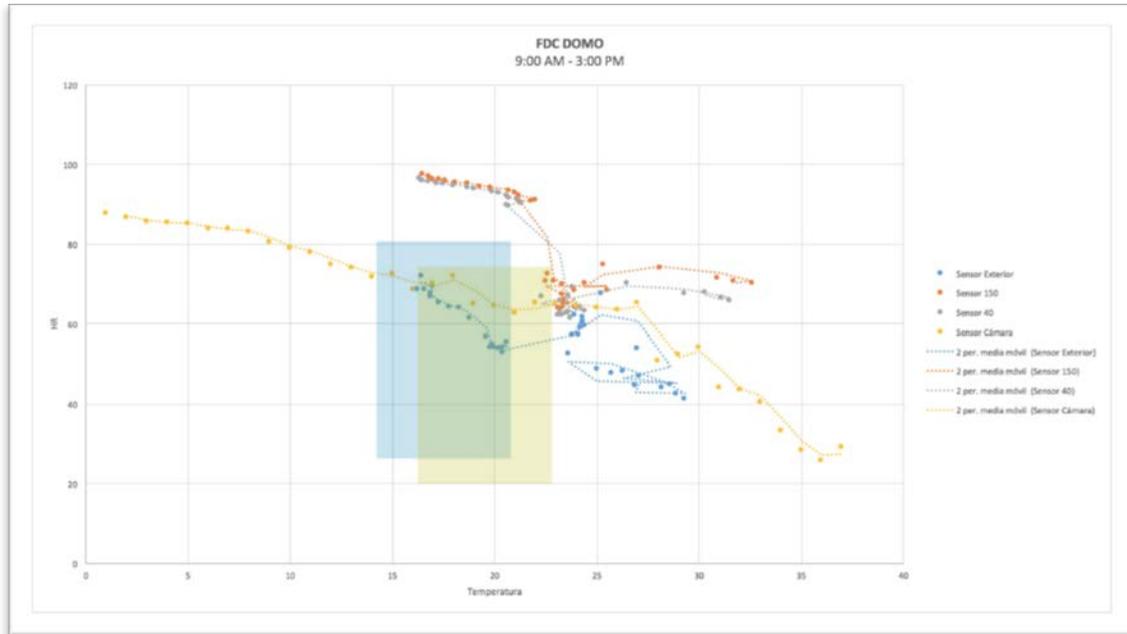
Las series de tiempo, se definieron de manera simplificada en rangos de 12 horas diurnas y nocturnas, para evaluar los requerimientos de uso de actividad humana diurna y nocturna. Para los demás requerimientos de uso, se determinó evaluar rangos completos de 24 horas.

Los conjuntos de datos se expresan en forma de micro matrices, que combinan humedad relativa, temperatura y tiempo. Estos puntos de medición, conforman una **nube de puntos**, a los cuales se les pueden otorgar valores concretos, basados en los promedios de distancias entre ellos y la nube de puntos generada por los rangos de parámetros de uso. De esta manera, es posible seleccionar metodologías que midan distancias de series de tiempo, la metodología *Euclideana*, entrega los mejores resultados de cálculo de distancias en las que la conexión de puntos en este tipo de matriz, se puede medir y promediar como vectores. (Iglesias y Kastner 2013)

Por su parte y para medir distancias entre conjuntos de datos, que es otra forma de expresar la información obtenida en las mediciones de los experimentos de campo, concluyen que, en términos de procesamiento de conjuntos de datos según sus similitudes, las metodologías que presentan mayor fiabilidad son enlaces simples, enlaces completos y enlaces en promedio. (Chipman y Tibshirani 2006)

Teniendo en cuenta los recursos disponibles, es posible procesar los datos usando más de una metodología, lo que permitirá no solo calcular las distancias de datos de conjuntos y micro matrices de similitud, sino también validar entre ellas, los resultados e incluso evaluar el rendimiento y comportamiento de los prototipos de manera unidimensional, es decir, temperatura y humedad relativa por separado, sino también de manera bidimensional donde se combinen estos dos parámetros de manera simultánea.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta las posibilidades y limitaciones del software MATHLAB, es posible incluir varias metodologías como Euclideana, Mahalanobis, Correlación de Pearson, Enlace Simple, Enlace Completo, Enlace Promedio y Deformación Dinámica del Tiempo. Estas dos últimas, serán aplicadas específicamente al análisis unidimensional de temperatura y humedad relativa por separado.



Gráfica 6 Comportamiento higrotérmico de un prototipo en relación a los rangos definidos según los requerimientos de uso

Para efectos de explicar estas metodologías, se identificaron las mediciones como una nube de puntos ubicados en un plano y que se corresponden a humedad relativa en el eje vertical y temperatura en el eje horizontal. (Ver gráfica 6.) Esta nube de puntos tiene mayores o menores grados de similaridad, de acuerdo a la hora en que son tomadas las mediciones y cuando se calculan valores de distancia entre el conjunto de datos y puntos generados por las mediciones y las áreas de los rangos de uso (recuadros azul y amarillo en la gráfica 6), es posible identificar, cuáles configuraciones están más o menos cerca de un área de parámetros definidos por un uso específico, indicando cual es la mejor geometría y configuración.

Para recolectar y registrar los datos del experimento, se definió una estructura de escenarios según clima Frío (F) y clima cálido (C), y en cada uno de ellos dos combinaciones de cubierta doble (D) y sencilla (S), con configuraciones de ventilación abierta (A) y cerrada (C). Con esta estructura, entonces se conforman ocho escenarios a medir y registrar nombrados con tres letras, donde la primera indica el clima (frio o cálido), la segunda la configuración de cubierta (doble o sencilla) y la tercera la configuración de ventilación (abierta o cerrada), teniendo como resultado ocho siglas correspondientes a la misma cantidad e escenarios. (FSA, FDA, FCA, FDC, CSA, CDA, CSC, CDC).

6. CAPITULO VI. EXPERIMENTO 2. CLIMA FRIO

6.1. DESCRIPCIÓN

La prueba de clima frío se realizó en las inmediaciones de Bogotá, (coordenadas 4.830549, -74.031947), en las instalaciones del Colegio Rochester. Esta institución se encuentra ubicada en un área semi rural a 2.600 msnm, considerada fría y sin afectaciones por fenómenos urbanos.

La prueba se realizó teniendo en cuenta las condiciones extremas de configuración abierta, configuración cerrada, en combinación con configuración de cubierta simple y cubierta doble y cada una de estas cuatro combinaciones se midieron durante 24 horas.

Los tres prototipos se instalaron y midieron de manera simultánea con un sistema similar a la prueba realizada en el Parque Nacional Natural El Cocuy, con mediciones cada 10 minutos.

El Colegio facilitó dos equipos adicionales, que permitieron realizar mediciones complementarias de luz interior y exterior y velocidad del viento externa e interna en los prototipos.

Las mediciones tuvieron lugar entre el día miércoles 28 de junio y el día domingo 2 de julio de 2017.

Condiciones de la prueba:

- Prototipo: Tienda. Bóveda. Domo
- Locación: Colegio Rochester. Municipio de Chía.
- Altura: 2.600 msnm
- Fecha: junio 28 a julio 2 de 2017
- Sensores: Exterior (1) Interior (2, uno a 40 cm y otro 150 cm del piso), semi interior (1 entre las dos cubiertas) en cada prototipo y un (1) sensor externo. Diez (10) sensores en total.
- Configuración del prototipo: 1. Cubierta doble cerrada. 2. Cubierta doble abierta. 3. Cubierta simple cerrada. 4. Cubierta simple abierta.
- Ocupación humana nocturna: No
- Radiación solar directa: Si.
- Lluvia: Si
- Viento: Max de 2.1 m/s
- Sensor: Extech RHT10. Luxometro CEM DT-8809A. Anemometro CEM DT-618B

- Frecuencia de medición: 10 minutos



Figura 25 Domo y tienda. Medición en clima frío



Figura 26 Bóveda. Medición en clima frío



Figura 27 Equipos complementarios facilitados por el colegio Rochester

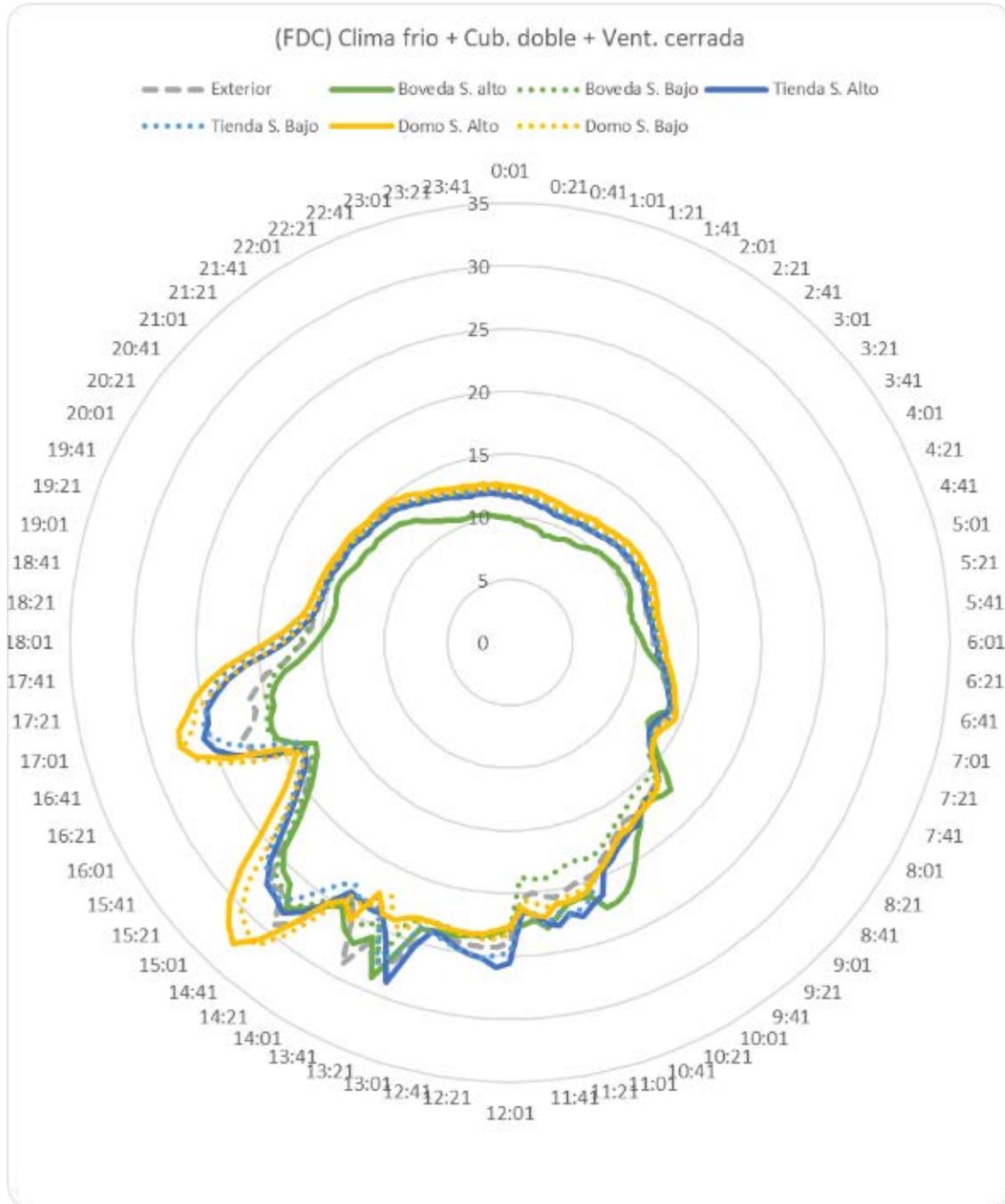
6.2. RESULTADOS

Como resultado de las mediciones en clima frío, se obtuvieron mediciones de temperatura y humedad relativa de los tres prototipos durante cuatro días.

Los resultados evidenciaron que, debido a la ubicación de la bóveda en un lugar cercano, pero con condiciones de vientos distintos, las mediciones de este prototipo, se vieron afectadas y presentan un comportamiento térmico con temperaturas más bajas.

También se hizo evidente que, en uno de los sensores del prototipo de la bóveda, se presentó una falla en las mediciones del sensor durante poco más de 24 horas. Sin embargo, teniendo en cuenta la tendencia de las mediciones previas y extrapolando con el sensor del mismo prototipo, es posible determinar un ajuste viable.

6.2.1. CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN CERRADA (FDC)



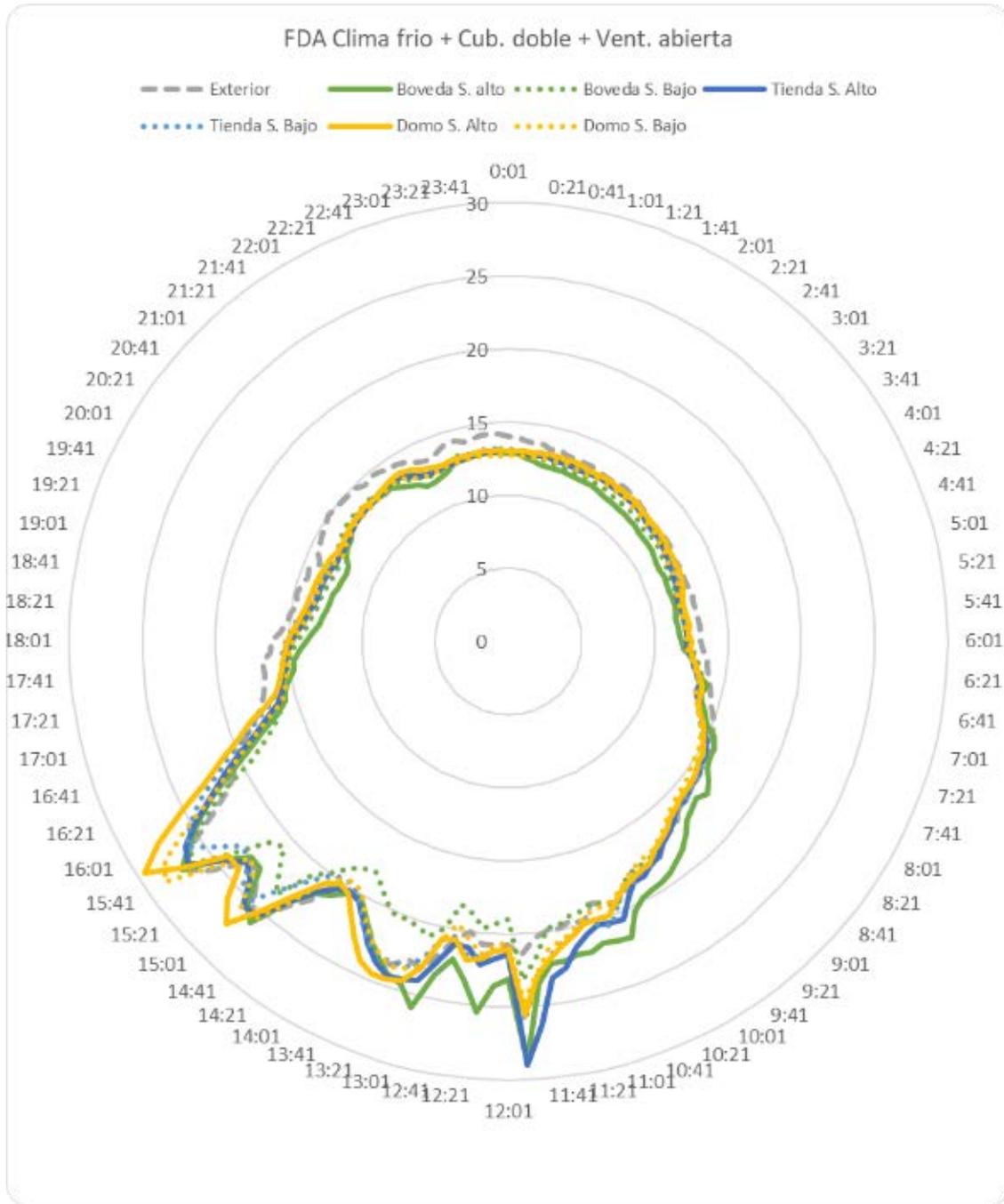
Gráfica 7. Comportamiento térmico. FDC

Esta configuración incluye una cámara de aire entre el espacio interior y el espacio exterior. Las temperaturas alcanzadas en el espacio interior presentan un diferencial de apenas un par de grados con el espacio exterior, ya que la energía se atrapa en la cámara de aire la cual logra un diferencial

de hasta 15 °C.

En esta situación, el mejor comportamiento lo presenta el prototipo domo, mientras que el prototipo tienda y el prototipo Bóveda presentan un comportamiento térmico inferior con un diferencial de aproximadamente 3 °C.

6.2.2. CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (FDA)

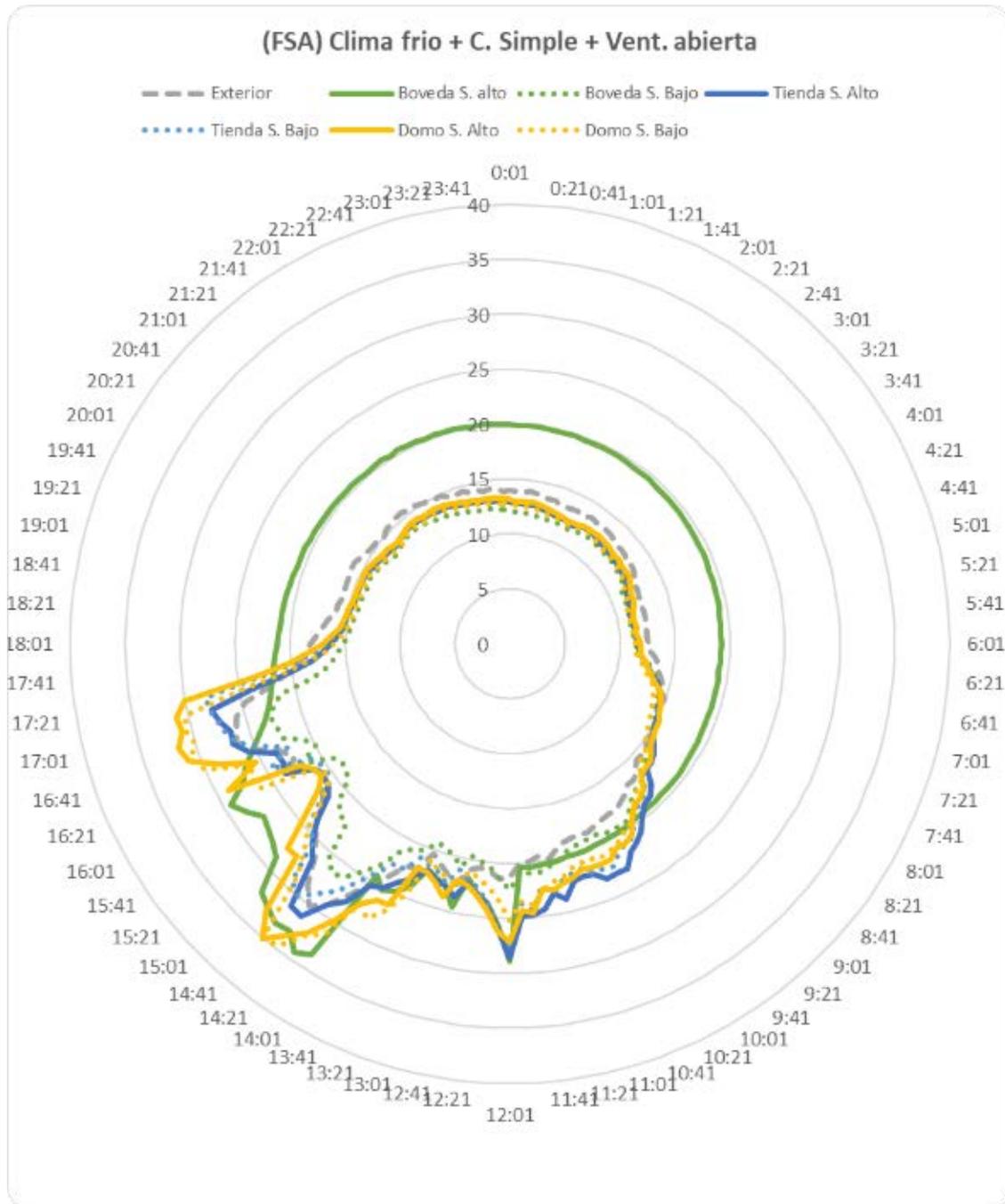


Gráfica 8. Comportamiento térmico FDA

Con respecto a la configuración de cubierta doble con ventilación cerrada, la ventilación abierta presenta un comportamiento muy similar en términos de las variaciones térmicas que se presenta. De la misma manera, la capa de aire entre el interior y exterior muy altas con diferenciales de casi

20 °C. En este caso sólo el domo presenta una variación térmica positiva superior con respecto al clima exterior mientras que el prototipo tienda y el prototipo Bóveda presenta un comportamiento térmico similar al del clima exterior.

6.2.3. CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (FSA)



Gráfica 9. Comportamiento térmico FSA

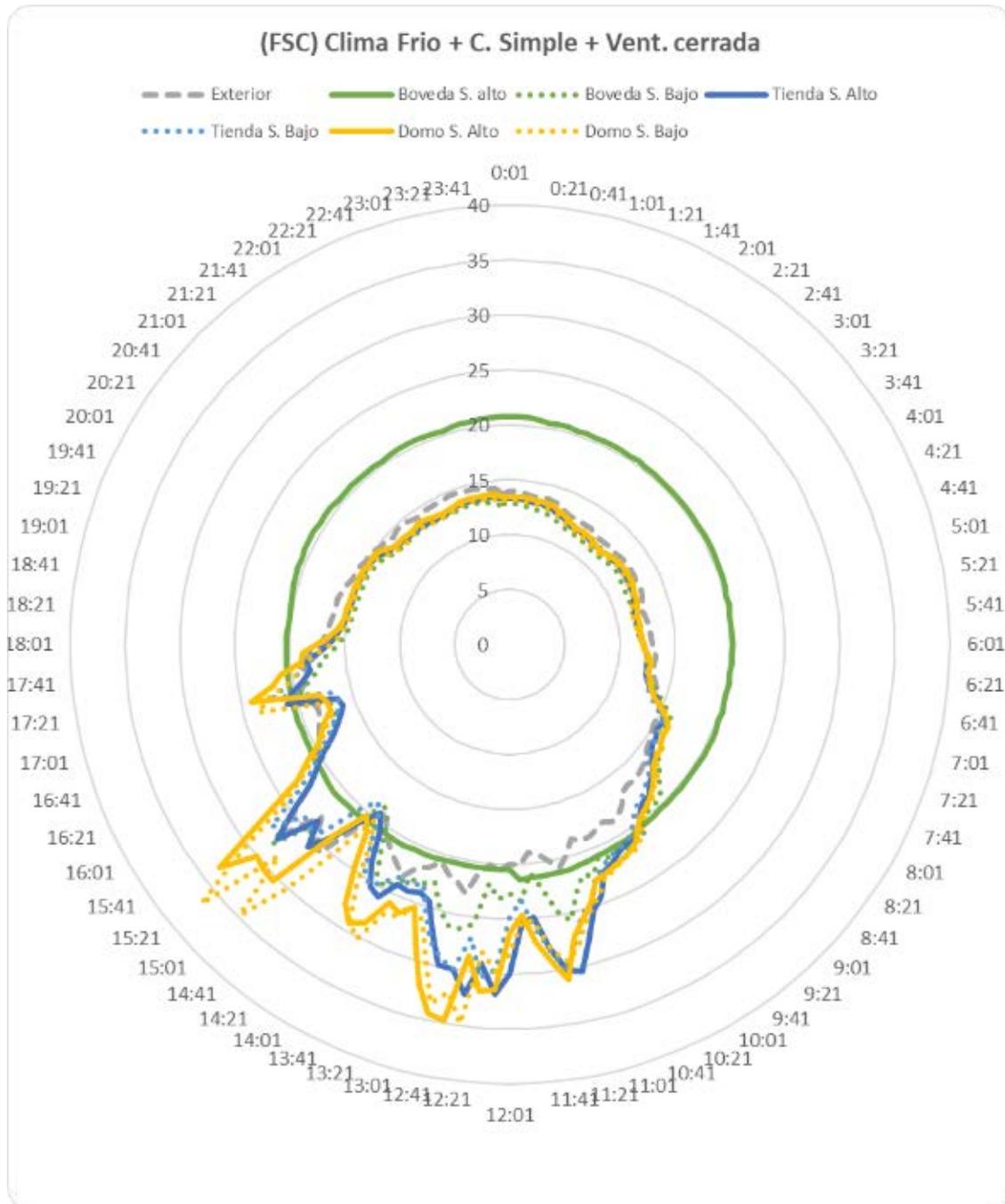
En esta configuración, se evidencia que el comportamiento térmico en relación a la temperatura exterior captura más energía y alcanza temperaturas más altas en el prototipo del domo, mientras que la bóveda tiene las temperaturas más bajas. Se evidencia también que, en este clima, cualquier

de los prototipos se puede lograr temperaturas dentro del rango de confort humano, apenas durante un par de horas en la mañana y un par horas en la tarde. Hacia el mediodía y durante varias horas, la temperatura se eleva e incluso llega a casi 35 grados en todas las alturas del prototipo. La variación térmica entre los sensores ubicado a 150 y 40 cm presenta un diferencial de entre 2 y 3 grados regularmente durante todo el día.

La temperatura exterior más alta registrada fue de 30.1 grados centígrados y la temperatura interior más alta registrada al mismo tiempo fue de 34.6 grados, un diferencial 4.1 grados centígrados. La ventilación abierta reduce el diferencial de temperatura.

Se descartarán parte de las mediciones del sensor A de la Bóveda, el cual no presenta variaciones durante un cierto tiempo y se presume falla del dispositivo.

6.2.4. CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN CERRADA (FSC)



Gráfica 10. Comportamiento térmico FSC

En esta configuración, se evidencia que el comportamiento térmico en relación a la temperatura exterior, captura más energía y alcanza temperaturas más altas en el prototipo del domo, mientras que la bóveda tiene las temperaturas más bajas. Se evidencia también que, en este clima, cualquier de los prototipos se puede lograr temperaturas dentro del rango de confort humano, apenas

durante un par de horas en la mañana y un par horas en la tarde. Hacia el mediodía y durante varias horas, la temperatura se eleva e incluso llega a casi 35 grados en todas las alturas del prototipo. La variación térmica entre los sensores ubicados a 150 cm y 40 cm presenta un diferencial de entre 2 y 3 grados regularmente durante todo el día. La temperatura exterior más alta registrada fue de 26.8 grados centígrados y la temperatura interior más alta registrada al mismo tiempo fue de 36.7 grados, un diferencial de casi 10 grados centígrados. La ventilación cerrada aumenta el diferencial a casi el doble que en el caso de ventilación abierta.

Se descartarán las mediciones del sensor A de la Bóveda, el cual no presenta variaciones durante un cierto tiempo y se presume falla del dispositivo.

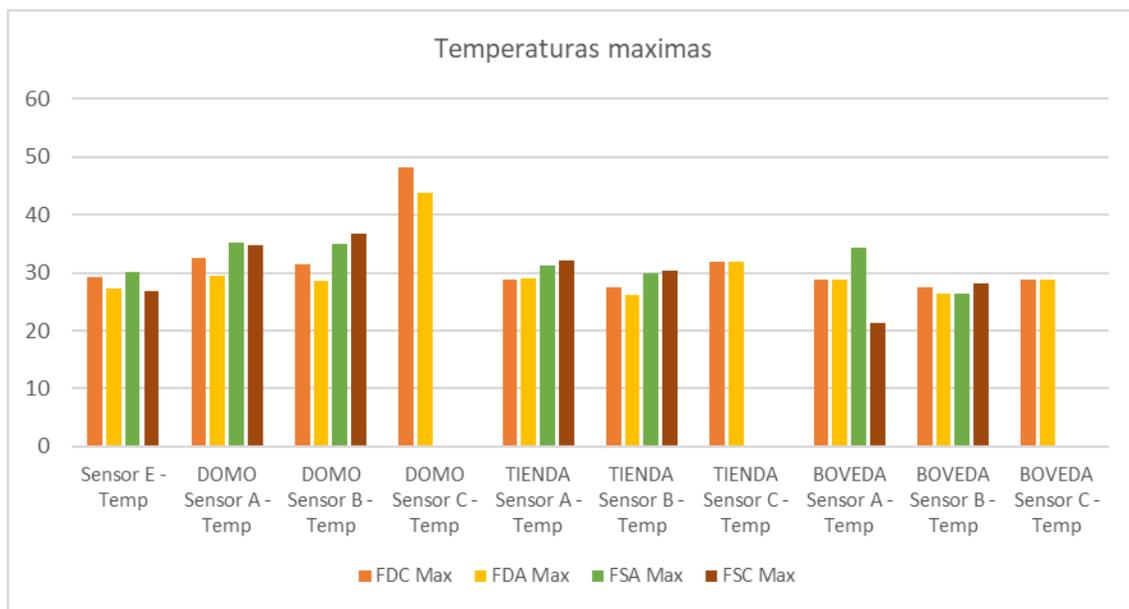
Los datos y mediciones del experimento de campo en clima frío se encuentran en el anexo 4.

6.3. ANÁLISIS DE DATOS

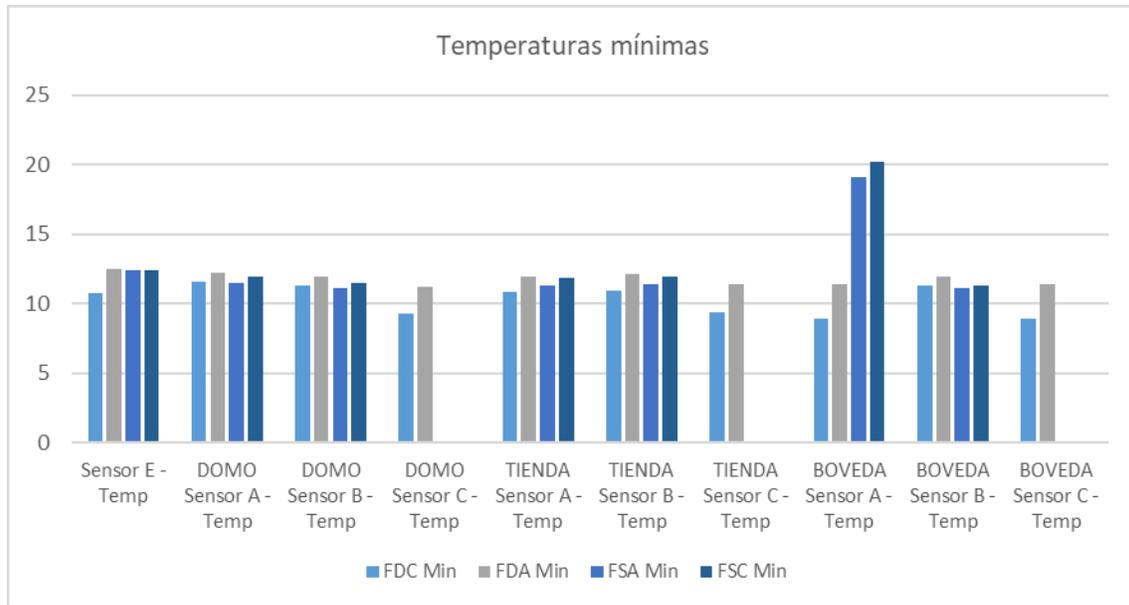
6.3.1. ANÁLISIS DIRECTO

La comparación de las temperaturas máximas obtenidas durante las 24 horas de mediciones permitió identificar dos aspectos importantes. El primero es que, en el caso de las configuraciones con cubierta doble, el espacio de la cámara de aire funcionó como un aislante térmico y por esa razón, la energía que atravesó la membrana fue contenida y se lograron temperaturas de casi 50 °C en la configuración cerrada del domo. Por otra parte, fue posible identificar que, en términos de captura de energía, el domo está de primero, seguido por la bóveda y finalmente está la tienda.

También es posible revisando las gráficas 11 y 12, identificar las variaciones térmicas que en los casos más extremos alcanzaron casi 30 °C y que en promedio fueron de alrededor de 15 °C.

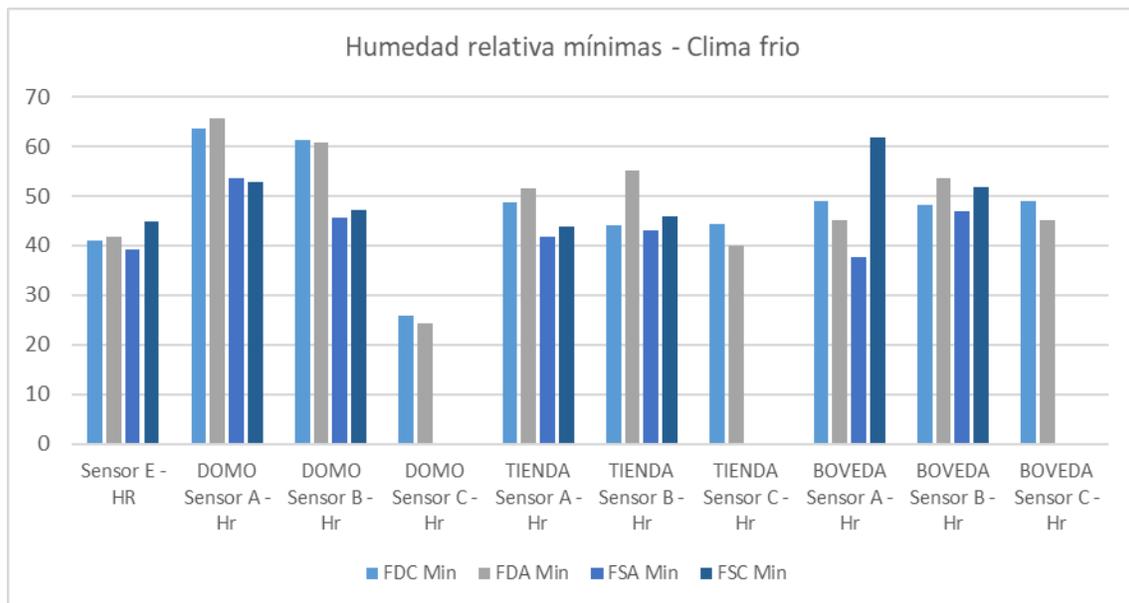


Gráfica 11. Temperaturas máximas

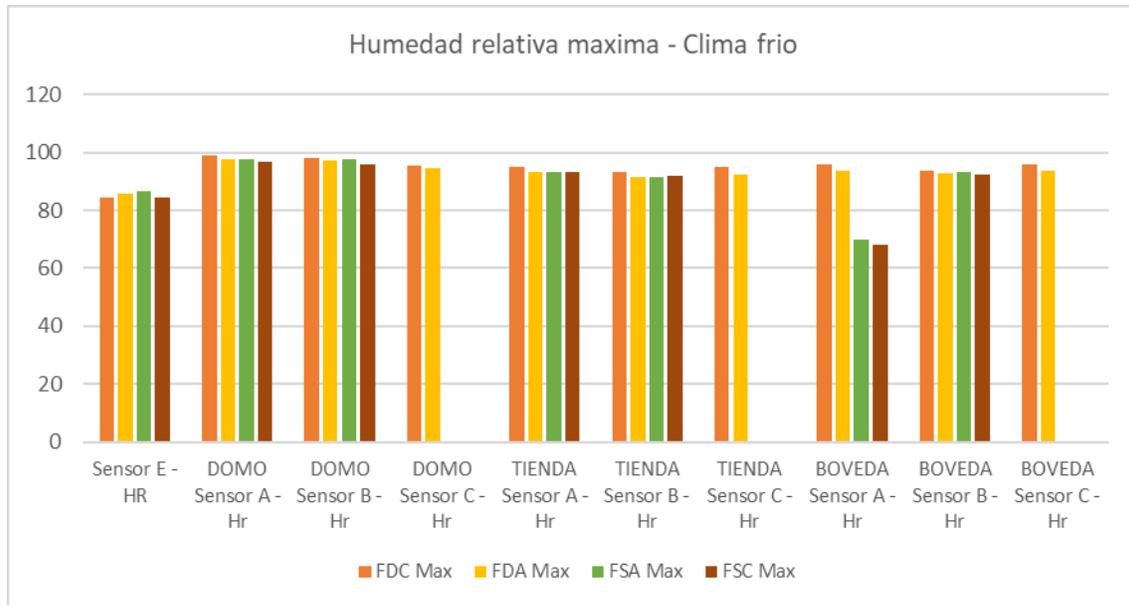


Gráfica 12. Temperaturas mínimas

En términos de la humedad relativa se evidencia que ésta es inversamente proporcional a las temperaturas, Ver gráfica 13 y 14. En su nivel máximo la gran mayoría de los sensores registraron humedades relativas por encima del 80% y es evidente que la doble cubierta género una capa aislante que adicionalmente aumenta la concentración de humedad.



Gráfica 13. Humedad relativa mínima



Gráfica 14. Humedad relativa máxima

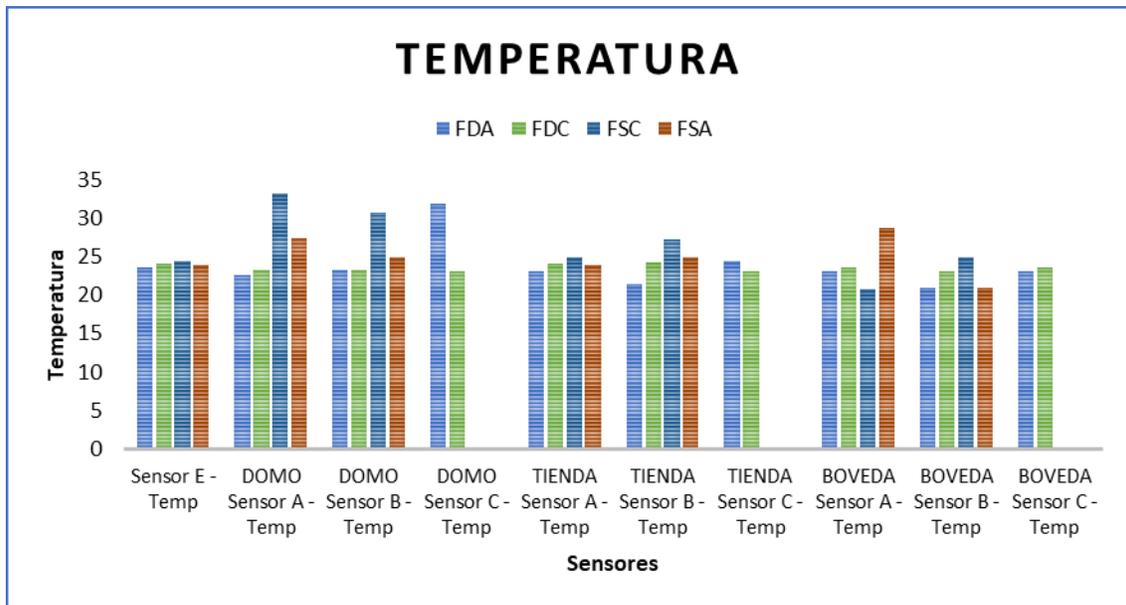
Analizando los tiempos en que cada prototipo y escenario estuvieron dentro de los rangos solicitados para cada tipo de uso, se hace evidente que la bóveda ofrece la mayor cantidad de tiempo y cercanía a estos rangos solicitados. (Ver tabla 5). El domo por su parte presenta temperaturas muy altas por encima de los rangos y no cumple con los requisitos mientras que el uso de almacenamiento plantea un nivel de exigencias tan específico y determinado, que ningún prototipo en ninguna configuración logró estar en el rango en ningún momento.

Tabla 5. Tiempos dentro de los rangos según uso

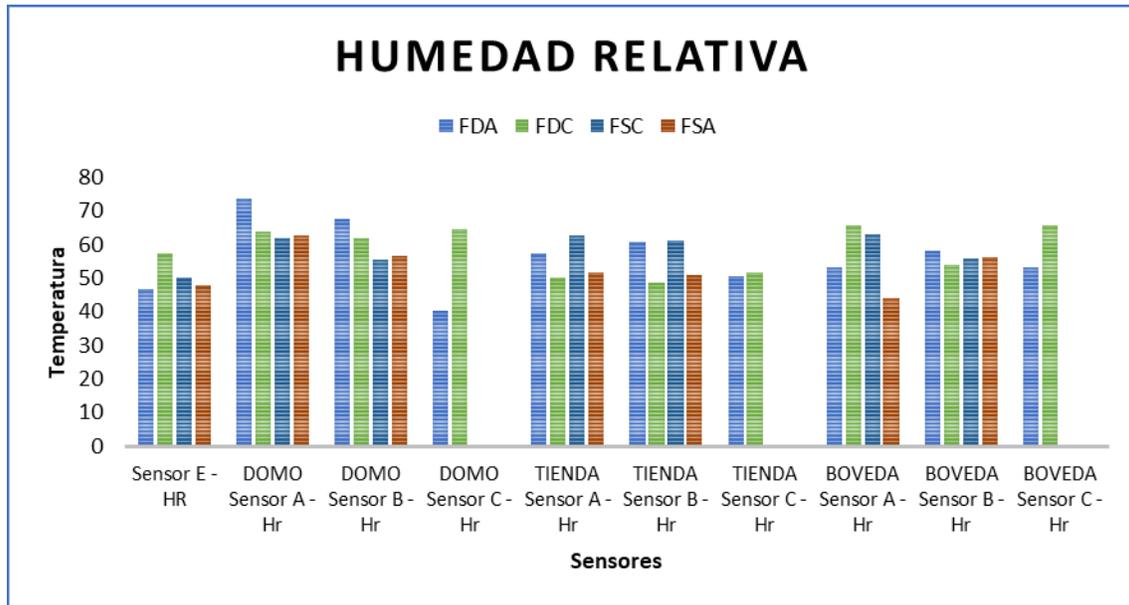
USO	TIEMPOS DENTRO DE LOS RANGOS SEGÚN USO											
	FSC			FSA			FDA			FDC		
	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA
Actividad humana diurna					1	1,5			1,3			
Actividad humana nocturna	3	5,5	7	5,5	7	8	4	6	6,5	3,5	5,6	7
Saneamiento basico - secado	0,3	1		1,2	1,7	2,5			0,5		1	0,2
Saneamiento basico - compostaje	6,2	6,7	7,7	7,5	7,3	7,7	4,7	6,7	6,7	5,3	6	8,2
Almacenamiento												
Agricultura	8,5	7	8	8,7	7	7,7	7	7	6,7	9,5	8,6	8,8

Para efectos de establecer una comparación lo más homogéneo posible, se identificó un momento del día con una temperatura de 24° en el sensor exterior, que permitiera conocer el comportamiento de todos los prototipos y configuraciones en los aspectos de temperatura y humedad relativa. De esta manera fue posible identificar el mayor comportamiento térmico lo presenta en domo en la configuración de cubierta simple y cerrado. En el mismo escenario de cubierta simple y cerrada la bóveda presenta el comportamiento térmico más bajo. Hay que tener en cuenta que este fenómeno se pudo dar debido a que el prototipo de la bóveda tuvo mayor exposición al viento. (Ver grafica 15)

En términos de la humedad relativa,(ver gráfica 16), no se identificó una húmeda relativa exterior homogénea, se trabajó sobre el mismo paquete datos cuando la referencia de temperatura era de 24 °C y aunque existen diferencias de aproximadamente un 10% en el sensor exterior, se evidencia que el domo en la configuración de cubierta doble y ventilación abierta, presenta las variaciones más grandes, mientras que la misma configuración pero con ventilación cerrada se mantiene más estable, lo que es consecuente con el control que se tiene de la atmosfera exterior al espacio del prototipo.



Gráfica 15. Comparativo simultaneo Temperatura



Gráfica 16. Comparativo simultaneo HR

Éstas gráficas de comparación simultánea, permiten verificar las diferencias entre el mismo sensor en distintas configuraciones y

a su vez con respecto a otros sensores de otros prototipos y momentos. Es evidente que en todos los casos los espacios interiores tienen temperaturas y húmeda relativas más altas que en el exterior y sólo en algunos casos muy específicos es posible identificar mediciones inferiores al sensor exterior, las cuales pueden ser explicadas en el caso de la bóveda por la mayor exposición al viento fallas de cierre en la envolvente durante el experimento.

6.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el análisis estadístico se desarrollaron dos tablas que dan cuenta de las distancias más cortas entre las nubes de puntos de en este caso la actividad humana diurna. Este análisis se desarrolló desde los aspectos por separado con distancias independientes y el análisis multidimensional donde se conjugan estos dos parámetros en un solo valor numérico que permite determinar la menor distancia posible al rango solicitado.

Este proceso se realizó con todas las actividades y fue posible identificar que la configuración más próxima en términos de temperatura es la bóveda con una cubierta simple y la ventilación cerrada. La segunda configuración más cercana es la bóveda con una cubierta simple y ventilación abierta. Con base en las distancias y sus valores es posible identificar que este prototipo se acerca más al rango requerido el término de temperatura que en términos de humedad relativa. (Ver tabla 6).

Tabla 6. Análisis estadístico unidimensional. Clima frío (ver en detalle anexo...)

ACTIVIDAD	CLIMA	CONFIGURACIÓN CUBIERTA	CONFIGURACIÓN VENTILACIÓN	GEOMETRÍA	SENSOR	TEMPERATURA			Humedad Relativa		
						Mínimum Link	Máximum Link	Avg Linkage	Mínimum Link	Máximum Link	Avg Linkage
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Boveda	Alto	0,0	8,1	4,1	34,1	70,4	59,4
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Boveda	Bajo	0,2	14,0	5,2	18,9	71,4	54,1
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Domo	Bajo	0,1	10,6	4,3	39,9	76,0	66,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Domo	Alto	0,1	11,5	4,3	44,6	76,8	68,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Tienda	Bajo	0,1	11,0	4,4	30,6	72,1	60,3
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Tienda	Alto	0,0	25,7	6,4	3,3	73,4	57,0
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Boveda	Alto	0,2	9,6	4,9	23,2	72,2	61,5
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Boveda	Bajo	0,2	14,0	6,2	23,4	73,8	58,0
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Domo	Bajo	0,0	13,5	4,8	40,2	77,1	68,3
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Domo	Alto	0,1	14,6	4,7	42,7	77,9	70,0
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Tienda	Bajo	0,1	10,8	5,1	27,8	74,0	62,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Tienda	Alto	0,0	30,1	7,1	4,8	74,6	59,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Boveda	Alto	1,1	16,3	3,4	16,7	49,0	40,7
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Boveda	Alto	2,2	3,4	2,5	40,9	47,0	43,5
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Boveda	Bajo	0,1	8,5	4,2	25,9	72,3	55,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Domo	Alto	0,0	17,1	5,2	32,5	76,6	61,9
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Domo	Bajo	0,3	17,0	5,3	24,7	76,7	59,8
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Tienda	Bajo	0,2	12,0	4,8	22,1	70,5	53,5
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Tienda	Alto	0,1	13,2	5,0	20,7	72,1	53,8
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Boveda	Bajo	0,2	10,2	4,5	30,9	71,5	57,5
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Domo	Bajo	0,2	18,7	5,5	26,2	74,7	61,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Domo	Alto	0,1	16,7	5,2	31,8	75,7	64,3
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Tienda	Bajo	0,0	12,4	4,6	24,8	70,9	58,8
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Tienda	Alto	0,1	14,1	4,9	22,8	72,4	59,5

Por su parte el análisis multidimensional que combina la temperatura y una relativa en un solo valor identifica también a la bóveda con cubierta simplemente gracias abierta que más se acerca a los requerimientos de la actividad humana diurna. (Ver tabla 7)

Tabla 7. Análisis estadístico bidimensional. Clima frío (Ver en detalle anexo 6)

ACTIVIDAD	CONFIGURACIÓN CUBIERTA	CONFIGURACIÓN VENTILACIÓN	GEOMETRÍA	SENSOR	MÉTODO ESTADÍSTICO 1	MÉTODO ESTADÍSTICO 2	MÉTODO ESTADÍSTICO 3	MÉTODO ESTADÍSTICO 4	MÉTODO ESTADÍSTICO 5	MÉTODO ESTADÍSTICO 6	MÉTODO ESTADÍSTICO 7	MÉTODO ESTADÍSTICO 8
					Minimum Link	Máximum Link	Avg Linkage Euclidean	Avg Linkage Mahalanobis	Avg Linkage Correlation	Avg Linkage Cosine	DTWTemp	DTWHR
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Boveda	Alto	2,9	38,2	36,8	3,2	1,0	0,1	4835,2	1337,7
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Boveda	Alto	22,0	60,8	48,2	4,2	1,0	0,2	5614,8	3660,1
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Domo	Alto	18,8	66,8	49,4	4,3	1,0	0,2	5377,0	4028,8
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Domo	Alto	31,1	66,7	54,0	4,6	1,0	0,2	5580,2	5014,6
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Tienda	Alto	7,8	62,7	46,0	4,0	1,0	0,2	5445,5	3056,6
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Tienda	Alto	2,3	63,9	49,3	4,2	1,0	0,2	5445,1	3999,1
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Boveda	Alto	30,6	36,0	37,6	3,2	1,0	0,1	4969,7	1363,5
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Boveda	Alto	11,8	62,7	49,8	4,3	1,0	0,2	5550,2	4048,6
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Domo	Alto	17,8	65,8	49,5	4,3	1,0	0,2	5358,7	4368,8
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Domo	Alto	31,0	67,7	53,8	4,6	1,0	0,2	5472,3	5191,1
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Tienda	Alto	9,3	62,8	48,4	4,2	1,0	0,2	5459,0	3769,7
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Tienda	Alto	3,2	65,2	50,0	4,3	1,0	0,2	5417,2	4193,2
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Boveda	Bajo	14,6	63,0	47,4	4,2	1,0	0,2	5660,3	3103,3
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Boveda	Bajo	5,7	62,0	46,9	4,1	1,0	0,2	5551,0	3229,0
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Domo	Bajo	10,7	67,0	48,1	4,2	1,0	0,2	5458,4	3836,9
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Domo	Bajo	26,9	66,1	53,1	4,6	1,0	0,2	5644,9	4727,6
Actividad humana diurna	Simple	Abierto	Tienda	Bajo	9,9	61,2	45,7	3,9	1,0	0,2	5466,3	2989,4
Actividad humana diurna	Doble	Abierto	Tienda	Bajo	17,7	62,5	49,1	4,3	1,0	0,2	5601,6	3793,4
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Boveda	Bajo	19,1	62,0	47,6	4,2	1,0	0,2	5563,6	3395,8
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Boveda	Bajo	9,9	64,6	48,7	4,3	1,0	0,2	5540,4	3659,3
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Domo	Bajo	12,2	65,0	48,8	4,2	1,0	0,2	5382,4	3976,8
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Domo	Bajo	28,5	67,0	53,2	4,7	1,0	0,2	5523,2	4943,9
Actividad humana diurna	Simple	Cerrado	Tienda	Bajo	11,7	61,3	47,6	4,1	1,0	0,2	5476,0	3638,1
Actividad humana diurna	Doble	Cerrado	Tienda	Bajo	15,1	64,3	50,6	4,3	1,0	0,2	5550,1	4210,1

7. EXPERIMENTO 3. CLIMA CÁLIDO

7.1. DESCRIPCIÓN

La prueba de clima cálido se realizó en las inmediaciones de la ciudad de Neiva, (coordenadas 2.828548, -75.235392), en área rural a 442 msnm, considerada cálida y sin afectaciones por fenómenos urbanos.

La prueba se realizó teniendo en cuenta las condiciones extremas de configuración abierta, configuración cerrada, en combinación con configuración de cubierta simple y cubierta doble y cada una de estas cuatro combinaciones se midieron durante 24 horas.

Los tres prototipos se instalaron y midieron de manera simultánea con un sistema similar a la prueba realizada en el parque natural el cocuy con mediciones cada 10 minutos.

Las mediciones tuvieron lugar entre el día lunes 10 de julio y el día viernes 14 de julio.

Condiciones de la prueba:

- Prototipo: Tienda. Bóveda. Domo
- Locación: Municipio de Rivera. Departamento del Huila
- Altura: 442 msnm
- Fecha: julio 10 a julio 14 de 2017
- Sensores: Exterior (1) interior (2, uno a 40 cm y otro 150 cm del piso) semi interior (1 entre las dos cubiertas) en cada prototipo y un (1) sensor externo. Diez (10) sensores en total.
- Configuración del prototipo: 1. Cubierta doble cerrada. 2. Cubierta doble abierta. 3. Cubierta simple cerrada. 4. Cubierta simple abierta.
- Ocupación humana nocturna: No
- Radiación solar directa: Si.
- Lluvia: Si
- Viento: Max de 2.1 m/s
- Sensor: Extech RHT10.
- Frecuencia de medición: 10 minutos

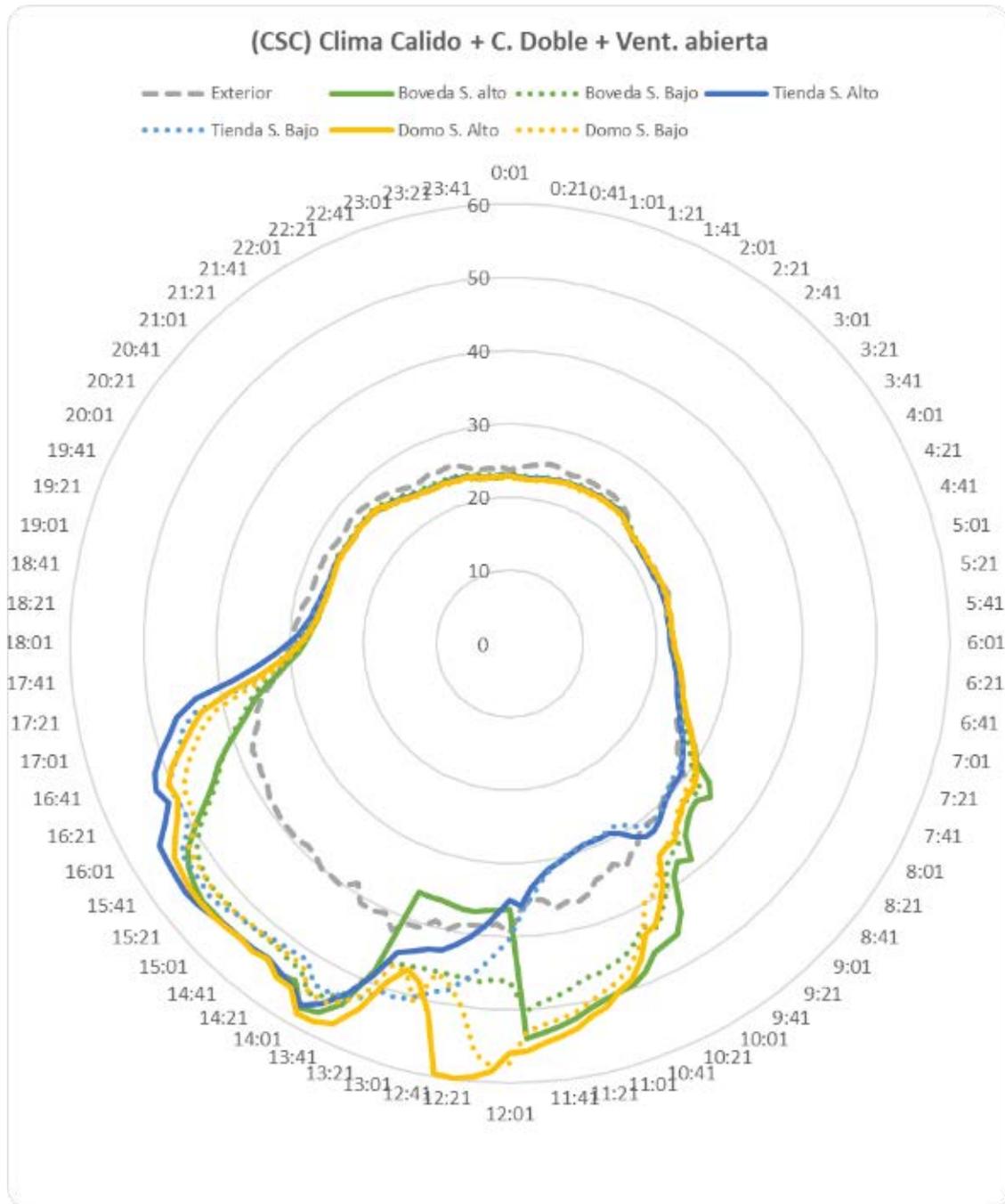


Figura 28 Prototipos instalados en clima cálido en configuración de doble cubierta y ventilación cerrada.

7.2. RESULTADOS

Las mediciones realizadas el clima cálido demuestran que todos los prototipos tuvieron una exposición similar al ambiente.

7.2.1. CONFIGURACIÓN CON CUBIERTA SIMPLE Y VENTILACIÓN CERRADA (CSC)



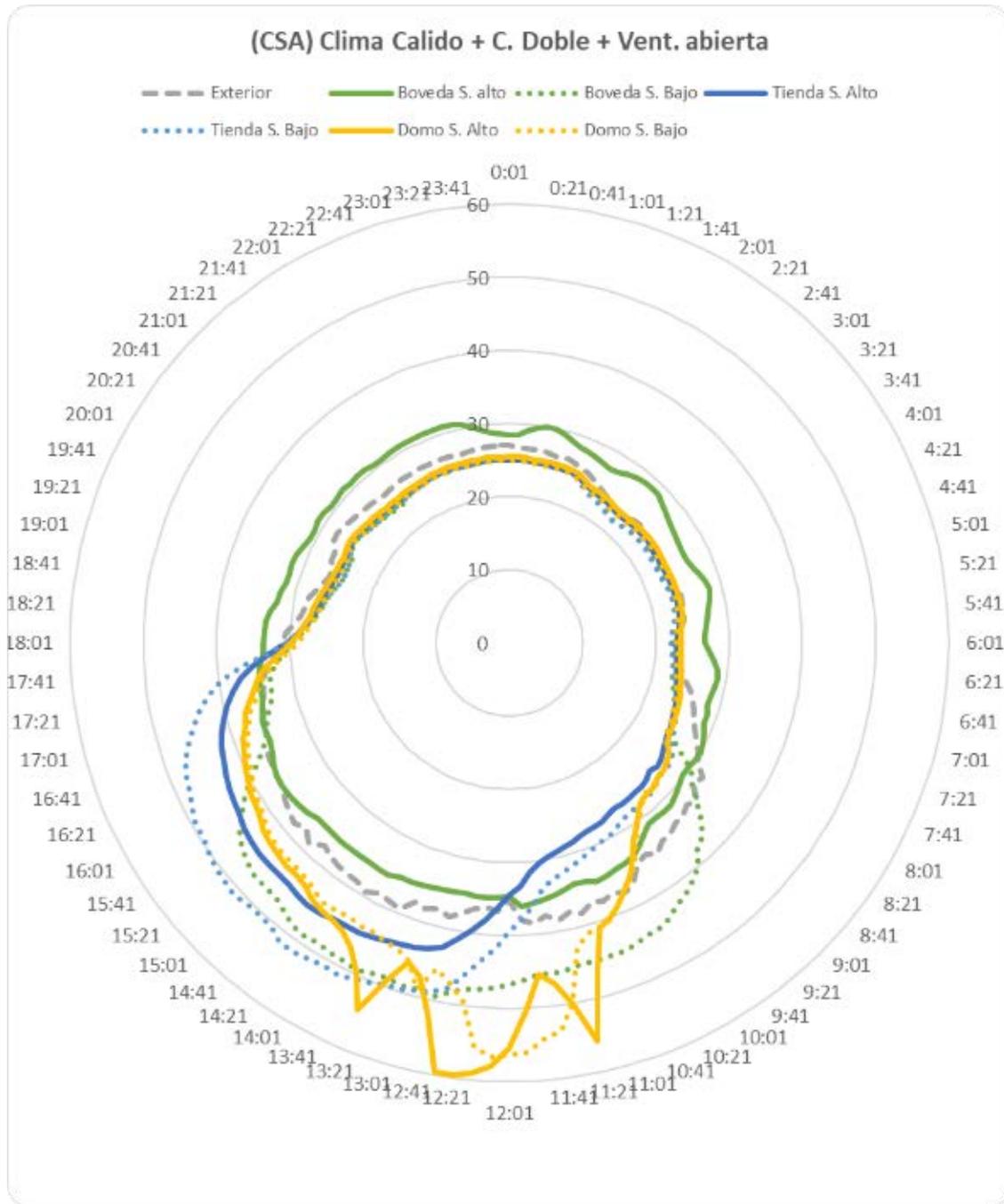
Gráfica 17 Comportamiento térmico CSC

En esta configuración, Los resultados térmicos presentan una variación con respecto al clima exterior de alrededor de 7 °C en los sensores inferiores ubicados a 40 cm del piso, mientras que la variación en los sensores ubicados a 150 cm del piso presenta una variación más alta de casi 10 °C.

Este indica un diferencial térmico entre la lectura baja de 40 cm y la altura alta de 150 cm de entre 2 a 3 grados.

En esta configuración el comportamiento térmico de los tres prototipos es muy homogéneo siendo evidente que el único prototipo que en horas de la mañana tuvo protección por sombra reduce el diferencial térmico incluso por debajo de la temperatura exterior en alrededor de 4 °C.

7.2.2. CONFIGURACIÓN CUBIERTA SIMPLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (CSA)



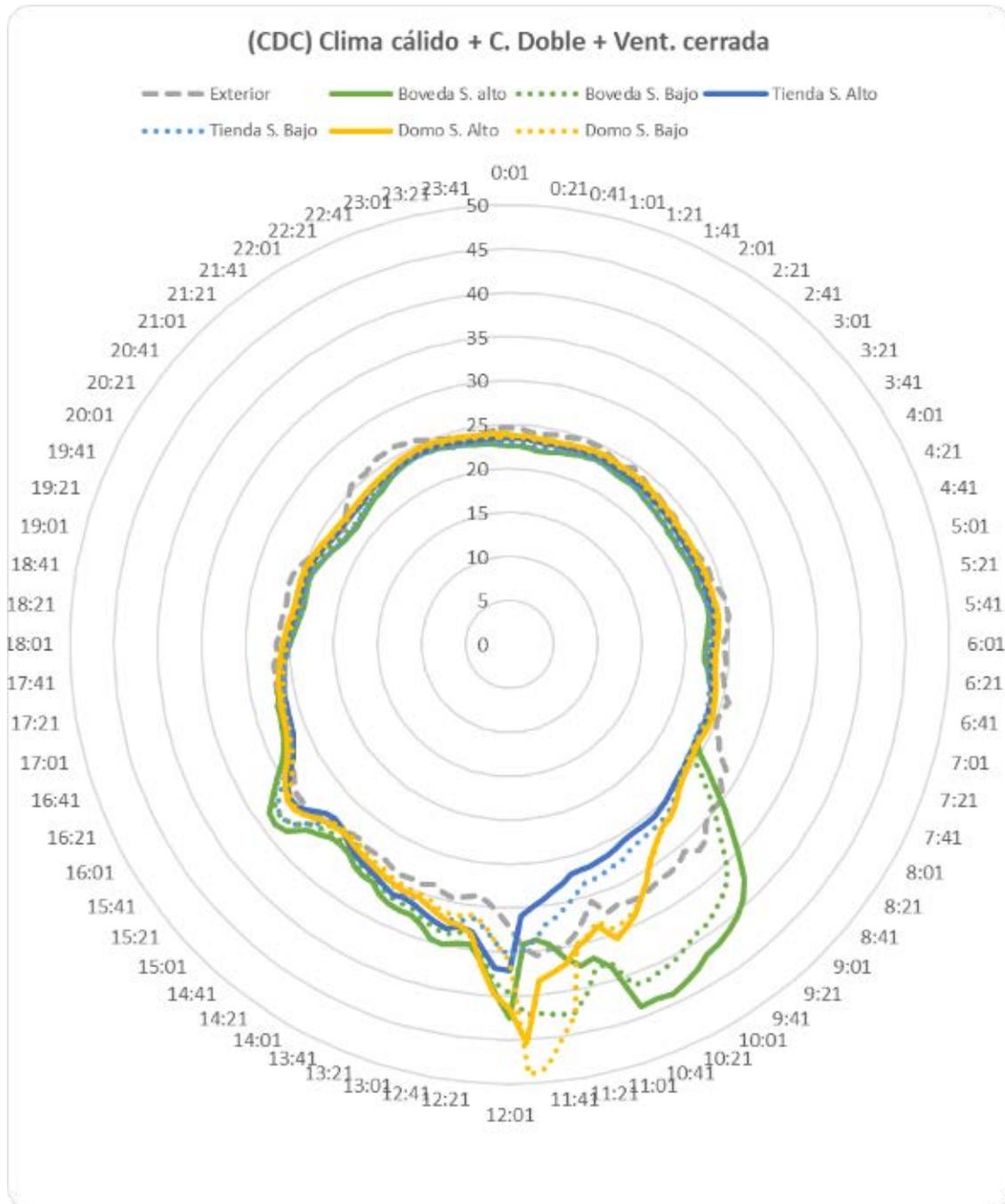
Gráfica 18 Comportamiento térmico CSA

A diferencia de la medición con ventilación cerrada, la ventilación abierta genera una diferencia térmica más evidente en el desempeño del prototipo domo, el cual captura mayor temperatura que

los otros dos prototipos logrando diferenciales de más de 5° con relación al prototipo tienda. Sin embargo, en algunos momentos del día la temperatura registrada demuestra que el comportamiento se invierte Y el prototipo tienda captura mayor energía que el prototipo era y el cual registra temperaturas inferiores con un diferencial de alrededor de 5 °C.

El diferencial de temperatura entre el sensor superior el sensor inferior presenta un diferencial más evidente en el prototipo tienda el cual logra alrededor de 4 °C de diferencia mientras que el prototipo domo presenta un comportamiento similar a nivel de temperatura entre los dos sensores en diferentes alturas.

7.2.3. CONFIGURACIÓN CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN CERRADA (CDC)



Gráfica 19 Comportamiento térmico CDC

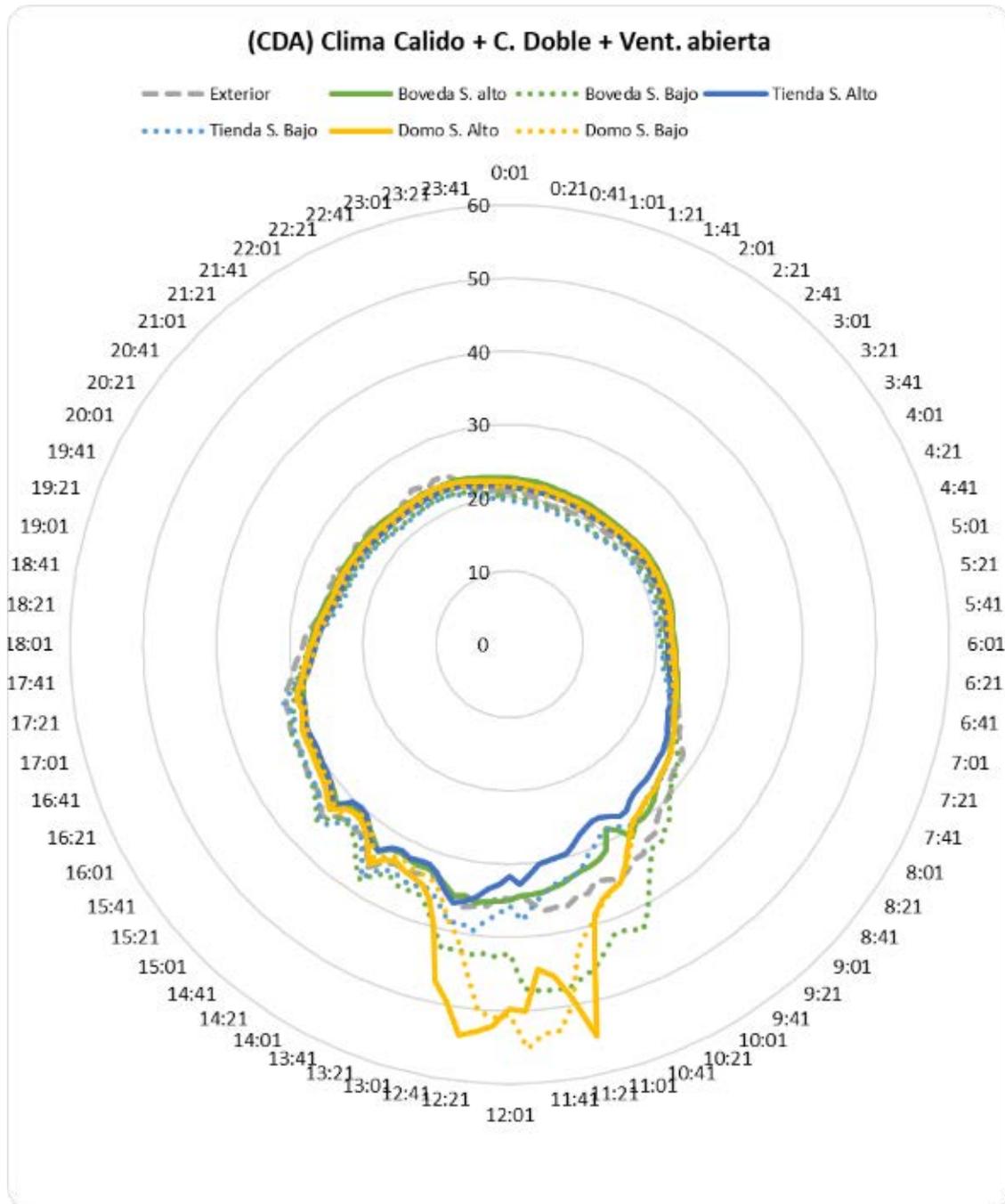
De la misma manera que en las mediciones realizadas un clima frío, se evidencia que la cámara de aire entre la cubierta interior y exterior actúa como un amortiguador térmico generando diferencias entre el interior y el exterior menores, las temperaturas más altas se hacen evidentes en la cámara

de aire dónde se cansan diferenciales térmicos de más de 15 °C grados centígrados entre la temperatura exterior y la cámara de aire.

En este caso el prototipo Bóveda presenta un comportamiento térmico más elevado en la mañana mientras que el prototipo tienda presenta un comportamiento térmico más bajo incluso por debajo de la temperatura exterior en algunos casos.

La temperatura exterior bastante registrada fue de 35. 6 °C Y simultáneamente se presentaron en las cámaras de aire del tomo I de la bóveda con diferenciales de 18 °C. Las temperaturas exteriores más baja registrada fueron de 23 °C Y los diferenciales térmicos de los predecesores presentan variaciones mínimas incluso inferiores a la temperatura exterior.

7.2.4. CONFIGURACIÓN DE CUBIERTA DOBLE CON VENTILACIÓN ABIERTA (CDA)



Gráfica 20 Comportamiento térmico CDA

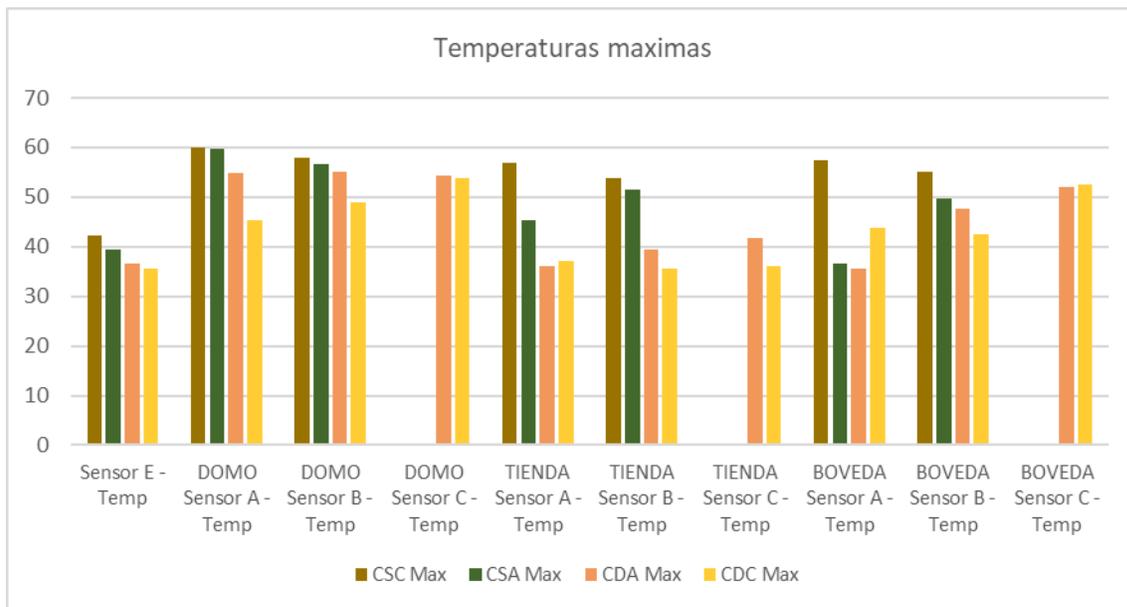
De la misma manera hola configuración de ventilación cerrada, se hace evidente el comportamiento térmico más alto corresponde al prototipo tomó mientras que el comportamiento térmico más bajo corresponde al prototipo tienda el cual incluso en varios momentos del día es inferior a la

temperatura exterior. Es importante hacer notar que las mediciones de clima cálido la temperatura en zona de confort será únicamente durante la noche. Y durante el día las temperaturas incluso con la ventilación abierta logran superar en algunos momentos los 50 °C. Con la ventilación abierta, las variaciones térmicas entre los tres sensores de la cámara de aire, sensor inferior a 40 cm del piso y el sensor superior a 150 cm del piso se reducen en comparación con las mediciones realizadas con la configuración de ventilación cerrada. Los datos y mediciones del experimento de campo en clima cálido se encuentran en el anexo 5.

7.3. ANÁLISIS DE DATOS

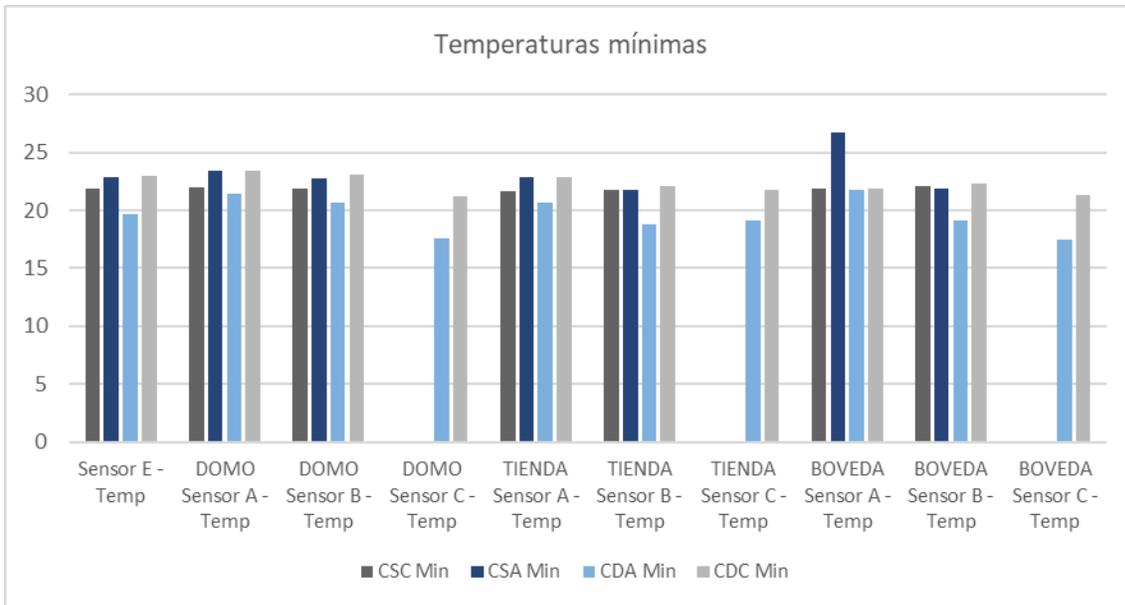
7.3.1. ANÁLISIS DIRECTO

La grafica 21 evidencia un alto diferencial térmico entre los espacios interiores y la temperatura exterior. En casos como el domo, este diferencial alcanza casi los 20 grados centígrados, siendo la configuración de cubierta simple y ventilación cerrada la que capturó más energía en todos los prototipos.



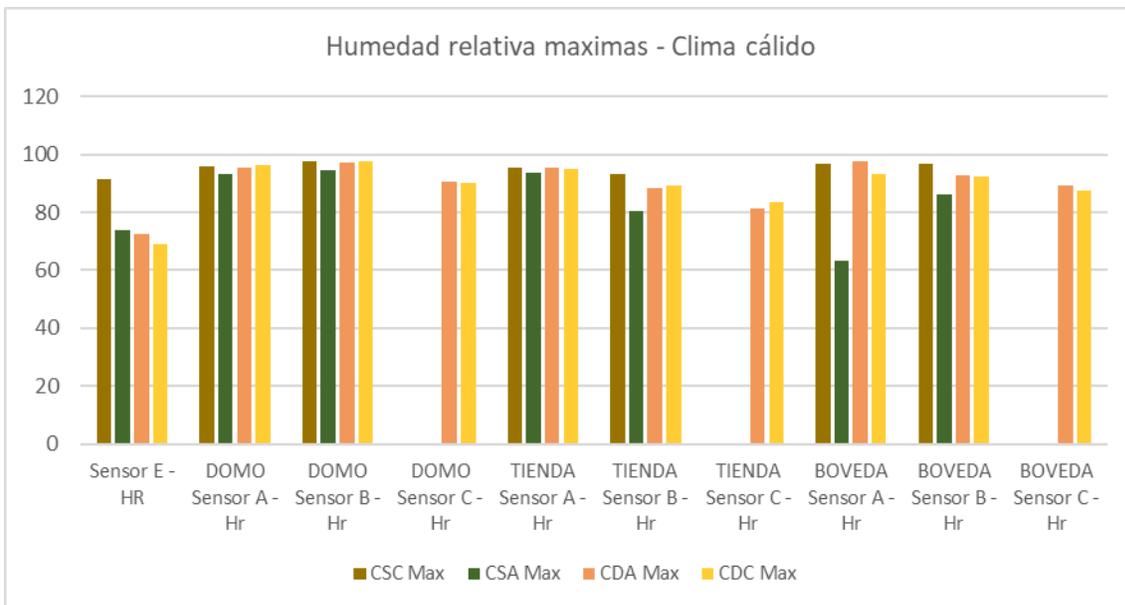
Gráfica 21. Temperaturas máximas

También se identifican diferencias entre los sensores superiores e inferiores que son especialmente interesantes en las configuraciones de ventilación abierta, donde tenemos aire más caliente abajo que arriba, lo cual se puede explicar por el flujo de ventilación cruzada producido por las ventilaciones inferiores y superiores.



Gráfica 22 Temperaturas mínimas

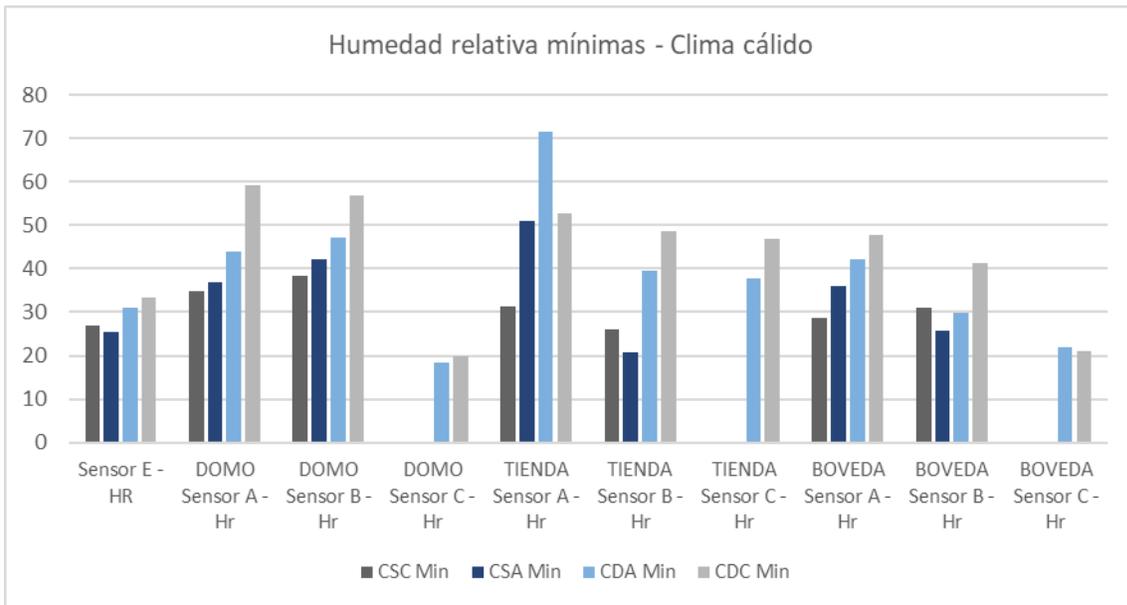
Las temperaturas mínimas (ver gráfica 22) son casi todas mediciones nocturnas y se presentan como datos bastante homogéneos entre los diferentes prototipos y sensores. En este caso las variaciones terminas son menores. En este caso de nuevo se demuestra que las cámaras de aire generadas en las configuraciones de doble cubierta funcionan como aislamientos y por esa razón se presentan temperaturas más bajas en ellas.



Gráfica 23. Humedad relativa máxima

Las mediciones máximas de humedad relativa en climas cálidos presentan concentraciones de humedad relativa más alta que la esperada, muy similar a clima frío. Aunque no es posible confirmar sin pruebas comparativas de piso, es probable que la captura de energía dentro de los prototipos, genere evaporación del piso y aumente la humedad relativa dentro del espacio. Ver grafica 23.

Por su parte, las humedades relativas mínimas (ver grafica 24) se presentan siempre en los momentos con temperaturas más altas y presentan mayores variaciones entre sensores y prototipos manteniéndose en su gran mayoría por debajo del 50%.



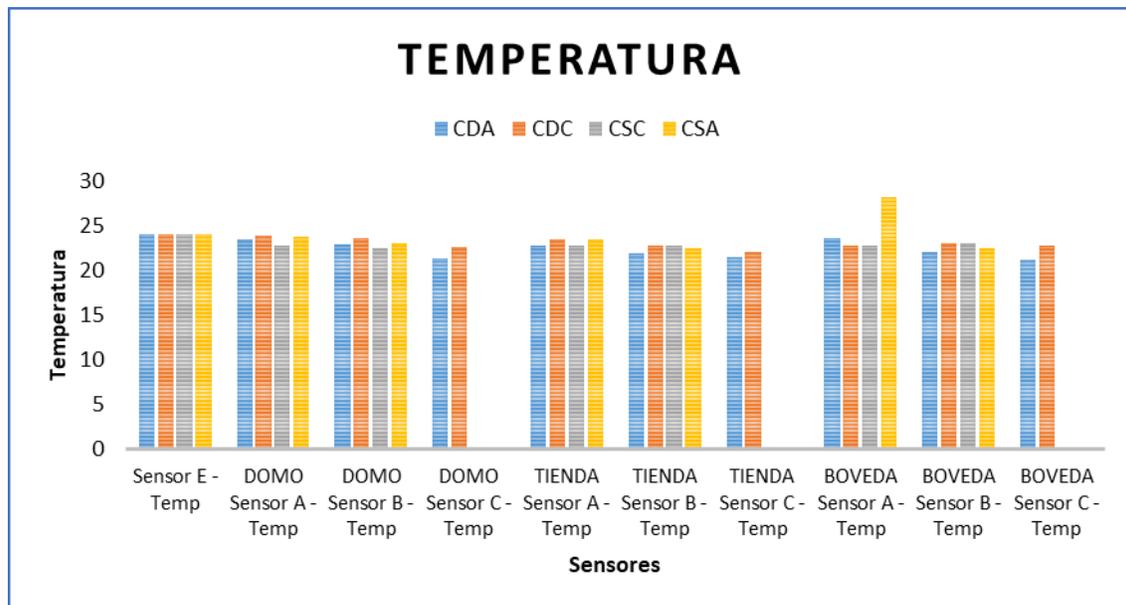
Gráfica 24. Humedad relativa mínima

Mientras que en las mediciones de clima frío, era posible conseguir una cierta cantidad de horas dentro de los rangos de uso de actividad humana, en las mediciones de clima cálido, estas horas se reducen a casi cero. Las cantidades de horas para el uso de almacenamiento se mantienen en cero y solo los usos de saneamiento básico y agricultura se hacen viables.

Tabla 8 Tiempos dentro de los rangos según uso

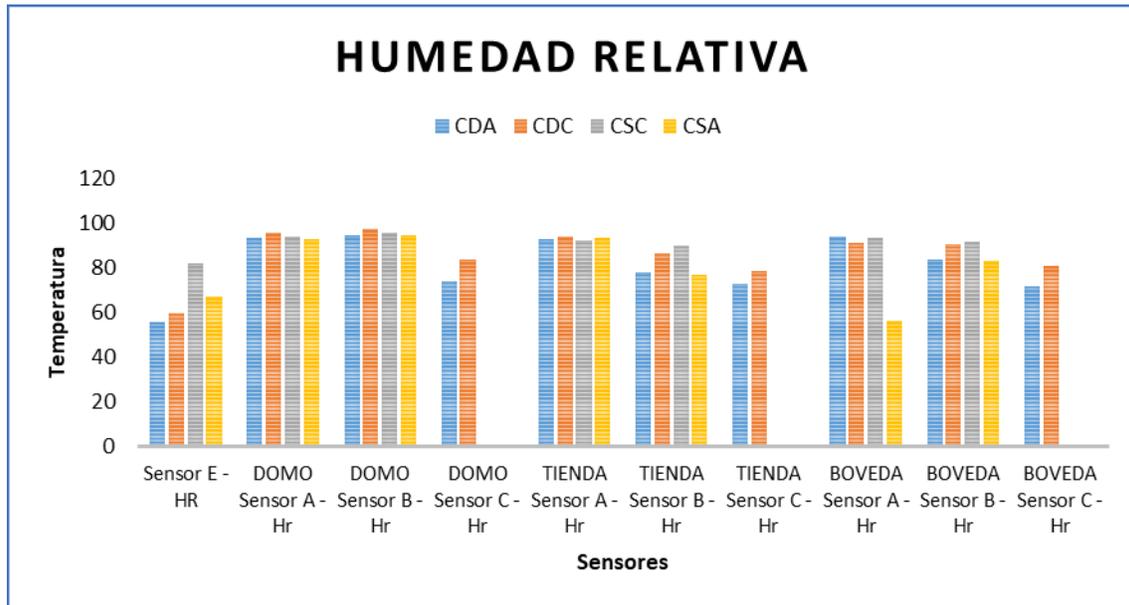
USO	TIEMPOS DENTRO DE LOS RANGOS SEGÚN USO											
	CSC			CSA			CDA			CDC		
	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA	DOMO	TIENDA	BOVEDA
Actividad humana diurna							0,2					
Actividad humana nocturna												
Saneamiento basico - secado	6	5,5	6,3	1,2	3,7	3,7	1,2	3,7	3,7		0,3	0,7
Saneamiento basico - compostaje	3,5	3,7	4	2,7	6,7	6	2,7	6,7	6	1,2	5,5	7,3
Almacenamiento												
Agricultura	17	18,5	17	22,2	14	23,5	22,2	24	23,2	23,7	23,7	22,5

El gráfico de temperatura comparada con base en temperatura exterior de 24 horas demuestra que, en todos los casos, los prototipos funcionan como aislante y se obtienen temperaturas inferiores a las temperaturas exteriores. Sin embargo, es importante anotar que estas mediciones fueron tomadas en momentos en que podría o no haber radiación solar directa, que es una condición clave a la cual la arquitectura textil es especialmente sensible. Ver grafica 25.



Gráfica 25. Comparativo simultáneo. Temperatura

Por su parte, el mismo grafico de comparación simultánea en la humedad relativa indica que en el mismo momento, todas las mediciones de humedad relativa fueron más altas en el interior de todos los prototipos y sensores. Ver grafica 26.



Gráfica 26. Comparativo simultaneo. HR

7.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico unidimensional y bidimensional, presenta resultados similares en ambos climas, siendo el prototipo más próximo a los rangos deseados en todos los usos, la bóveda de cubierta simple y doble con ventilación abierta o cerrada ya sea de día o de noche.

Para evaluar la actividad humana diurna y nocturna, se establecieron horarios diferenciados de tal manera que las lecturas fueran correspondientes con el horario de uso.

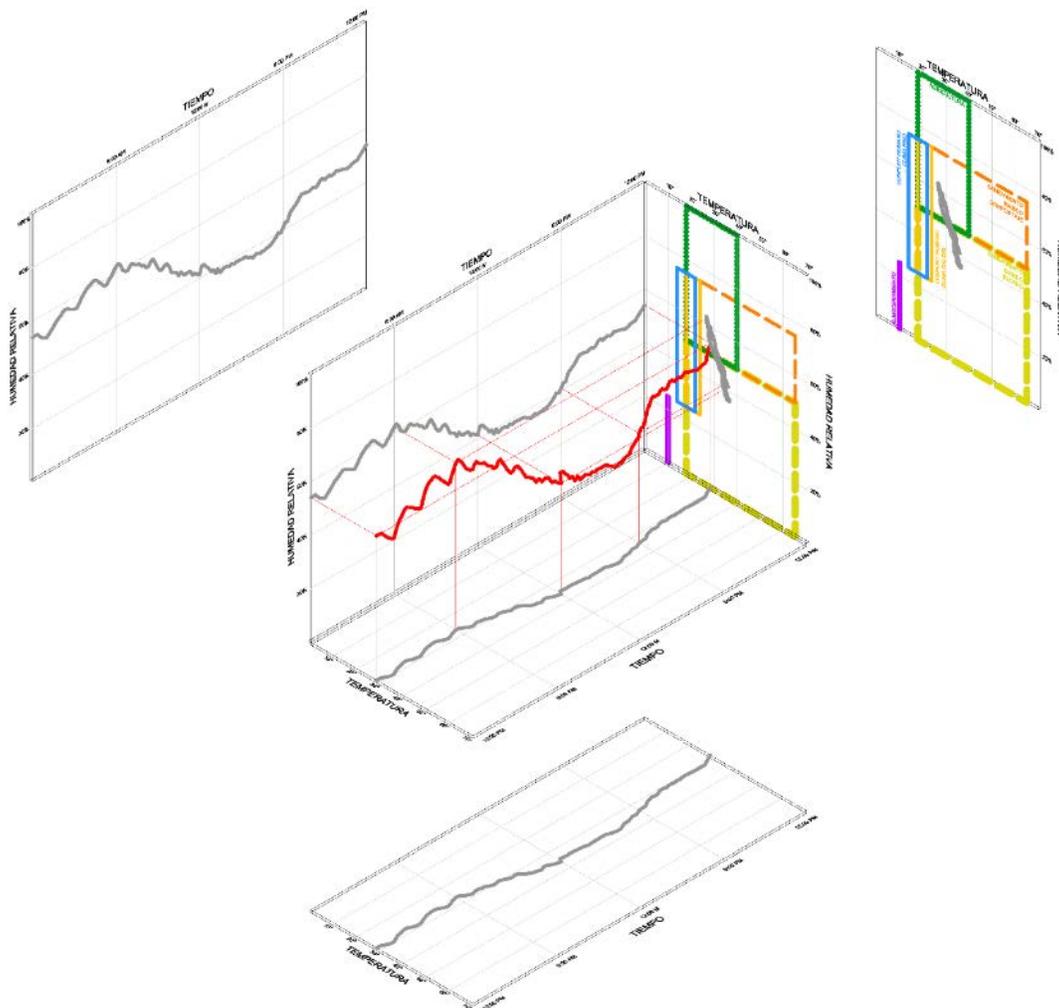
Tabla 9. Análisis unidimensional (ver en detalle anexo 6)

ACTIVIDAD	CLIMA	CONFIGURACIÓN CUBIERTA	CONFIGURACIÓN VENTILACIÓN	GEOMETRÍA	SENSOR	TEMPERATURA			Humedad Relativa		
						Mínimum Link	Máximum Link	AVG Linkage Euclide	Mínimum Link	Máximum Link	AVG Linkage Euclide
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Boveda	Alto	8,7	18,7	13,5	15,1	42,1	28,3
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Tienda	Bajo	3,8	33,6	12,9	0,2	59,5	35,7
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Boveda	Bajo	3,9	31,6	13,7	4,8	65,0	39,1
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Tienda	Alto	0,0	36,3	9,2	0,1	69,7	43,4
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Boveda	Bajo	1,1	23,7	7,4	16,7	60,5	47,3
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Boveda	Alto	0,8	21,5	7,8	18,6	67,3	50,5
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Tienda	Bajo	3,8	35,7	13,1	5,0	72,1	51,1
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Boveda	Alto	3,9	39,4	14,2	7,8	75,6	51,4
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Boveda	Bajo	4,1	37,2	14,3	10,0	75,8	51,7
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Boveda	Bajo	3,8	18,2	6,7	26,0	62,6	52,4
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Tienda	Alto	3,2	35,7	9,3	0,5	68,9	53,8
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Domo	Alto	4,0	41,9	15,7	13,8	74,9	53,9
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Tienda	Alto	3,7	39,0	13,1	10,4	74,4	54,2
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Cerrado	Domo	Bajo	3,9	39,8	14,7	17,3	76,6	55,9
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Domo	Alto	5,4	41,7	13,6	15,8	72,0	57,8
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Boveda	Alto	4,1	17,5	7,5	27,5	68,1	59,7
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Tienda	Alto	4,9	27,3	11,4	30,0	72,7	60,7
Actividad humana diurna	Cálido	Simple	Abierto	Domo	Bajo	4,8	38,7	12,8	21,2	73,6	60,8
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Domo	Alto	3,4	36,8	10,0	23,0	74,3	64,9
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Domo	Bajo	2,7	37,2	9,4	26,2	76,0	67,4
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Tienda	Bajo	4,9	19,1	7,6	31,7	73,8	67,8
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Abierto	Tienda	Bajo	2,7	18,1	7,5	50,5	74,5	68,5
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Domo	Alto	5,4	27,4	8,7	38,2	75,3	70,7
Actividad humana diurna	Cálido	Doble	Cerrado	Domo	Bajo	5,1	31,0	8,5	35,8	76,7	72,1

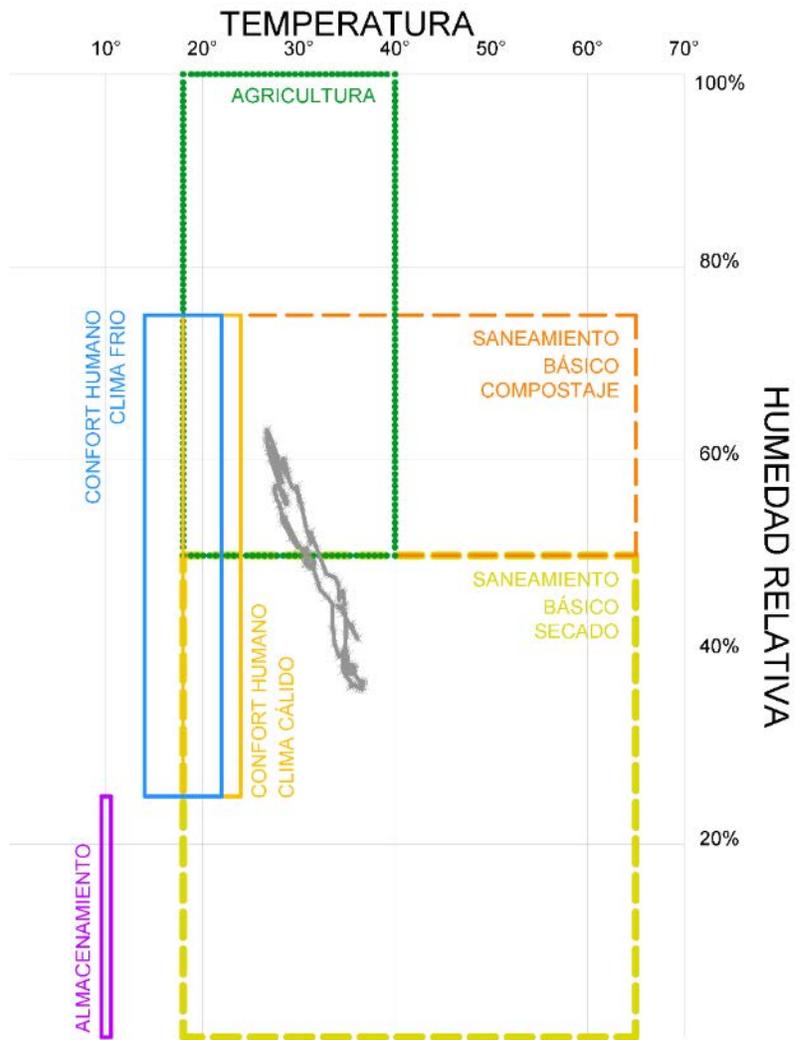
Tabla 10. Análisis multidimensional (Ver en detalle anexo 6)

ACTIVIDAD	CLIMA	CONFIGURACIÓN CUBIERTA	CONFIGURACIÓN VENTILACIÓN	GEOMETRÍA	SENSOR	MÉTODO ESTADÍSTICO 1	MÉTODO ESTADÍSTICO 2	MÉTODO ESTADÍSTICO 3	MÉTODO ESTADÍSTICO 4	MÉTODO ESTADÍSTICO 5	MÉTODO ESTADÍSTICO 6	MÉTODO ESTADÍSTICO 7	MÉTODO ESTADÍSTICO 8
						Mínimum Link	Máximum Link	Avg Linkage Euclidean	Avg Linkage Mahalanobis	Avg Linkage Correlation	Avg Linkage Cosine	DTW Temp	DTWHR
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Boveda	Alto	2,9	38,2	36,8	3,2	1,0	0,1	4835,2	1337,7
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Boveda	Alto	22,0	60,8	48,2	4,2	1,0	0,2	5614,8	3660,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Domo	Alto	18,8	66,8	49,4	4,3	1,0	0,2	5377,0	4028,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Domo	Alto	31,1	65,7	54,0	4,6	1,0	0,2	5580,2	5014,6
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Tienda	Alto	7,8	62,7	46,0	4,0	1,0	0,2	5445,5	3056,6
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Tienda	Alto	2,3	63,9	49,3	4,2	1,0	0,2	5445,1	3999,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Boveda	Alto	30,6	36,0	37,6	3,2	1,0	0,1	4969,7	1363,5
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Boveda	Alto	11,8	62,7	49,8	4,3	1,0	0,2	5550,2	4048,6
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Domo	Alto	17,8	65,8	49,5	4,3	1,0	0,2	5358,7	4368,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Domo	Alto	31,0	67,7	53,8	4,6	1,0	0,2	5472,3	5191,1
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Tienda	Alto	9,3	62,8	48,4	4,2	1,0	0,2	5459,0	3769,7
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Tienda	Alto	3,2	65,2	50,0	4,3	1,0	0,2	5417,2	4193,2
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Boveda	Bajo	14,6	63,0	47,4	4,2	1,0	0,2	5660,3	3103,3
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Boveda	Bajo	5,7	62,0	46,9	4,1	1,0	0,2	5551,0	3229,0
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Domo	Bajo	10,7	67,0	48,1	4,2	1,0	0,2	5458,4	3836,9
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Domo	Bajo	26,9	66,1	53,1	4,6	1,0	0,2	5644,9	4727,6
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Abierto	Tienda	Bajo	9,9	61,2	45,7	3,9	1,0	0,2	5466,3	2989,4
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Abierto	Tienda	Bajo	17,7	62,5	49,1	4,3	1,0	0,2	5601,6	3795,4
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Boveda	Bajo	19,1	62,0	47,6	4,2	1,0	0,2	5563,6	3395,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Boveda	Bajo	9,9	64,6	48,7	4,3	1,0	0,2	5540,4	3659,3
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Domo	Bajo	12,2	65,0	48,8	4,2	1,0	0,2	5382,4	3976,8
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Domo	Bajo	28,5	67,0	53,2	4,7	1,0	0,2	5523,2	4943,9
Actividad humana diurna	Frio	Simple	Cerrado	Tienda	Bajo	11,7	61,3	47,6	4,1	1,0	0,2	5476,0	3638,1
Actividad humana diurna	Frio	Doble	Cerrado	Tienda	Bajo	15,1	64,3	50,6	4,3	1,0	0,2	5450,1	4210,1

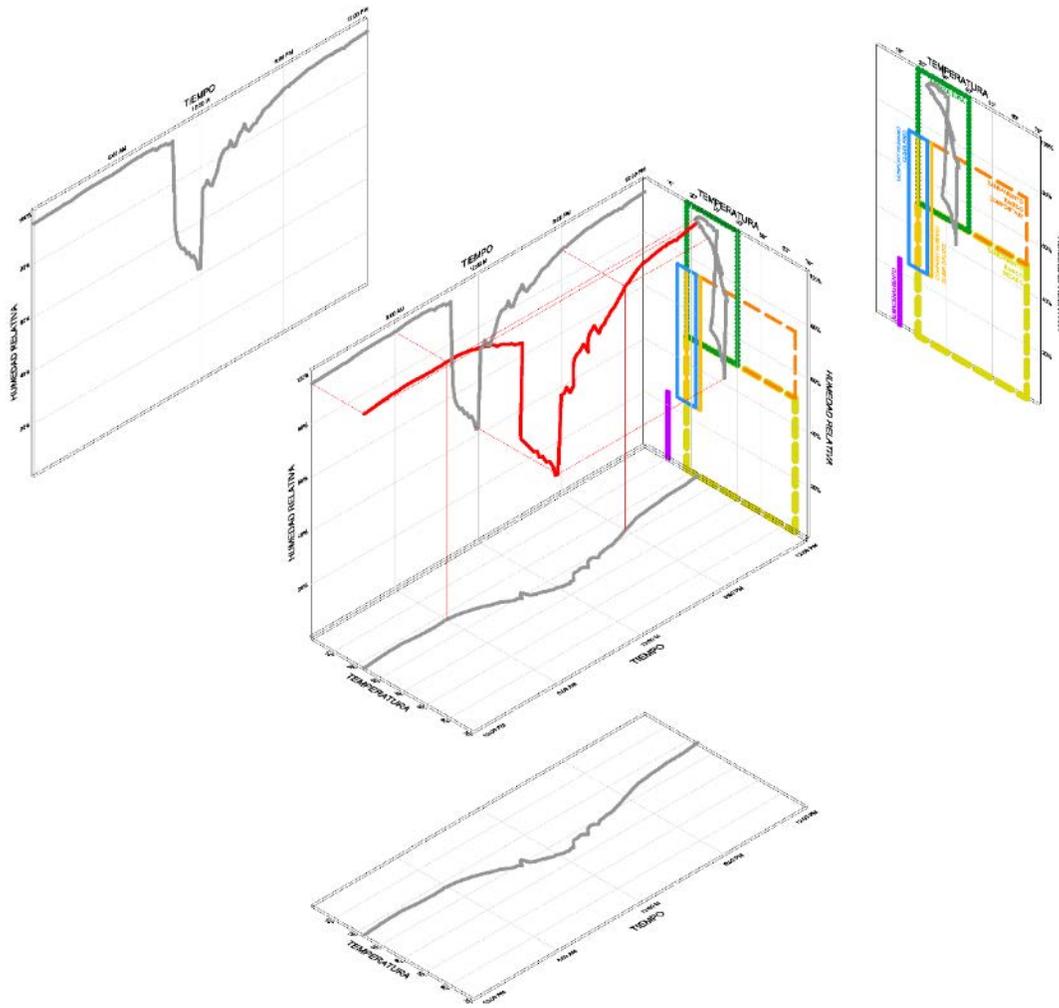
Con los resultados de análisis estadístico, que son coherentes con los tiempos dentro de los rangos de acuerdo al tipo de uso, fue posible identificar un prototipo para realizar un análisis más detallados de las variaciones en sus distintas configuraciones y se realizó una revisión grafica tridimensional del comportamiento higrotérmico de la bóveda con cubierta simple y doble con ventilación abierta y fue posible evidenciar que efectivamente la nube de puntos generadas por las mediciones se encuentra como la más cercana a los rangos requeridos (ver graficas 27, 28, 29 y 30)



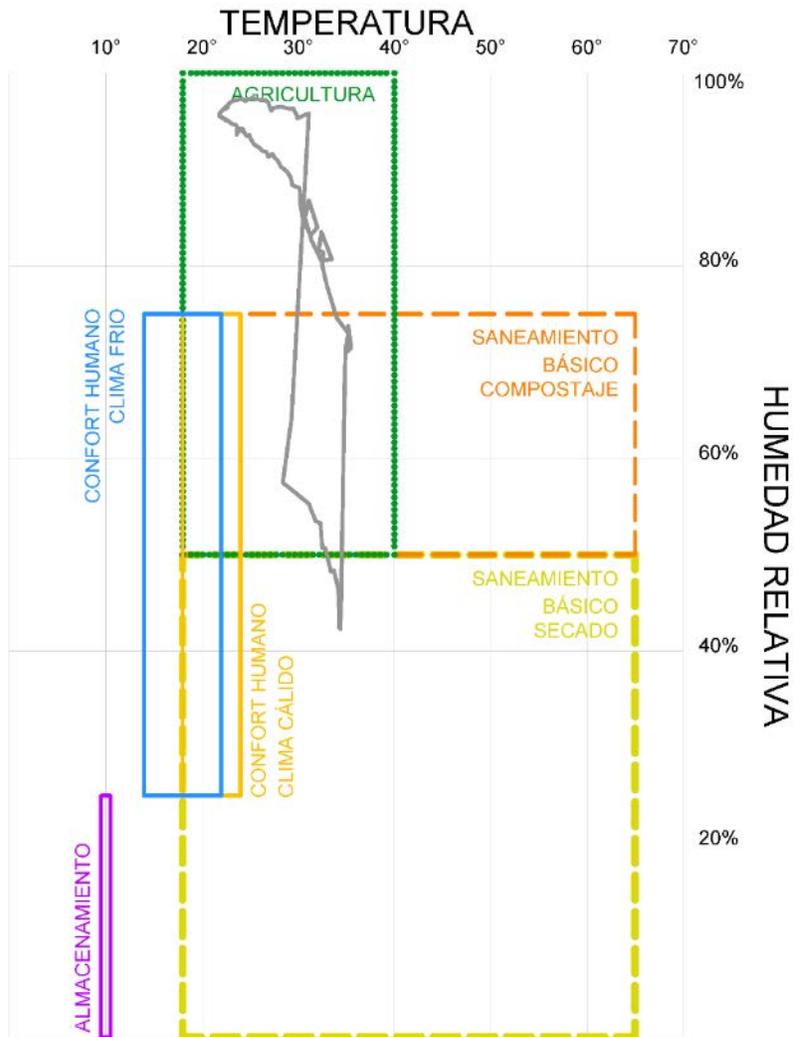
Gráfica 27. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta simple + Ventilación abierta. Clima cálido. 3D



Gráfica 28. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta simple + Ventilación abierta. Clima calido



Gráfica 29. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta doble + ventilación abierta. Clima cálido. 3D



Gráfica 30. Comportamiento higrotérmico Bóveda + Cubierta doble + Ventilación abierta. Clima cálido

8. CONCLUSIONES

8.1. GENERALES

La identificación y estudio de materiales locales disponibles para diseñar y fabricar soluciones de arquitectura textil aplicados a la atención emergencias y desastres, fue el primer paso que permitió diseñar y fabricar prototipos de diversas características con los cuales se realizaron pruebas en distintos climas y con los cuales fue posible recopilar y analizar datos que permiten concluir que la correcta combinación de geometría, materiales y configuración de envolvente permite entregar soluciones arquitectónicas livianas basadas en textiles, eficientes y efectivas para la atención de emergencias y desastres.

Los resultados de los experimentos de campo permiten concluir que cada uno de los aspectos clave de este proyecto (material, geometría y distintas configuraciones en la envolvente) de manera independiente o en conjunto, tienen un impacto claro y determinante en el comportamiento higrotérmico de los espacios, que pueden modificar temperaturas y niveles de humedad relativa. Las variaciones en temperatura causadas por la abertura de ventilaciones pueden oscilar entre 2 y 4 grados centígrados. Por cambio de simple a doble cubierta pueden oscilar entre 10 grados centígrados y muy importante, el sombreado o la exposición directa al sol, puede generar variaciones de entre 10 y 20 grados centígrados.

Teniendo en cuenta estos resultados, se hace evidente que la geometría es un factor clave que puede generar cambios radicales en el comportamiento térmico y especialmente en climas cálidos y/o ante presencia de radiación solar directa, pueden regular el comportamiento térmico de los espacios. Los domos son la geometría usada en el experimento que presentan un comportamiento térmico de captura de energía más alto, seguido por las bóvedas y finalmente por las tiendas.

El potencial multipropósito de estas soluciones depende de su nivel de versatilidad y adaptabilidad basados en componentes específicos como los elementos de sombreado en forma de sobrecubiertas, las cámaras de aire que se puedan generar, los elementos de ventilación, la presencia de elementos de aislamiento a piso principalmente.

8.2. GEOMETRÍA

Desde la perspectiva de captura de energía, que se puede evidenciar en las gráficas comparativas de un mismo tipo de sensor, ubicado en distintos prototipos con igual configuración de envolvente

y expuesto a las mismas condiciones, es posible evidenciar que la geometría con mejor desempeño (que captura y almacena mayor cantidad de energía en forma de calor) es el domo, seguido de la bóveda y por último de la tienda. Este aspecto es de especial relevancia pues sin la presencia de un elemento de aislamiento de piso, esta eficiencia energética se convierte en calor que evapora la humedad del suelo y aumenta la humedad relativa dentro de un espacio.

Es especialmente evidente la fortaleza de la bóveda como geometría con relación a las otras, cuando se analizan los tiempos dentro de rangos específicos solicitados o requeridos por un uso específico. Las otras geometrías participan con menor cantidad de tiempo especialmente en clima frío, pero en clima cálido, este tiempo se reduce e incluso desaparece para usos específicos como la actividad humana, lo que hace necesario considerar el complemento de estas geometrías con estrategia de sombreado, mayor área de ventilación en las envolventes, aislamiento de piso, etc.

Evidentemente la geometría es un factor importante para la velocidad de captura de energía el cual sea más rápido en el prototipo domo, mientras que en el prototipo tienda es un proceso más lento. De la misma manera se aprecia en las mediciones que la pérdida energética se produce más rápidamente en el prototipo domo y bóveda mientras que en el prototipo tienda la pérdida térmica se produce de manera más lenta.

8.3. MATERIAL

Las conclusiones basadas en el análisis de material se pueden organizar y estudiar desde dos componentes distintos.

8.3.1. CÁMARA DE AIRE

Una de las posibilidades de modificación de las propiedades del material es la sobre posición de capas que generen cámaras de aire. Estas cámaras dependiendo del clima y de la hora en que sean utilizadas, puede funcionar como elementos de aislamiento que reducen la transferencia térmica, condición que puede ser favorable o desfavorable dependiendo del uso requerido en un clima específico. En términos concretos, una cámara de aire puede ser muy útil para mantener un espacio fresco en un clima cálido, sin embargo, si se requiere cierto nivel de temperatura alta, se recomienda prescindir de esta configuración. De la misma manera en horas de la noche con ganancias nocturnas, Estas cámaras de aire deberían servir como componente que ralentice y disminuya la velocidad de pérdida energética.

La cámara de aire producido por la cubierta interior y la cubierta exterior presenta variaciones térmicas muy altas en relación a la temperatura exterior, la cual alcanza hasta 18° de diferencia. De esta manera es posible refrigerar los espacios interiores logrando un comportamiento térmico interior muy similar al de la temperatura exterior. La combinación de la cámara de aire con la configuración de ventilación cruzada modifica en gran medida estas variaciones térmicas y tiene una afectación directa en el componente geométrico de los prototipos.

8.3.2. SOMBREADO

Durante las pruebas fue posible conocer el comportamiento higrotérmico con sombra de árboles, el cual genera un cambio fuerte en el comportamiento higrotérmico. Aunque por limitaciones de recursos y tiempo, no se incluyó la variable de color en los experimentos, esta condición de sombra se puede recrear usando sobrecubiertas de color oscuro que estén aisladas por lo menos 15 cm de la cubierta principal y que el espacio entre la cubierta y la sobrecubierta se encuentre ventiladas. Esta característica del material se puede combinar con la generación de cámaras de aire cerradas o ventiladas, convirtiéndose en un factor clave para la captura o pérdida de energía hacia el interior de un espacio.

8.4. VENTILACIÓN

Aunque las mediciones entre una configuración de ventilación abierta y cerrada, se pueden ver afectada por distintos factores, es posible evidenciar variaciones sustanciales en la temperatura y en la humedad relativa que en algunos momentos puede ser pequeñas de entre 2 °C y 4 °C hasta convertirse en diferencias especialmente significativas de entre 5 °C y 10 °C. En términos de la humedad relativa, puede generar diferencias sustanciales de hasta un 20%

La ventilación cruzada lograda con la apertura de las ventilaciones inferiores y superiores de los prototipos evidencia un control térmico que reduce el diferencial entre la temperatura interior y exterior en las cubiertas simples en una magnitud de más de 5 °C. Este componente de ventilación cruzada en clima frío iguala las temperaturas entre el interior y exterior.

8.5. PARÁMETROS SUGERIDOS

Con base en la información obtenida, es posible establecer sugerencias de acuerdo al clima y tipo de uso requerido.

Para poder llegar a estas sugerencias, fue necesario reinterpretar los datos obtenidos en el análisis estadístico en función de los factores y componentes de la solución de arquitectura textil y de las actividades identificadas como necesarias y los parámetros ideales. Como primer dato especialmente relevante, resultan las bóvedas como las geometrías con la mejor relación de temperatura, humedad relativa y tiempo en relación a todos los usos. Las variaciones y diferencias están enfocadas en los demás componentes como sobre cubierta o doble cubierta, la configuración de ventilación y el aislamiento del piso. Todos parámetros que se pueden modificar con mínima complejidad y que definitivamente requieren interacción humana en el transcurso del día.

Tabla 11. Parámetros sugeridos para clima frio

Clima		PARÁMETROS SUGERIDOS				
		FRIO				
Uso >>	Actividad humana diurna	Actividad humana nocturna	Saneamiento básico - secado	Saneamiento básico - compostaje	Agricultura	
Componente	Geometría de la cubierta	Bóveda	Bóveda	Bóveda	Bóveda	Bóveda
	Dimensiones de la geometría	2,20 m a 2,50 m de altura	2,20 m a 2,50 m de altura	2,00 m de altura máxima	2,00 m de altura máxima	2,00 m de altura máxima
	Sobrecubierta	Si	Opcional	Opcional como protección ante el agua.	No	No
	Doble cubierta	No	Opcional	No	No	No
	Configuración de la ventilación	Cerrada 50%	cerrada 50%	Abierta	cerrada 50%	cerrada 50%
	Ventilación	Inferior y superior	Superior	Inferior y superior	Superior	Superior
	Aislamiento de piso	No	Si	No	No	No

Los parámetros sugeridos para clima frio, implican dimensiones máximas de 2.00 m en las actividades no humanas, pues de esa manera es posible mantener volúmenes de aire menores con los que se requeriría menor cantidad de energía para mantener dentro de los rangos de temperatura y humedad relativa esperados. Con actividad humana estas dimensiones se basan en el mismo criterio, pero se debe atender espacios funcionales para los ocupantes por lo que se plantean alturas de máximo 2.50 m.

Teniendo en cuenta que se espera que el calor del día penetre la bóveda, las sobrecubiertas son opcionales de acuerdo al nivel de translucidez de la cubierta. Cubiertas de colores claros y niveles de opacidad menores, tendrán mejor paso de la energía y por tanto mejores comportamientos térmicos.

La configuración de ventilación se sugiere cerrada en un 50% de tal manera que se reduzca la pérdida energética de temperatura y al mismo tiempo se permita la ventilación para dar salida a la humedad. En los experimentos de campo fue evidente que la ventilación cerrada en clima frío, combinadas con el paso de radiación solar, generaron evaporación y condensación interna y con el manejo adecuado de las ventilaciones de acuerdo a la hora del día, es posible reducir este fenómeno.

En relación con el punto anterior, el renglón de ventilación sugiere que tipo de ventilaciones debe tener la configuración. En algunos casos se recomienda ventilaciones inferiores y superiores y en otros casos solo ventilación superior. La ventilación inferior tiene como objetivo permitir el acceso de aire fresco y la ventilación superior, la de permitir la salida del aire cálido y el vapor de agua. Teniendo en cuenta lo anterior, para clima frío se recomienda únicamente ventilación superior para tres usos, incluido el de actividad humana nocturna y ventilación superior e inferior para los otros dos usos.

Por su parte, el aislamiento de piso es un componente recomendado únicamente para la actividad humana nocturna. Por temas funcionales y de comportamiento higrotérmico, no es requerido para los demás usos. Incluso la presencia de un aislamiento de piso, reduce los niveles de humedad relativa interna lo que en algunos casos puede alejarnos del comportamiento deseado.

Tabla 12. Parámetros sugeridos para clima cálido

PARÁMETROS SUGERIDOS						
Clima		CÁLIDO				
Uso >>	Actividad humana diurna	Actividad humana nocturna	Saneamiento básico - secado	Saneamiento básico - compostaje	Agricultura	
Componente	Geometría de la cubierta	Bóveda	Bóveda	Bóveda	Bóveda	Bóveda
	Dimensiones de la geometría	> 2,50 m de altura	> 2,50 m de altura	2,00 m de altura máxima	2,00 m de altura máxima	2,50 m de altura máxima
	Sobrecubierta	Si	Opcional	Opcional como protección ante el agua.	No	No
	Doble cubierta	No	No	No	No	No
	Configuración de la ventilación	Abierta	Abierta	Abierta	cerrada 50%	cerrada 50%
	Ventilación	Inferior y superior	Inferior y superior	Inferior y superior	Inferior y superior	Inferior y superior
	Aislamiento de piso	Si	Si	No	No	No

De manera similar a las sugerencias de clima frío, en clima cálido la geometría predominante fue la bóveda. La principal diferencia se plantea en las dimensiones, donde para efectos de actividades humanas se sugieren dimensiones mínimas de 2.50 m para facilitar la ventilación superior con el objetivo de retirar el aire cálido.

La sobrecubierta como elemento de sombreado se convierte en un requisito indispensable en la configuración para actividad humana diurna. Se recomienda esta sobrecubierta en color oscuro y que el espacio entre la cubierta y la sobrecubierta sea de mínimo 15 cm. y esté ventilado.

Debido a las altas temperaturas que se pueden conseguir dentro de las bóvedas y el efecto de evaporación del piso que pueden generar estos espacios, se recomienda en el uso humano diurno y nocturno, incluir aislamiento de piso.

La configuración de ventilación en este clima se sugiere con ventilaciones superiores e inferiores, pues el flujo de cruzado de aire fresco que accede inferiormente es necesario para facilitar y aumentar la velocidad de salida de aire caliente por la parte superior.

Aunque los experimentos de campo se desarrollaron con prototipos que en términos dimensionales respondían a requerimientos estrictamente funcionales, teniendo en cuenta la diferencia de temperatura entre el sensor alto (A) y el sensor bajo (B), es posible sugerir estas dimensiones mínimas de acuerdo al uso y a los climas para modificar el comportamiento higrotérmico. Estos experimentos permitieron también observar algunas condiciones de variación de vientos que indican que, ante viento fuertes, la geometría con mejor comportamiento aerodinámico es el domo. La bóveda a diferencia del domo, requiere tensores y elementos estructurales adicionales, pues las caras planas ante el viento generan gran resistencia.

8.6. APLICACIONES MULTIPROPÓSITO

Este trabajo se basa en experimentos de campo, que permiten obtener y procesar datos científicamente de tal manera que en principio pueden ser abstractos, pero que tienen una fuerte conexión con la práctica profesional de los arquitectos o demás profesionales que realicen labores de campo en diferentes áreas, de tal manera que la información aquí obtenida y las sugerencias de diseño desarrolladas, permiten entender también este trabajo como una investigación aplicada, en la medida en que los parámetros se pueden aplicar directamente en campo.

La información obtenida en este proyecto, permite concluir adicionalmente que las aplicaciones multipropósito de una solución espacial liviana basada en textiles, es viable, pues se puede controlar el comportamiento higrotérmico de los espacios interiores, a través de adición o sustracción de componentes arquitectónicos o con la manipulación geométrica o dimensional de algunos componentes específicos.

Aunque no se incluye de manera directa, información relacionada con requerimientos para otro tipo de aplicaciones, el desarrollo del marco teórico y referencial, permite concluir que este trabajo tiene aplicaciones prácticas más allá del escenario de la atención de emergencias y desastres. Durante el desarrollo de este proyecto, se pudo identificar otros escenarios de aplicación de arquitectura textil para instalaciones temporales, itinerantes o permanentes ubicadas en zonas remotas para usos como oficinas, exhibición comercial, instalaciones educativas, instalaciones de atención médica, espacios productivos agrícolas, mineros o industriales e instalaciones hoteleras tipo glamping entre las más interesantes.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y PROYECTOS

En términos del desarrollo del proyecto y las limitaciones de tiempo, recursos y logística, se logró un resultado interesante con base en un experimento piloto en condiciones de alta montaña, que permitió consolidar la formulación de experimentos de campo más completos en clima frío y en clima cálido. Estos experimentos combinaron dos componentes (envolvente y ventilaciones) que generaron cuatro escenarios que fueron medidos durante 24 horas cada uno, en dos climas distintos. Estos experimentos se desarrollaron usando un único material, de un solo color.

El análisis y procesamiento de datos permitió explorar y confirmar la correlación de resultados entre distintas metodologías de análisis estadístico de datos basados en distancias.

Este trabajo fue un proceso intenso que requirió una buena cantidad de recursos que han dado resultados concretos y que permitirán en un futuro, la ampliación de estos experimentos con mayor rango de tiempos de mediciones, otros componentes y parámetros (como aislamientos de piso, distintos colores o niveles de opacidad) y una validación que facilitará y optimizará el procesamiento y análisis de datos para obtener resultados más precisos y amplios.

Adicional mente el tiempo que se pueda agregar a estas mediciones en los experimentos de campo, puede permitir explorar diversas combinaciones de ventilación que mezclen alternativamente entre la apertura y cierre de ventilaciones inferiores y superiores.

Debido a las variaciones climáticas que se pueden dar por presencia de vientos, radiación solar y otros aspectos, es importante en fases futuras incluir nuevas locaciones con condiciones de clima y microclima específicos y diversos, que permita a través de mayores mediciones ampliar la base de datos de conocimiento para el diseño de los parámetros de diseño de estas arquitecturas textiles.

Estas nuevas pruebas pueden incluir experimentos con prototipos similares geoméricamente, pero con otros materiales y sus posibles combinaciones.

Con base en la información recopilada, se puede trabajar en la generación de algoritmos y aplicaciones de simulación digital de comportamiento térmico para arquitecturas y espacios desarrollados con textiles que se podrían integrar a software existente de simulación energética, para facilitar los procesos de diseño.

Dando sentido a la fase de difusión y extensión solidaria, se puede contemplar el desarrollo de material aplicado para usos y requerimientos específicos para personal de campo y otros profesionales de otras áreas en forma de guías y manuales físicos o digitales.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCHITECTURE FOR HUMANITY / STOHR, K., 2006. *Design Like you Give a Damn*. 2006. S.l.: s.n. ISBN 9780810997028 0810997029.
- BANCO MUNDIAL, 2012. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. *Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres* [en línea], pp. 438. DOI 333.3109861/A56. Disponible en: <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>.
- BUYLE, INE DE VILDER, G., VIRGO, V. y ROEL GIJSBERS, 2016. Membranes for shelters. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://ifrc-sru.org/wp-content/uploads/2016/03/membranes.pdf>.
- CHIPMAN, H. y TIBSHIRANI, R., 2006. Hybrid hierarchical clustering with applications to microarray data. *Biostatistics*, vol. 7, no. 2, pp. 286-301. ISSN 14654644. DOI 10.1093/biostatistics/kxj007.
- CRUZ ROJA - MEDIA LUNA ROJA, 2011. *El Proyecto Esfera*. S.l.: s.n. ISBN 9781908176028.
- DAVIS IAN, 1980. *Emergency architecture*. S.l.: s.n.
- IDEAM, 2011. Clasificación Climática de Colombia. , pp. 1-5.
- IGLESIAS, F. y KASTNER, W., 2013. Analysis of Similarity Measures in Times Series Clustering for the Discovery of Building Energy Patterns. *Energies*, vol. 6, no. 2, pp. 579-597. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en6020579.
- MOLLAERT MARIJKE, 2001. Environmental aspects in textile architecture. . S.l.
- MONJO CARRIÓ, J., 1985. La arquitectura textil. *Informes de la Construcción* [en línea], vol. 36, no. 367, pp. 5-30. ISSN 1988-3234. DOI 10.3989/ic.1985.v36.i367.1838. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1838%5Cnhttp://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1838/2038>.
- ROBERTO MAFFEI, 2012. *Sheltering in Emergency: Processes and Products*. Milano: s.n.
- VISCUSO, S. y ZANELLI, A., 2016. Insulated Membrane Kit for Emergency Shelters: Product Development and Evaluation of Three Different Concepts. *Procedia Engineering*. S.l.: s.n., DOI 10.1016/j.proeng.2016.08.037.