

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS CUBIERTAS EN EL CLIMA DE QUITO



Diana Valeria Cruz Casa

Tesina para la Obtención de Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente.

Tutora:

Dra. Helena Coch Roura

Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona 2017

AGRADECIMIENTO

A Antonio Isalgue, Helena Coch y Jefferson Torres, por compartir sus conocimientos y tiempo para el desarrollo de esta investigación.

A mis profesores, que contribuyeron en esta nueva etapa de mi formación académica.

En especial a toda mi familia en Ecuador, España, Costa Rica y China, por la fuerza y el apoyo para culminar este sueño.

CONTENIDO

ABSTRACT	1
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 OBJETIVOS:	5
1.1.1 OBJETIVO GENERAL:	5
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO	5
1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1 Confort ambiental y térmico	6
2.2 Parámetros de confort térmico	6
2.3 Confort térmico y el clima.....	7
2.4 La cubierta	9
2.4.1. Comportamiento térmico de la cubierta	9
2.5 Estudios previos de la cubierta	10
2.5.1 Intercambios energéticos	10
2.5.2 Variables y el clima	12
3. METODOLOGÍA:	20
3.1 Ubicación geográfica.....	20
3.2 Datos climatológicos	20
3.3 Confort térmico y la radiación por cubierta en climas ecuatoriales	22
3.3.1 Ganancias por radiación	23
3.3.2 Pérdidas por transmisión	25
3.4 Descripción Metodológica	27
3.4.1 Materiales	27
3.4.1.1 Hormigón armado	27
3.4.1.2 Fibrocemento	27
3.4.1.3 Acero galvanizado	28
3.4.2 Variables	28
3.4.2.1 Módulo base	29
3.4.2.2 Cámara de aire de 5 cm no ventilada	30
3.4.2.3 Modificación de la masa de hormigón armado	31
3.4.2.4 Aislamiento de poliuretano de 2.5 cm	32
3.4.3 Períodos de Simulación	33
3.5 Materiales de construcción y propiedades térmicas.....	34

3.6 Otros factores.....	34
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
4.1 Módulo base.....	35
4.2 Cámara de aire no ventilada e=5 cm	39
4.3 Modificación de espesor en hormigón armado	42
4.4 Cubiertas livianas y aislamiento de poliuretano de 2,5 cm.....	44
5. CONCLUSIONES:	50
6. BIBLIOGRAFÍA	52
7. ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía primaria, emisiones de CO2 y población mundial.....	2
Figura 2. Permisos de construcción según uso de la edificación.	3
Figura 3. Tipos de Vivienda en Ecuador.....	4
Figura 4. Material de cubierta en Quito.	4
Figura 5. Intercambios de calor en el cuerpo humano.....	7
Figura 6. Ábaco psicrométrico	8
Figura 7. Transferencia de calor en cubierta.	9
Figura 8. Pérdidas por transmisión.....	11
Figura 9. Cubierta simple Figura 10. Cubierta compuesta.....	12
Figura 11. Temperatura interior de la superficie	13
Figura 12. Caso 1 Fibrocemento	14
Figura 13. Caso 2 Teja	14
Figura 14. Caso 3 Tetra pak.....	15
Figura 15. Configuraciones de superficies reflectoras.....	15
Figura 16. SID Figura 17. DOD	17
Figura 18. Cubierta compacta	17
Figura 19. Cubierta ventilada.....	17
Figura 20. Mapa mundi . Fuente: IGM, Chile 2012 [28]......	20
Figura 21 Temperatura y Humedad en Quito.	21
Figura 22. Precipitación pluvial en Quito	21
Figura 23. Ábaco psicrométrico clima de Quito	22
Figura 24. Esquema comportamiento térmico.....	23

Figura 25. Incidencia solar latitud 0°C.....	24
Figura 26. Proporción incidencia solar latitud 0°C.....	24
Figura 27. Esquema comportamiento térmico.....	25
Figura 28. Pérdidas por transmisión.....	26
Figura 29. Proporción pérdidas y ganancias de calor.....	26
Figura 30. Tipos de cubiertas en hormigón armado.	27
Figura 31. Cubierta de fibrocemento.	28
Figura 32. Cubierta de acero galvanizado.....	28
Figura 33. Clasificación de variables.....	29
Figura 34. Modelo base.....	29
Figura 35. Tipos de cubierta.....	30
Figura 36. Tipos de cubierta con cámara de aire.....	31
Figura 37. Esquema de modificación de espesor en cubierta de HA.....	31
Figura 38. Tipos de cubierta con aislamiento.....	32
Figura 39. Valores de U (W/m ² K) usados en la simulación.....	32
Figura 40. Radiación solar incidente Marzo.....	33
Figura 41. Radiación solar incidente Septiembre.....	33
Figura 42. Ventajas y Desventajas de materiales para cubierta.....	34
Figura 43. Resultados temperatura marzo.....	36
Figura 44. Resultados temperatura septiembre.....	36
Figura 45. Temperaturas máximas marzo.....	37
Figura 46. Temperaturas máximas sep.....	37
Figura 47. Temp.Aire Interior promedios Marzo y Sep.....	38
Figura 48. Resultados temperatura marzo y septiembre.....	39
Figura 49. Comparación temperaturas máximas marzo.....	40
Figura 50. Comparación de temperaturas máximas: marzo y sep.....	41
Figura 51. Temp.Aire Interior promedios Marzo.....	42
Figura 52. Temp.Aire Interior promedios Sep.....	42
Figura 53. Comparación temp. máximas distintos espesores.....	43
Figura 54. Comparación temp. máximas distintos espesores Sep.....	43
Figura 55. Resultados temperatura marzo.....	44
Figura 56. Resultados temperatura septiembre.....	45
Figura 57. Comparación Temp. máximas Marzo.....	45
Figura 58. Comparación Temp. máximas Sep.....	46

Figura 59. Temp.Aire Interior promedios marzo.	47
Figura 60. Temp.Aire Interior promedios Sep.....	47
Figura 61. Temp.Aire Interior máximas Marzo.....	48
Figura 62. Temp.Aire Interior máximas Septiembre.	48
Figura 63. Comparación de temperaturas. promedio diurno de Marzo y Septiembre.....	49
Figura 64. Comparación de temperaturas. promedio nocturno de Marzo y Septiembre.....	49
Figura 65. Radiación Marzo.....	55
Figura 66. Radiación Septiembre.	55
Figura 67. TSE. Módulo base – Marzo.	65
Figura 68. TSI. Módulo base – Marzo.	65
Figura 69. TSE. Módulo base con cámara de aire – Marzo.	66
Figura 70. TSI. Módulo base con cámara de aire – Marzo.....	66
- Figura 71. TSE. Modificación de espesores – Marzo.....	67
- Figura 72. TSI. Modificación de espesores – Marzo.	67
- Figura 73. TAI. Modificación de espesores – Marzo.	68
- Figura 74. TSE. Modelo base con aislamiento de poliuretano – Marzo. ...	68
- Figura 75. TSI. Modelo base con aislamiento de poliuretano – Marzo.	69
- Figura 76. TSE. Modelo base – Septiembre.	69
- Figura 77. TSI. Modelo base – Septiembre.....	70
Figura 78. TSE. Modelo base con cámara de aire – Septiembre.	70
Figura 79. TSI. Modelo base con cámara de aire – Septiembre.....	71
Figura 80. TSE. Modelo base con cámara de aire – Septiembre.	71
Figura 81. TSI. Modelo base con cámara de aire – Septiembre.....	72
Figura 82. TAI. Modelo base con cámara de aire – Septiembre.....	72
Figura 83. TAI. Modelo base con poliuretano – Septiembre.....	73
Figura 84. TSI. Modelo base con poliuretano – Septiembre.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades térmicas de las superficies de los materiales.....	10
Tabla 2. Pérdidas por transmisión y ventilación.....	11
Tabla 3. Resultados obtenidos reducción de flujo de calor.....	16

Tabla 4. Radiación solar acumulada anual	24
Tabla 5. Valores de U usado en el modelo base.	34
Tabla 6. TSE -Hormigón Marzo.	56
Tabla 7. TSE -Fibrocesoento Marzo.	56
Tabla 8. TSE –Acero galvanizado Marzo.....	57
Tabla 9. TSI -Fibrocesoento Marzo.	57
Tabla 10. TSI -Fibrocesoento Marzo.	58
Tabla 11. TSI –Acero galvanizado Marzo.	58
Tabla 12. TAI -Hormigón Marzo.....	59
Tabla 13. TAI -Fibrocesoento Marzo.	59
Tabla 14. TAI –Acero galvanizado Marzo.	60
Tabla 15. TSE -Hormigón Septiembre.	60
Tabla 16. TSE –Fibrocesoento Septiembre.....	61
Tabla 17. TSE –Acero galvanizado Septiembre.	61
Tabla 18. TSI –Hormigón Septiembre.....	62
Tabla 19. TSI –Fibrocesoento Septiembre.	63
Tabla 20. TSI –Acero galvanizado Septiembre.....	63
Tabla 21. TAI –Hormigón Septiembre.....	63
Tabla 22. TAI – Fibrocesoento Septiembre.	64
Tabla 23. TAI – Acero Galvanizado Septiembre.	64

ABSTRACT

The roof is one of the areas most exposed to the solar radiation. In the present work, the thermal behavior of the three materials most used in roofing is analyzed: reinforced concrete, fiber cement and galvanized steel in the city of Quito.

To understand the heat transfer by conduction and radiation acting on each one. It establishes a base model with several variables as strategies: mass, air chamber and isolation.

The model was simulated in the software Design Builder and with the results obtained. The outer surface temperatures, internal surface temperatures and internal air temperatures are evaluated on each case. For its later comparison between each material and its variables.

Keywords: thermal behavior, heat transfer, materials, variables

RESUMEN

La cubierta es una de las superficies que más expuesta está a la radiación solar. En el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de los tres materiales más utilizados en cubierta: hormigón armado, fibrocemento y el acero galvanizado en la ciudad de Quito.

Para comprender la transmisión de calor por conducción y radiación que actúa sobre cada uno. Se establece un modelo base con distintas variables como estrategias: masa, cámara de aire y aislamiento.

El modelo fue simulado en el software Design Builder y con los resultados obtenidos. Se evalúa las temperaturas superficiales exterior, interior y del aire interior de cada caso. Para su posterior comparación entre cada material y sus variables.

Palabras clave: comportamiento de térmico, transmisión de calor, materiales, variables.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de energía por parte del ser humano ha provocado cambios que se están sintiendo ya en nuestro planeta como el cambio climático, el calentamiento global, el aumento de precipitaciones a nivel mundial, extinción de especies, etc.

En el informe Brundtland (Nuestro Futuro Común 1987) [25], menciona que “[...el desarrollo duradero requiere la promoción de los valores que alienten niveles de consumo que permanezcan dentro de los límites de lo ecológicamente posible...]”

La Agencia de Energía Internacional (IEA - 2006) ha recopilado datos sobre la tendencia en el consumo de energía (ver *Figura 1*). Durante las últimas dos décadas (1984 – 2004) la energía primaria ha alcanzado un 49 % y las emisiones de CO₂ un 43 %, con un incremento promedio anual del 2 % y 1.8% respectivamente y esta tendencia irá creciendo [1].

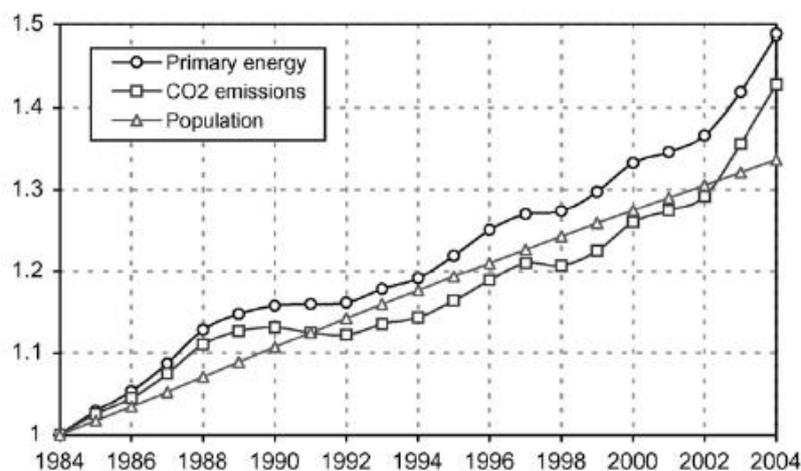


Figura 1. Consumo de energía primaria, emisiones de CO₂ y población mundial.
Fuente: IEA (Pérez-Lombard et al)

Predicciones estiman que en los países en vías de desarrollo (Sudeste Asia, Medio Este, Sudamérica y África) el uso de la energía crecerá en una tasa promedio anual del 3 % y para el 2020 superará al de los países desarrollados (Norte América, Europa Oriental, Japón, Australia y Nueva Zelanda) [1].

El sector de la construcción es el responsable del 30-40 % del uso de la energía a nivel mundial lo que representa el un tercio de las emisiones de CO2 [2].

Como una forma de disminuir la huella ecológica ocasionada por la construcción, es necesario retomar el uso de los sistemas pasivos como estrategia principal para reducir el consumo energía y las emisiones de CO2.

En la latitud ecuatorial, la radiación solar que incide sobre la cubierta es 6 veces mayor con respecto a la fachada sur/norte, ésta proporción se explica más adelante. Además, debido a su latitud recibe 12 horas de sol durante todo el año. El ángulo incidente sobre una superficie es perpendicular en la hora de mayor radiación. Por lo que la cubierta es la superficie más expuesta con respecto al resto de la envolvente.

En la ciudad de Quito, la vivienda unifamiliar es la tipología que predomina en el campo de la construcción.

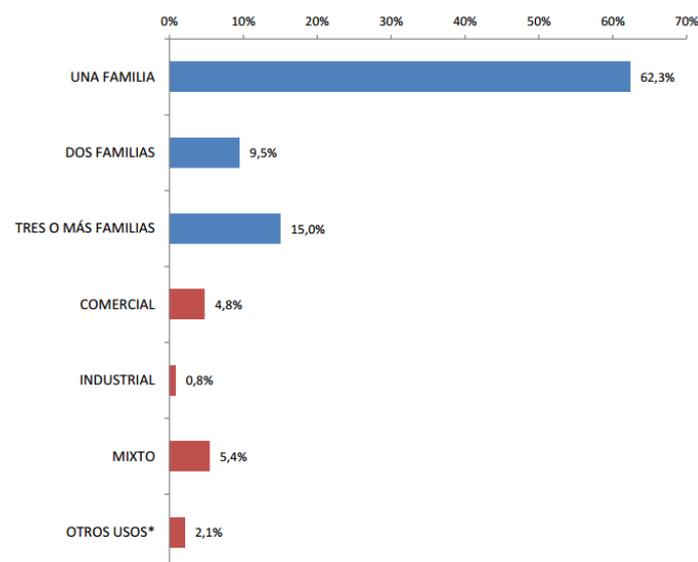


Figura 2. Permisos de construcción según uso de la edificación. Fuente: INEC - Encuesta de Edificaciones 2015. [26]

De acuerdo a estudios, el principal uso de las edificaciones reportado en los permisos de construcción corresponde a las residencias de una familia con

17.693 permisos (62,3%), seguido por tres o más familias con 4.271 permisos y dos familias 2.694. (INEC, 2015) (ver *Figura 2*).

Según el censo del 2010 (ver *Figura 3*), de las distintas tipologías de vivienda el 45.84 % corresponde a casa.

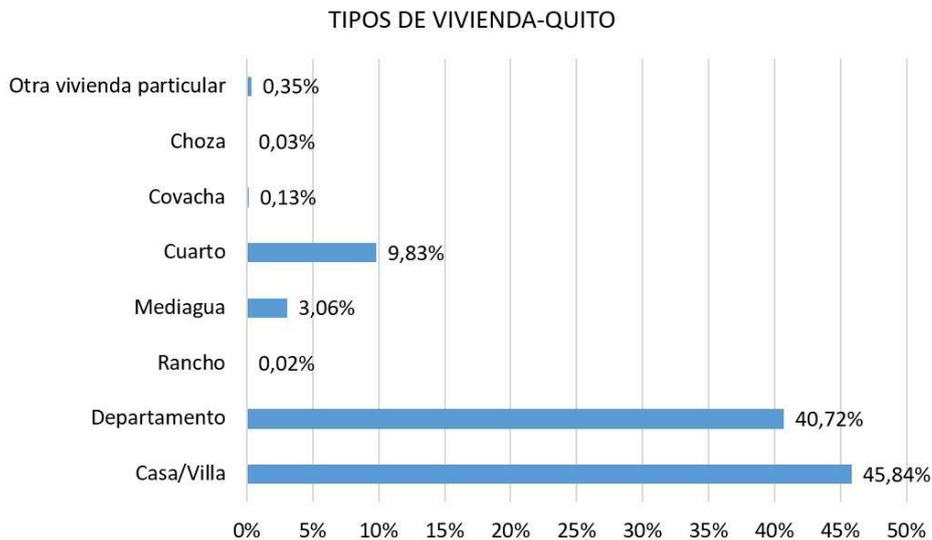


Figura 3. Tipos de Vivienda en Ecuador. Fuente: Elaboración propia en base al INEC 2010. [26]

Por lo tanto, el estudio pretende analizar el comportamiento térmico de los tres materiales más utilizados en las cubiertas en Quito (ver *Figura 4*) y la repercusión en la temperatura de aire interior del espacio. Para determinar la configuración óptima para el clima existente.

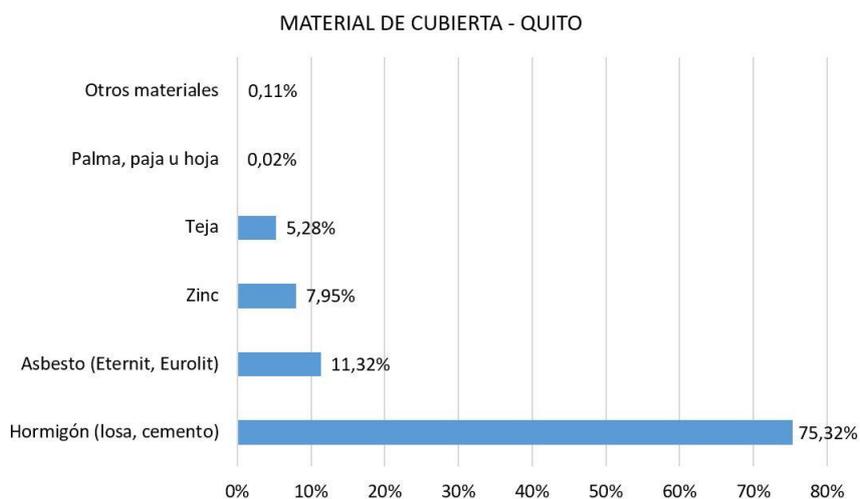


Figura 4. Material de cubierta en Quito. Fuente: Elaboración propia a partir del INEC. [26]

1.1 OBJETIVOS:

1.1.1 OBJETIVO GENERAL:

- Analizar el comportamiento térmico de las distintas configuraciones de cubierta utilizadas en el clima de Quito.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Estudiar los diseños de cubierta que ofrezcan al usuario un ambiente interior óptimo para el desarrollo de sus actividades.
- Evaluar mediante la simulación de un modelo el comportamiento térmico más eficiente para el funcionamiento de la cubierta mediante el uso de estrategias pasivas.

1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El uso de estrategias pasivas como la masa y el aislamiento contribuyen a mejorar la temperatura del aire interior de un espacio debido a las oscilaciones diarias ya que evita las pérdidas de calor por transmisión.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Confort ambiental y térmico

En la arquitectura el concepto de confort se puede considerar como relativo. Esta percepción va a depender del comportamiento ambiental así como de distintos factores por parte del usuario: sociales (tipo de actividad, vestido, etc.), fisiotemporales (aclimatación en períodos cortos o largos), fisiológicos y psicológicos (tipo de carácter, educación, sinestias) que actúan sobre los ambientes térmico, acústico y visual [3].

Por lo que, un espacio arquitectónico confortable procura establecer condiciones óptimas habitables para el desempeño de las actividades tomando en cuenta los factores mencionados.

Por otra parte, el confort térmico dentro un ambiente está determinado por los intercambios de calor entre las superficies y el cuerpo humano. Al entrar en contacto con el ambiente el cuerpo humano trata de adaptarse. A través de la disipación del exceso de calor metabólico por sistemas naturales para alcanzar un equilibrio.

Para lograr este equilibrio biológico, el cuerpo humano regula su temperatura corporal mediante el intercambio de calor con el ambiente.

De acuerdo a Víctor Olgay la “**zona de confort térmico**” es similar a una zona de neutralidad térmica que depende del ser humano y la actividad que realice [4].

2.2 Parámetros de confort térmico

En el confort térmico de un espacio los parámetros específicos considerados son: temperatura del aire, temperatura radiante, humedad relativa del ambiente y movimiento del aire. [4]

Estos parámetros intercambian calor con el ser humano hacia el ambiente mediante cuatro procesos: Radiación, Convección, Conducción y Evaporación los que influye en la sensación de calor [4].

Se estima que el cuerpo (ver *Figura 5*) pierde parte de su calor en las siguientes proporciones: $2/5$ por radiación, $2/5$ por conducción y $1/5$ por evaporación. Aunque pueden variar dependiendo de las variaciones en las condiciones térmicas [4].

La temperatura del aire intercambia calor al tener contacto con la piel y la ceden al aire por convección.

La humedad relativa es uno de los parámetros que puede exagerar la sensación de calor. Por ejemplo, cuando es baja permite que el cuerpo tenga una mayor evaporación por medio de la transpiración, como un sistema de refrigeración del cuerpo. Por otra parte, el movimiento del aire acelera el proceso de transmisión de calor y humedad de la piel al ambiente.

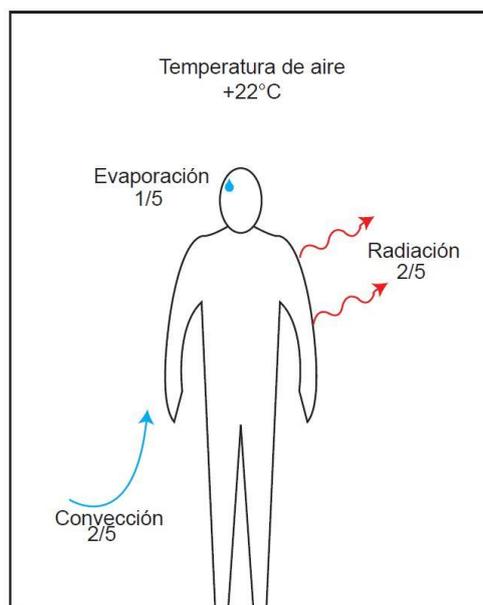


Figura 5. Intercambios de calor en el cuerpo humano
Fuente: Elaboración propia

2.3 Confort térmico y el clima

Otros factores que influyen en la temperatura del aire son las características geográficas, que para el caso de estudio las que se tienen en cuenta son:

Latitud, interviene sobre la masa atmosférica que atraviesa la radiación solar.

La altura sobre el nivel del mar, disminuye la temperatura unos 5°C cada 100 m de altura [3].

Una herramienta que permite entender y relacionar los parámetros que interviene en el confort térmico es el diagrama psicrométrico de B.Givoni [3]. Se muestra las zonas de confort para invierno y verano así como estrategias pasivas para alcanzar el confort térmico. (ver *Figura 6*)

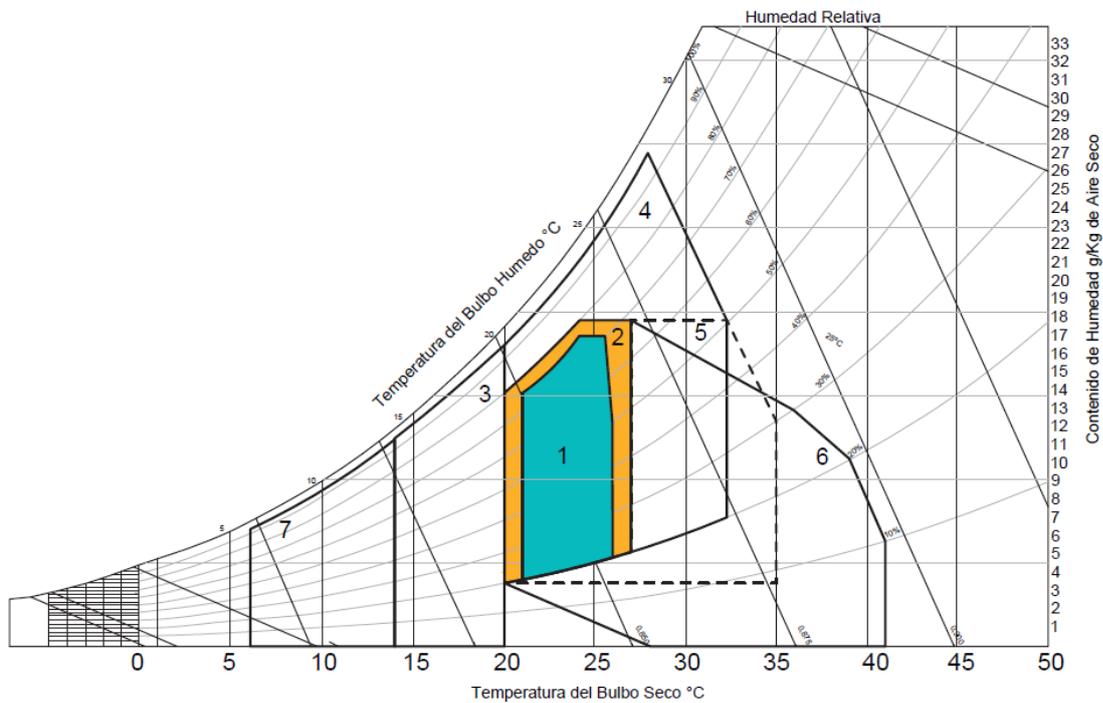


Figura 6. Ábaco psicrométrico
Fuente: Elaboración propia a partir de B. Givoni

- 1-2 Zona de Confort
- 3 Zona de control con inercia en invierno
- 4 Zona de control con ventilación
- 5 Zona de control con inercia en verano
- 6 Zona de control con refrigeración evaporativa
- 7 Zona de calefacción solar pasiva

2.4 La cubierta

Las envolventes de un edificio están expuestas a la radiación solar, siendo la cubierta la de mayor exposición con respecto a las fachadas.

La radiación solar al entrar en contacto con una superficie intercambia energía por convección y conducción. (Ver Figura 7)

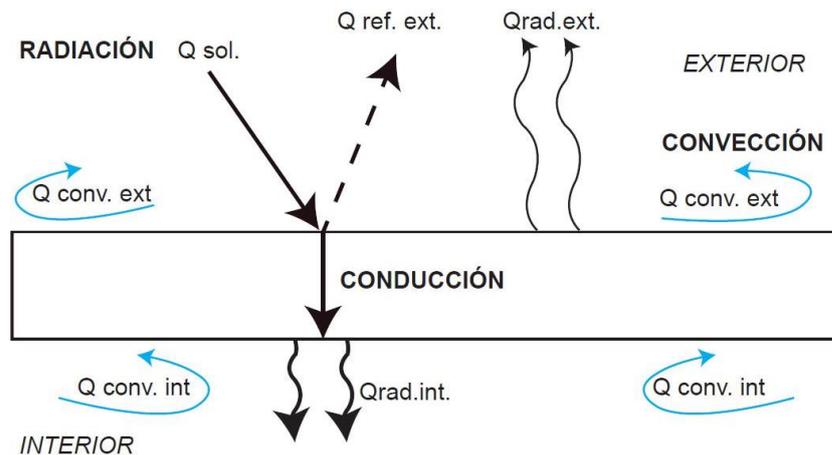


Figura 7. Transferencia de calor en cubierta.
Fuente: Elaboración propia

Simbología

Q_{sol}	Radiación solar.
$Q_{ref. ext.}$	Calor reflejado al exterior.
$Q_{rad. ext.}$	Calor radiado al exterior.
$Q_{conv. ext.}$	Calor por convección al exterior.
$Q_{rad. int.}$	Calor radiado al interior.
$Q_{conv. int.}$	Calor por convección al interior.

2.4.1. Comportamiento térmico de la cubierta

La radiación solar que incide sobre la superficie de la cubierta transfiere energía térmica debido a la diferencia de temperatura entre ambos. Este proceso se lo denomina transferencia de calor. El calor se puede transmitir por: conducción, convección o radiación.

- Conducción: se produce al estar dos cuerpos sólidos en contacto, que mediante el flujo de calor transfiere la energía hasta que la temperatura entre ambos cuerpos se igualen.

- Convección: es la transferencia de calor a través de un cuerpo sólido y un fluido. Puede ser clasificada por el tipo de movimiento en: natural o forzada cuando es causado por agentes externos.
- Radiación: es energía emitida por la materia cuya temperatura es diferente de cero. La energía de la radiación es transportada por ondas electromagnéticas. Mientras la transferencia de energía por conducción o convección requiere de un cuerpo sólido, la radiación no necesita contacto entre los cuerpos. De hecho puede transferir incluso en el vacío.

Transferencia de calor en la cubierta

Por radiación

La cubierta es la superficie que recibe gran parte de la radiación incidente. Las propiedades térmicas de esta superficie establecerán la cantidad de radiación que emita (emisividad) y la fracción de radiación incidente que absorba el material (absortancia). Esta última dependerá del color y acabado del material.

MATERIAL	PROPIEDADES TÉRMICAS	
	Emisividad (ϵ)	Absortancia (α)
Hormigón	0,88 - 0,93	0,6
Fibrocemento	0,93 - 0,96	0,83
Acero galvanizado	0,13	0,65

Tabla 1. Propiedades térmicas de las superficies de los materiales. Fuente: Bergman, Dewitt, Incropera y Lavine [24]./Engineering Toolbox

Por conducción

En el caso de la cubierta, el proceso de conducción determinará el comportamiento térmico hacia el interior del ambiente.

Para lo cual la conductividad térmica y resistencia térmica (oposición al flujo del calor) son propiedades del material que fijarán las temperaturas de las superficies de cubierta como la del aire interior.

2.5 Estudios previos de la cubierta

2.5.1 Intercambios energéticos

Diversas investigaciones han estudiado los intercambios energéticos que se producen en un espacio.

Estos intercambios de flujos energéticos generan en el interior de un ambiente ganancias por radiación y pérdidas por transmisión y ventilación.

En el 2012 Martínez O [27], menciona que estudios demuestran las pérdidas de calor desde el interior al exterior, estableciendo los siguientes datos:

	PÉRDIDAS	
	TRANSMISIÓN	VENTILACIÓN
MUROS	25%	
PISOS	10%	
VENTANAS	20%	
INFILTRACIÓN		15%
TECHOS	30%	

Tabla 2. Pérdidas por transmisión y ventilación.
Fuente: Elaboración propia a partir de Martínez O. [27] (2012)

En La Plata-Argentina [5] un estudio realizado en una vivienda tradicional del año 2002, con paredes de ladrillo cerámico hueco, ventanas de vidrio simple y cubierta de zinc. Determinaron los siguientes valores equivalentes a las pérdidas por transmisión.

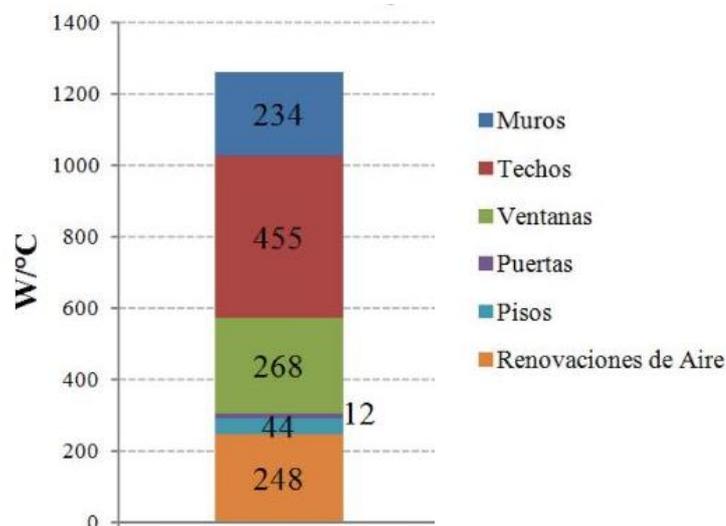


Figura 8. Pérdidas por transmisión
Fuente: Diulio M. et al según Auditcad. [28]

En la *Figura 8*, se observa que los elementos por donde existen más pérdidas son a través de la cubierta y ventanas con un flujo de calor de 455 y 268 W/°C respectivamente.

Por este motivo, la investigación se enfoca en el comportamiento térmico de la cubierta ya que los intercambios de flujos energéticos entre el exterior y el interior son superiores con respecto a los demás elementos envolventes del edificio.

2.5.2 Variables y el clima

Existen estudios que han analizado el comportamiento térmico de la cubierta de acuerdo a distintas variables y climas.

Dentro de las variables estudiadas podemos establecer dos grupos:

- Materialidad y
- Geometría.

Materialidad

- Reflectividad

En el 2005 en México, a partir de un modelo físico y matemático se analizó el comportamiento térmico de dos tipos de cubiertas: concreto simple y compuesta (ver *Figura 9 y 10*) con revestimiento reflectivo (gris y blanco) expuestos a cuatro tipos de climas [6].

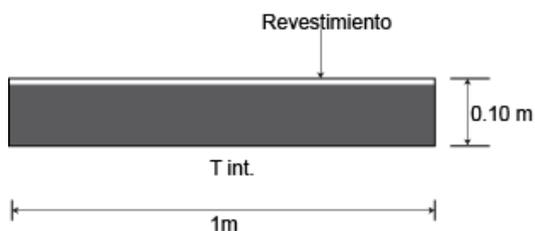


Figura 9. Cubierta simple



Figura 10. Cubierta compuesta

Fuente: Elaboración propia a partir de Hernández – Pérez

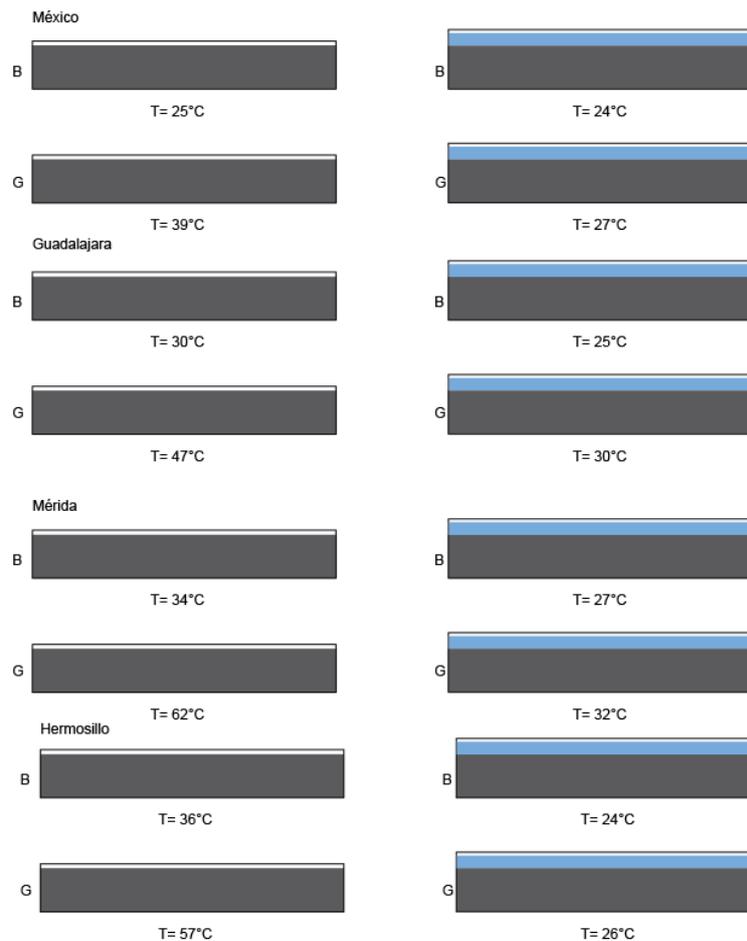


Figura 11. Temperatura interior de la superficie

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos por Hernández – Pérez

Los resultados indican que la temperatura interior de la superficie fue menor en las cubiertas compuestas pintadas de blanco (B).

En todos los casos (ver *Figura 11*), tanto en cubiertas simples y compuestas, hay más pérdidas de calor en la noche. Para los climas subtropicales y desérticos es un efecto deseado.

La aplicación de pintura sobre la cubierta puede ser una manera económica para reducir las ganancias de calor en verano.

Otros estudios comparativos entre la cubierta de fibrocemento, metálica y teja, determinaron que la teja y fibrocemento presenta una temperatura en el tumbado superior sobre los 4°C con respecto a la temperatura exterior (clima tropical – Sri-Lanka) mientras que la metálica una diferencia de 6°C [7].

- Envejecimiento

En Mendoza, Argentina estudios comparativos entre cubiertas de teja y hormigón clasificadas según: acabado (brillantes, esmaltados y mate), composición (arcilla u hormigón), color y forma (ondulada o plana) muestran que las tejas son más susceptibles al envejecimiento que las cubiertas de hormigón pintadas.

El color es la característica morfológica más importante y de mayor impacto en el comportamiento térmico seguido del acabado y la forma. [8]

En cubiertas de fibrocemento, teja de barro y tetra pak en la ciudad de Sao Paulo [9], concluyen que la cubierta de tetra pak registra el menor valor en la temperatura de aire interior de 24,96 °C (ver *Figura 14*), seguido de la cubierta de teja de barro 25,02 °C (ver *Figura 13*) y la de fibrocemento alcanzó los 25,85 °C (ver *Figura 12*). Alcanzando su máxima temperatura en todos los casos en el mismo horario (17:00).

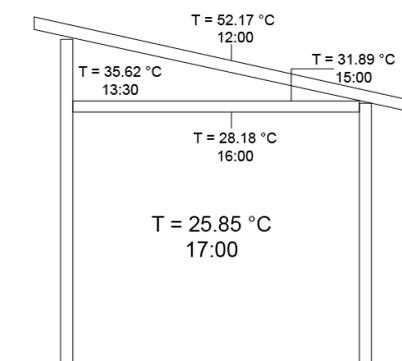


Figura 12. Caso 1 Fibrocemento

Fuente: Elaboración propia a partir de plano Quiroa – Herrera et al.

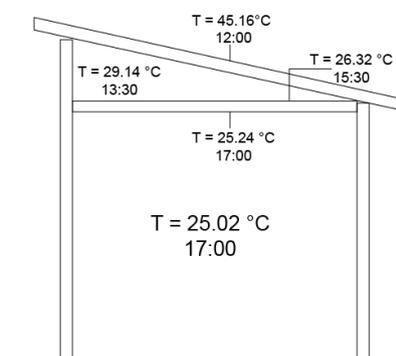


Figura 13. Caso 2 Teja

Fuente: Elaboración propia a partir de plano Quiroa – Herrera et al.

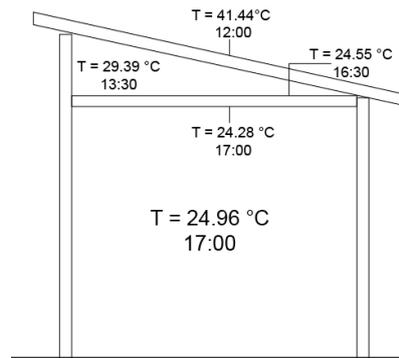


Figura 14. Caso 3 Tetra pak
Fuente: Elaboración propia a partir de plano Quiroa – Herrera et al.

Tanto la teja como el tetra pak tienen un comportamiento térmico similar, aunque en la temperatura de aire del ático la de tetra pak registra un valor superior a la de teja.

Geometría

Un experimento realizado por Alvarado J.L. et al. [10] sobre sistemas de enfriamiento pasivo en climas tropicales. Analizó el comportamiento térmico de una plancha de acero galvanizada plana y una plancha corrugada de aluminio 1100 con revestimiento de poliuretano en una de sus caras (ver *Figura 15*).

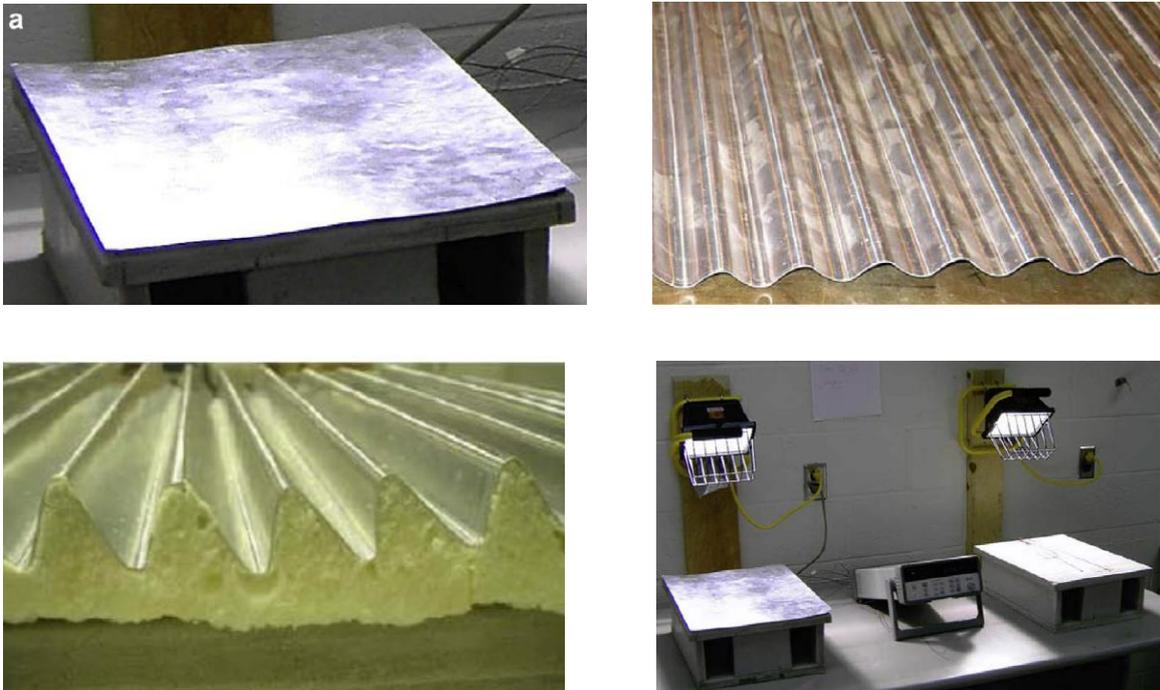


Figura 15. Configuraciones de superficies reflectoras.

Fuente: J.L. Alvarado et al.

Los resultados demuestran que al aplicar un aislamiento de poliuretano en una lámina de aluminio 1100 sobre una cubierta de hormigón, disminuye significativamente la absorción y conducción de calor con respecto a la de acero galvanizado. (ver *Tabla 3*)

Heat flux reduction and roof midpoint temperature rise for several passive cooling systems.

Test no.	Reflector material and configuration	Insulating material and thickness	Heat flux reduction	ΔT^a (°C)
	Control	Control	–	22.7
1	Aluminum 1100, flat	Polyurethane, 6.4 mm	88%	4.7
2	Aluminum 1100, corrugated (sinusoidal)	Polyurethane, 6.4 mm	84%	5.3
3	Aluminum 1100, right triangular	Polyurethane, 9.5 mm	79%	5.8
4	Galvanized steel, flat	Polystyrene, 19 mm	76%	6.9
5	Galvanized steel, corrugated (sinusoidal)	Polyurethane, 6.4 mm	74%	7.5
6	Galvanized steel, flat	Polyurethane, 6.4 mm	71%	8.7
7	Galvanized steel, flat	Air gap, 16 mm	69%	10.8
8	Galvanized steel, flat	Polyethylene, 6.4 mm	65%	9.6

^a Temperature rise is defined as the difference between the final and initial roof midpoint temperatures (i.e. $\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$).

Tabla 3. Resultados obtenidos reducción de flujo de calor
Fuente: J.L. Alvarado et al.

Por otra parte no hay suficiente evidencia que la plancha corrugada de aluminio sea beneficiosa. Sin embargo puede jugar un rol importante en casos de convección forzada. La selección del material y la reflexión son aspectos importantes para que el sistema de enfriamiento pasivo sea eficiente.

Estudios en la India [11], muestran que una doble hoja galvanizada (DOD) alcanza una temperatura de ambiente interior más baja de 5 – 6 °C con respecto a la cubierta galvanizada simple (SID), y la variación entre la temperatura exterior y la interior es de 7- 9 °C en el verano (horas con más radiación).



Figura 16. SID

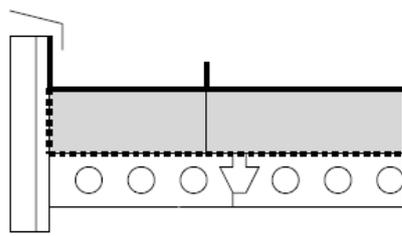


Figura 17. DOD

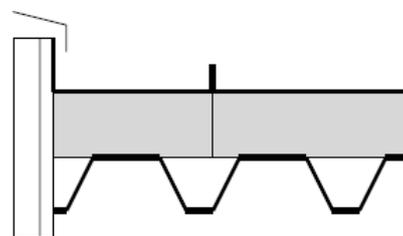
Fuente: Mrs. M. Poni, DR. R. Baskar



Otros estudios incluye el comportamiento higrotérmico de las cubiertas de zinc compactas y ventiladas (ver *Figura 16-17*) en climas moderados: Concluyendo que la cubierta de zinc compacta (ver *Figura 18*) presenta un comportamiento higrotérmico igual o superior con respecto a una cubierta de zinc ventilada. Debido a que la resistencia térmica no sufre variaciones por el viento inducido. Por otra parte, los cambios de temperatura exteriores no tienen un impacto negativo en la vida útil del material.



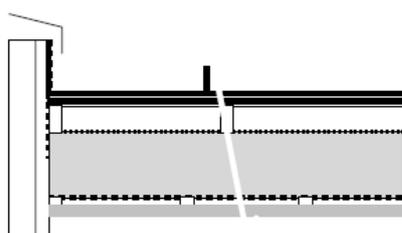
1 Heavy weight compact roof



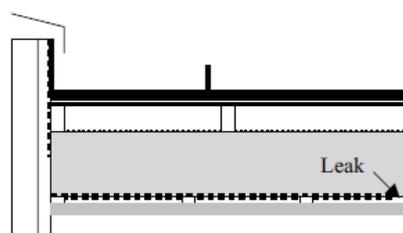
4. Light weight compact roof

Figura 18. Cubierta compacta
Fuente: H. Hens, Janssens, Zheng

En cubiertas ventiladas (ver *Figura 19*), los resultados indican que la hoja de zinc inferior es más susceptible a la corrosión por la filtración del aire (condensación intersticial). Además que un alto rendimiento higrotérmico no elimina la corrosión. [12]



3. Ventilated roof, tight vapor retarder



2. Ventilated roof, leaky vapor retarder

Figura 19. Cubierta ventilada
Fuente: H. Hens, Janssens, Zheng

- **El Aislamiento y su espesor**

El uso de materiales aislantes ha demostrado en varios estudios que mejoran la temperatura interior de un edificio, pero el sobredimensionamiento en el aislamiento corre el riesgo de reducir la eficacia de la estrategia de refrigeración pasiva (climas mediterráneos). Generando efectos contrarios en el confort interior como la disociación térmica entre el interior y las capas superiores de la cubierta. [13]

- **Sistema de aislamiento reflectivo**

Este sistema consiste en combinar una barrera radiante (aluminio) dentro de una cámara de aire cerrada para mejorar la resistencia térmica de la cubierta.

Desde 1930 se han analizado el efecto de las cámaras de aire cerradas con revestimiento reflectivo [14]. Queer encontró que aumentado el ancho de la cámara de aire a 19 mm podría incrementar su resistencia térmica [15]. Mason descubrió que el ancho óptimo de la cámara podría estar entre los 15-18 mm [16].

Con respecto a la altura de la cámara de aire Babbit [17] muestra que 15 cm tiene una menor resistencia térmica que una de 30 cm y que un ancho menor de 10.2 mm la convección es insignificante.

Wilkes y Peterson [18] encontraron que la transferencia de calor por convección es mayor cuando la altura de la cámara de aire está por los 38 cm y llega a ser constante sobre los 61 cm. Concluyendo que la resistencia térmica de una cámara de aire reflectiva aumenta cuando mayor es su altura.

Cálculos de Ficker [19] indican que la resistencia térmica de la cubierta mejora de 0.9 m²K/W con una sola cámara de aire reflectiva a 1.5 m²K/W con una doble cámara de aire de 50 mm.

Por otra parte, Wilkes et al. [20-21] muestra que el incremento en la diferencia de temperatura de la cámara de aire puede ocasionar una disminución en la resistencia térmica. Otros factores que influyen en la resistencia térmica son la orientación, la dirección del flujo de calor y la emisividad de la superficie reflectiva [22].

El clima también interviene en el desempeño de la barrera radiante. En Estados Unidos estudios realizados en los climas: tropical de sabana y húmedo subtropical indican que durante las estaciones de invierno el flujo de calor se redujo del 7% al 13% comparado con otras zonas climáticas. [22].

Otros estudios han analizado la interacción entre el cool roof, las barreras radiantes y el aislamiento, mediante simulaciones (EnergyPlus V7.1) en cinco diferentes climas de la India. Los resultados obtenidos muestran que para climas fríos se requiere del aislamiento de más de 25 mm a parte de la barrera radiante y el cool roof [23].

Durante la investigación del comportamiento térmico en los distintos climas. No se encontró un estudio acerca de la incidencia de la radiación solar sobre cubiertas en ciudades con clima templado frío, en altura y con latitud cero. Los estudios se han centrado en estrategias para reducir las ganancias solares en climas cálidos.

En ciudades de Latinoamérica donde las condiciones climáticas, la altitud y la latitud requieren de estrategias distintas. Lo fundamental es aprovechar la incidencia solar como una fuente natural de captación de energía. Para mitigar la sensación de frío que es común en estas zonas.

Por lo que este estudio plantea investigar la influencia de la radiación en cubiertas de distinta materialidad ubicadas en Quito.

3. METODOLOGÍA:

3.1 Ubicación geográfica

El comportamiento térmico de la cubierta se analiza en la ciudad de Quito-Ecuador.

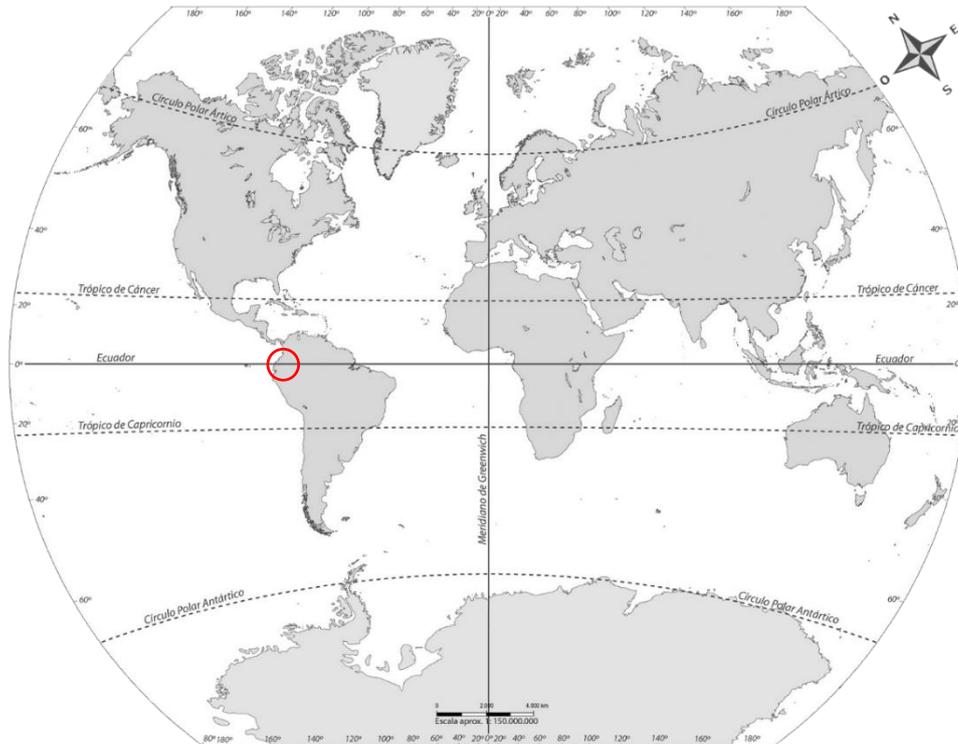


Figura 20. Mapa mundi . Fuente: IGM, Chile 2012 [29].

La ciudad de Quito, es la capital del Ecuador, se encuentra ubicada en la latitud $0^{\circ}14'S$, con una altitud de 2850 msnm.

3.2 Datos climatológicos

La temperatura media anual es de 15.4°C , la temperatura máxima promedio es de 22.2°C en el mes de septiembre, la temperatura mínima promedio es de 9.3°C en los meses de julio, septiembre y octubre. El clima corresponde a **templado frío**.

La oscilación anual es de 0.5°C mientras que la oscilación diaria es de 11.6°C . La humedad relativa máxima es de 78%, una mínima de 63 % y una media de 71 %.(ver *Figura 21*).

La precipitación media anual es de 976.9 mm, siendo el mes de abril el que registra mayor precipitación con 1904 mm. (ver *Figura 22*).Posee 2 estaciones:

seis meses de invierno lluviosa (Octubre – Marzo) y seis meses de verano seco (Abril- Septiembre), aunque debido a la temperatura media casi constante a lo largo del año, es imperceptible el cambio entre estaciones.

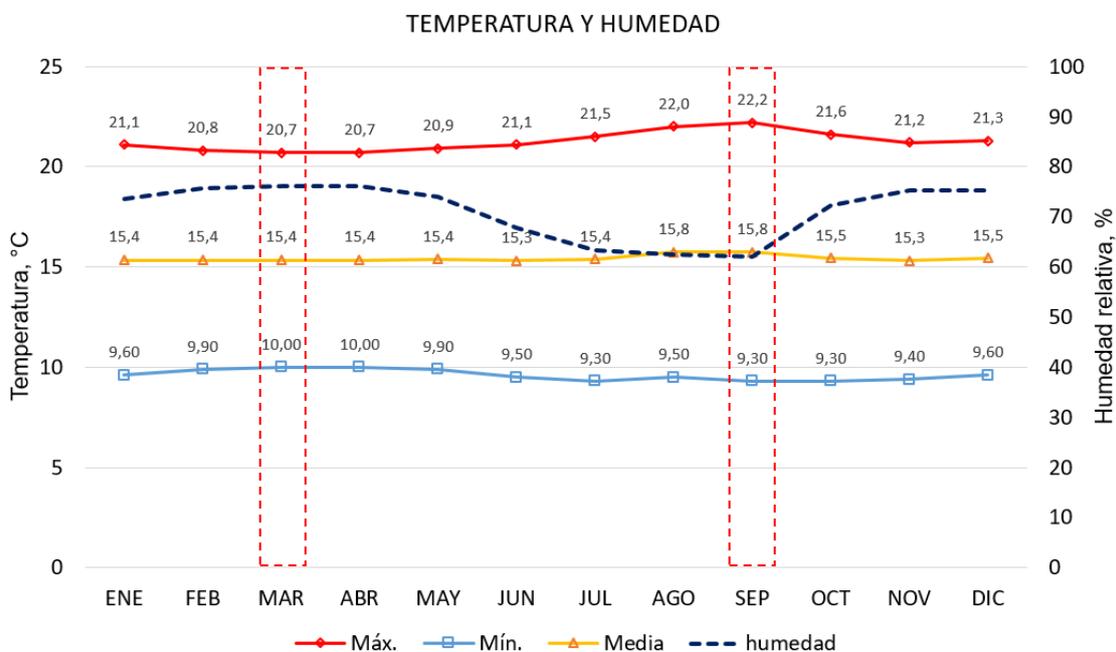


Figura 21 Temperatura y Humedad en Quito.
Fuente: Elaboración propia a partir de información del INAMMI

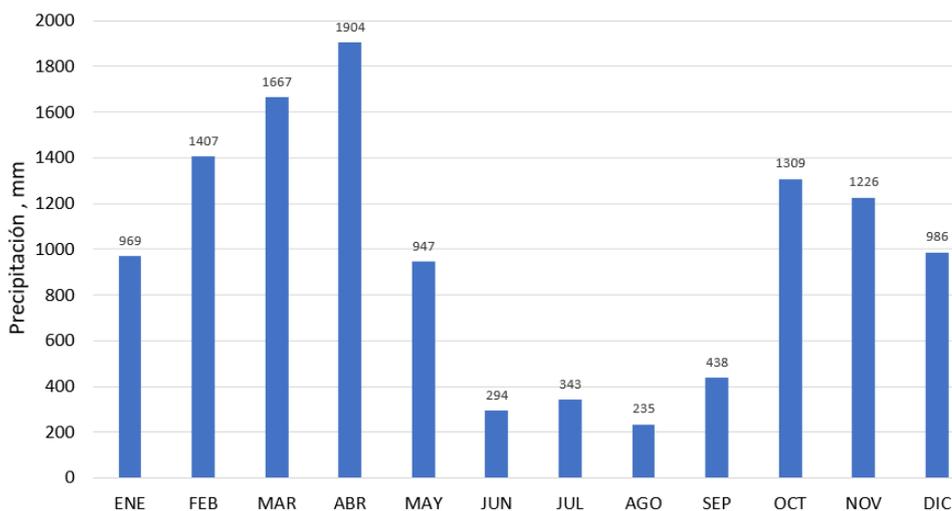


Figura 22. Precipitación pluvial en Quito
Fuente: Elaboración propia a partir de información del INAMMI

3.3 Confort térmico y la radiación por cubierta en climas ecuatoriales

En el ábaco psicrométrico, el clima de Quito (*ver Figura 23*) se ubica en la zona 3 correspondiente a la zona de control con inercia en invierno. Las estrategias pasivas sugeridas para alcanzar el confort térmico son:

- Inercia térmica por las oscilaciones diarias de temperatura y
- Aislamiento para evitar pérdidas por transmisión.

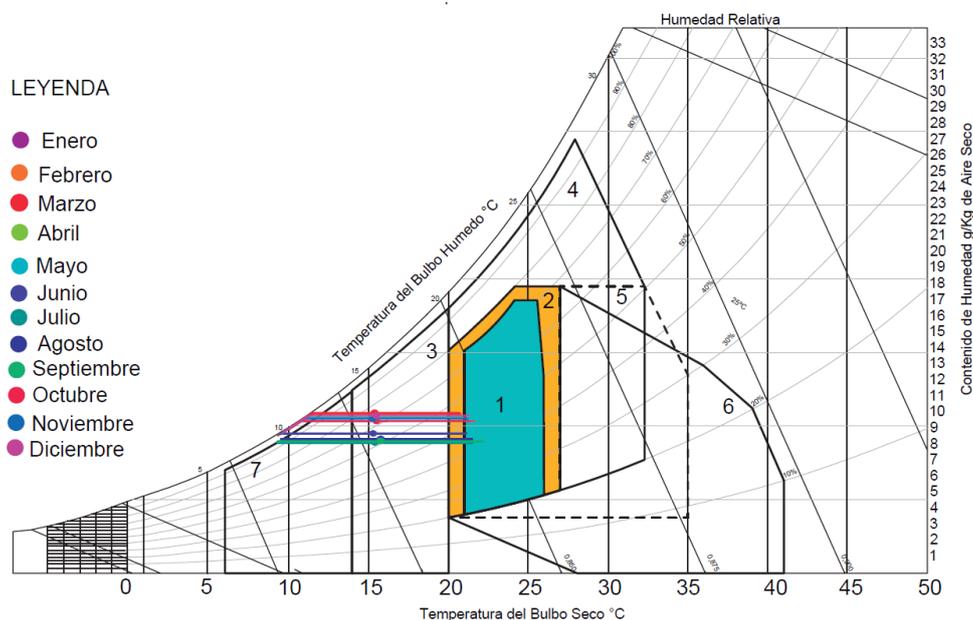


Figura 23. Ábaco psicrométrico clima de Quito
Fuente: Elaboración propia a partir de B. Givoni

En el capítulo anterior, se menciona que la cubierta es la superficie con mayor exposición a la radiación solar y a su vez la que presenta mayores pérdidas por transmisión con respecto a las fachadas (*ver Figura 24*), según estudios previos. Para comprobar estos enunciados se analiza ambos comportamientos.

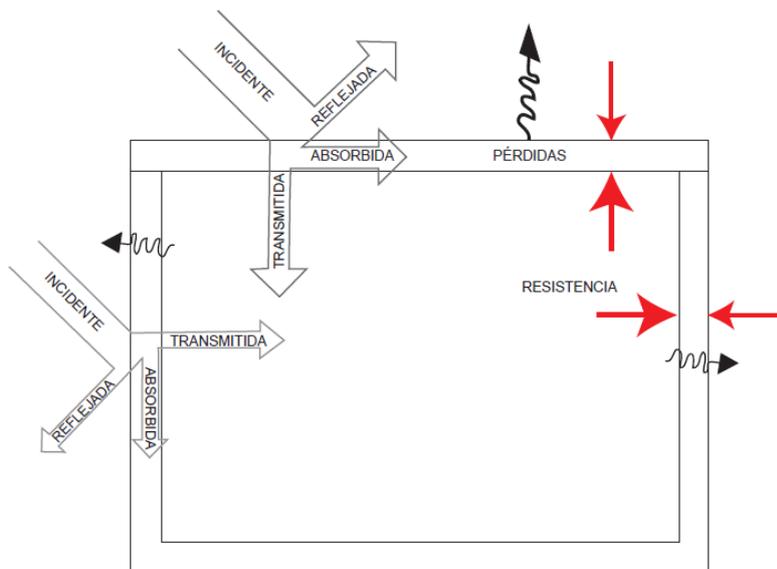


Figura 24. Esquema comportamiento térmico. Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Ganancias por radiación

Para establecer valores que permitan comprender y justificar la importancia de la cubierta en Quito; se ha calculado la energía captada ($\text{kWh/m}^2\text{día}$) sobre el plano horizontal.

A partir de los datos reales de la estación meteorológica y de los resultados obtenidos con el software de Heliodon, se determina la incidencia solar en cubierta y las fachadas según su orientación.

En los resultados, (ver *Figura 25*) se observa que la cubierta es la superficie con mayor incidencia solar.

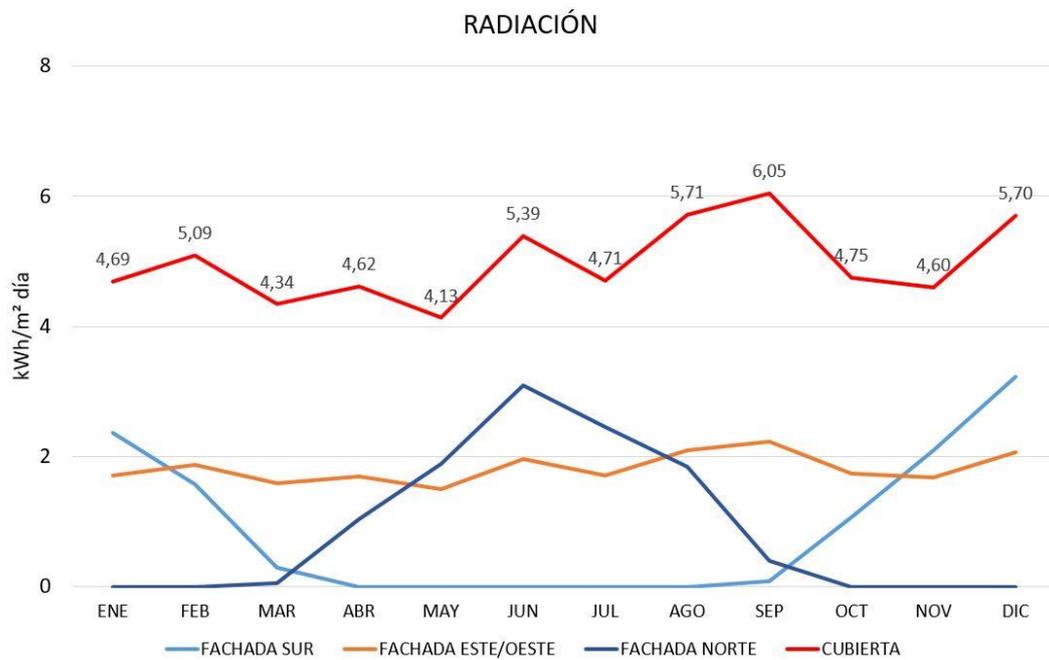


Figura 25. Incidencia solar latitud 0°C
 Fuente: Elaboración propia a partir de información del INAMMI y Heliodon

Tabla 4. Radiación solar acumulada anual

	SUR	ESTE/OESTE	NORTE	CUBIERTA	TOTAL	
Día del Solsticio de verano (20 de junio)	0	1,9	3,2	5,6	10,7	kWh/m²
Día del Solsticio de invierno (21 de diciembre)	3,2	1,9	0	5,6	10,7	kWh/m²
Equinoccios (20 o 21 de marzo/ septiembre)	0	2,2	0	6,4	8,6	kWh/m²
Mes con más radiación (diciembre)	100	64	0	177	341	kWh/m²
Mes con menos radiación (marzo)	9	50	2	135	195	kWh/m²

Fuente: Elaboración propia a partir de información del INAMMI y Heliodon

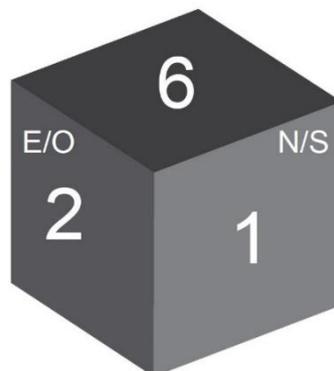


Figura 26. Proporción incidencia solar latitud 0°C
 Fuente: Elaboración propia

La proporción de la incidencia solar en la cubierta corresponde a 6 veces con respecto a la fachada sur/norte mientras que en la fachada este y oeste equivale al doble (ver *Figura 26*).

3.3.2 Pérdidas por transmisión

Para determinar el equivalente de las pérdidas por transmisión entre la cubierta y la envolvente a través de los intercambios de los flujos de energía. Se define como tipología de edificio a estudiar a la vivienda unifamiliar. Estableciendo un módulo tipo de 9x6x2.4 (m), dimensiones de una vivienda mínima según normativa.

El análisis contempla el uso de materiales en paredes de ladrillo macizo y en la cubierta de hormigón armado de 0.20 m de espesor, sin ventanas (ver *Figura 27*).

Datos:

Coeficientes de situación	α						
	Latitud 0°N						
	S	E/O	N	Patio	Cubierta	Suelo	Local
Enero	1	0,9	0,8	0,8	1,2	0,4	0,5
Julio	0,8	0,9	1	0,9	1,2	0	0,6

$$G_t = \frac{\sum S_i \cdot U \cdot \alpha}{Vh}$$

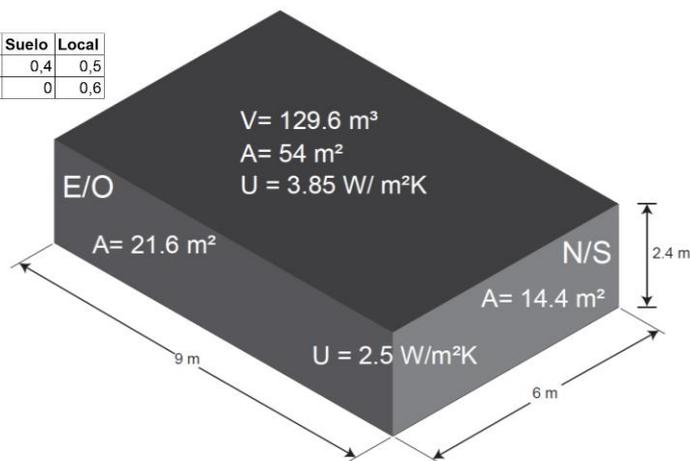


Figura 27. Esquema comportamiento térmico. Fuente: Elaboración propia.

- Cubierta (enero) $G_t = \frac{54 \text{ m}^2 \times 3.85 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1.2}{129.6 \text{ m}^3} = 1.93 \text{ W/m}^3\text{K}$
- Pared Este/Oeste $G_t = \frac{21.6 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.9}{129.6 \text{ m}^3} = 0.38 \text{ W/m}^3\text{K}$
- Pared Sur $G_t = \frac{14.4 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1}{129.6 \text{ m}^3} = 0.27 \text{ W/m}^3\text{K}$
- Pared Norte $G_t = \frac{14.4 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.8}{129.6 \text{ m}^3} = 0.22 \text{ W/m}^3\text{K}$

Los valores de coeficiente de situación de la superficie (α) han sido adaptados para la latitud 0° .

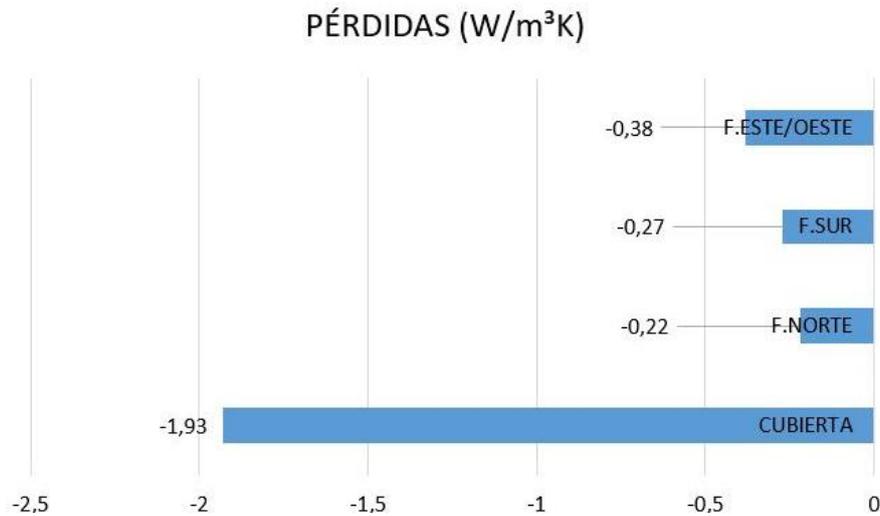


Figura 28. Pérdidas por transmisión. Fuente: Elaboración propia

Obteniendo como resultados (ver *Figura 28*) que la cubierta de hormigón pierde $1.93 \text{ W/m}^3\text{K}$, la fachada norte y sur $0.22 \text{ W/m}^3\text{K}$ y $0.27 \text{ W/m}^3\text{K}$ respectivamente y la fachada este/oeste $0.38 \text{ W/m}^3\text{K}$.

Comparando las pérdidas por transmisión entre la cubierta y todas las fachadas, se obtiene una proporción en cubierta de 9 veces, en fachada este y oeste de 1.7 con respecto a la fachada norte y sur (ver *Figura 29*).

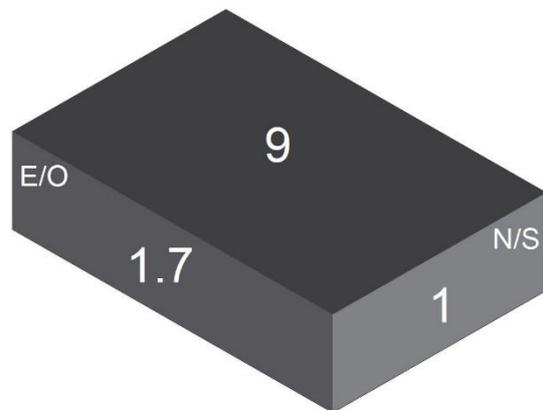


Figura 29. Proporción pérdidas y ganancias de calor. Fuente: Elaboración propia.

En base a los cálculos realizados y comparando el comportamiento térmico, se concluye que todas las superficies de la vivienda intercambian ganancias solares y pérdidas por transmisión. Siendo la cubierta el elemento arquitectónico que más ganancias solares recibe y a la vez la que más pierde por transmisión.

3.4 Descripción Metodológica

El estudio plantea el análisis de un modelo tipo a través de la simulación bajo las condiciones climáticas de Quito. Se establecen los materiales, variables y período de simulación.

3.4.1 Materiales

Los materiales de cubierta para analizar corresponden a los más comunes utilizados en Quito en viviendas unifamiliares. Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del Ecuador.

3.4.1.1 Hormigón armado

El hormigón armado es el material más utilizado en cubierta para viviendas unifamiliares en Quito con un 75.32 % según INEC; está compuesto por: cemento, agregados finos (arena) y gruesos (ripio) y una armadura de acero. Existen varios tipo de configuraciones (ver *Figura 30*).

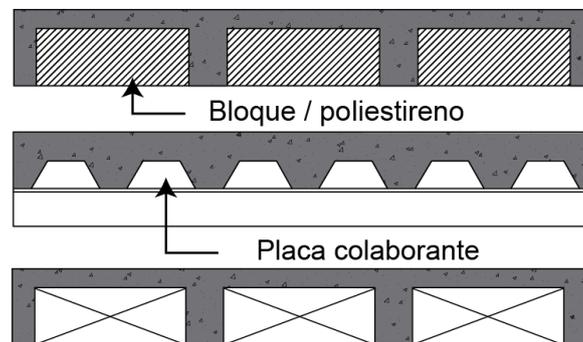


Figura 30. Tipos de cubiertas en hormigón armado. Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2 Fibrocemento [30]

El segundo material más utilizado con un 11.32 % es el fibrocemento de acuerdo al INEC. Constituido de una mezcla de cemento portland, sílice, fibras naturales y aditivos, los cuales son sometidos a elevadas temperaturas y presiones. (ver *Figura 31*).



Figura 31. Cubierta de fibrocemento.

3.4.1.3 Acero galvanizado

El tercer material utilizado en cubierta es el acero estructural con un 7.95 % según INEC. Para el estudio se utilizó acero con la forma que se muestra en la *Figura 32*. Fabricado según norma, con recubrimiento de galvalume por inmersión en caliente: aluminio 55 %, zinc 43 % y 2% silicio [31].

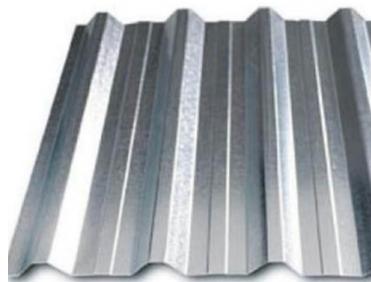


Figura 32. Cubierta de acero galvanizado

3.4.2 Variables

En el clima de Quito, de acuerdo al diagrama psicrométrico de B.Givoni [3], recomienda: el uso de aislamiento y masa térmica cuando disminuyan las temperaturas y para atenuar las oscilaciones diarias.

El uso de estas estrategias pretende evaluar el comportamiento térmico para determinar su eficacia (ver *Figura 33*). Como una alternativa que mitigue el consumo de energía y al mismo tiempo mejore las condiciones de temperatura interior. Además, para potenciar el aprovechamiento de la incidencia de la radiación solar propio de latitud 0°.

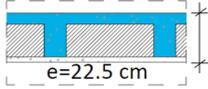
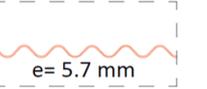
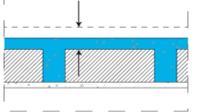
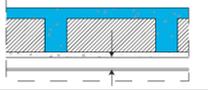
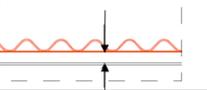
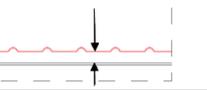
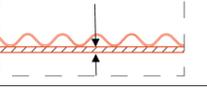
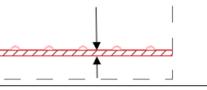
VARIABLES	MATERIAL		
	HORMIGÓN ARMADO	FIBROCEMENTO	ACERO GALVANIZADO
BASE			
MASA 10 cm 20 cm 30 cm 40 cm			
CÁMARA DE AIRE e= 5 cm			
AISLAMIENTO (POLIURETANO) e= 2,5 cm			

Figura 33. Clasificación de variables. Fuente: Elaboración propia

Simulación térmica del modelo

La simulación fue realizada utilizando el software DesignBuilder para recrear tanto las condiciones externas medio ambientales como las condiciones internas. Para la investigación se estableció un modelo base y se crearon las tipologías de cubiertas arriba descritas.

Por último, se comparó el comportamiento térmico de cada caso propuesto

3.4.2.1 Módulo base

El modelo fue creado tomando en cuenta dimensiones modulares y normativas de construcción de la ciudad. Como una réplica de un espacio interior standard. Se estableció un modelo (ver Figura 34) de 3x3 m en planta y una altura de 2.40 m. Las paredes son de ladrillo macizo de 20 cm con recubrimiento de mortero (cemento – arena) de 2 cm en ambos lados. El piso es de hormigón simple de 18 cm de espesor.

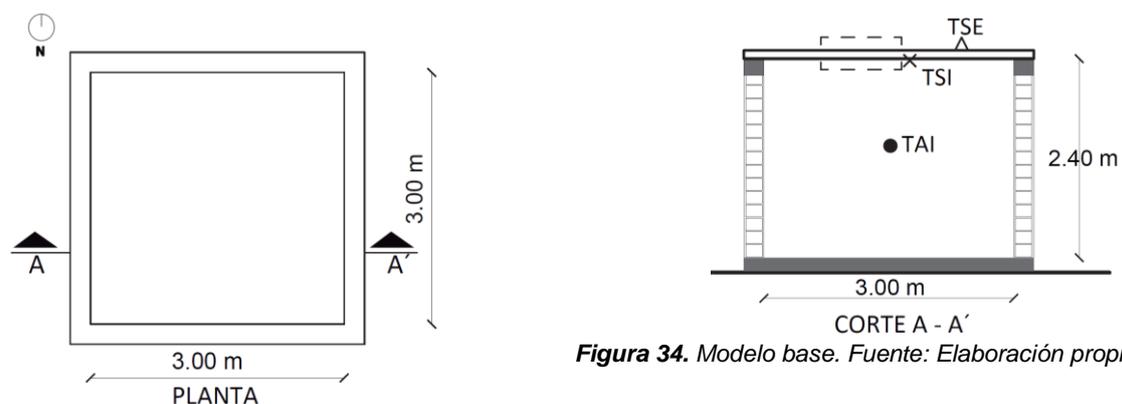


Figura 34. Modelo base. Fuente: Elaboración propia

Para la cubierta se establecen 3 materiales: hormigón armado, fibrocemento y acero galvanizado.

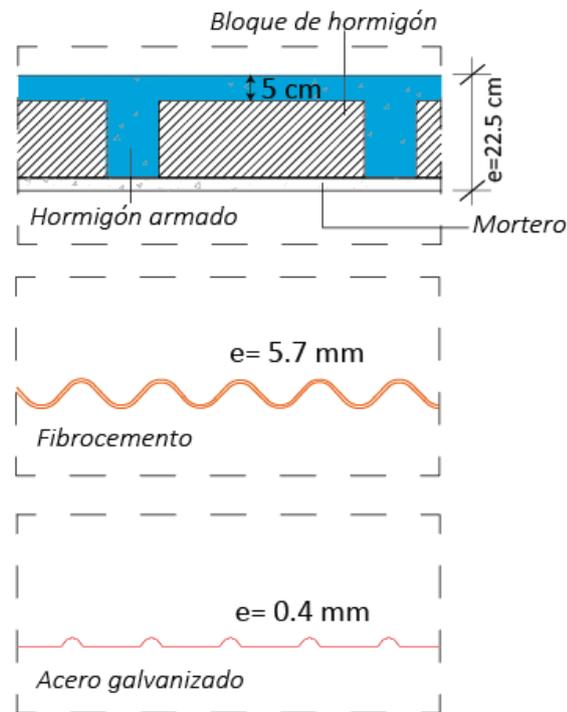


Figura 35. Tipos de cubierta. Fuente: Elaboración propia

Como primer paso, se analiza el comportamiento térmico de cada cubierta (ver *Figura 35*). De los resultados obtenidos se considera las temperaturas superficiales: exterior (T_{SE}) e interior (T_{SI}) y la temperatura de aire interior (T_{AI}). A éstos resultados se los denomina **base** del estudio para su posterior comparación.

Para las variaciones en el modelo base se contemplan:

3.4.2.2 Cámara de aire de 5 cm no ventilada

Se decide estudiar el comportamiento térmico incorporando una cámara de aire de 5 cm (ver *Figura 36*), esta medida se ha escogido de acuerdo al sistema constructivo que soportaría la cubierta (largueros o correas metálicas). En la parte inferior se utiliza un tablero de madera OSB para cerrar la cámara de aire. La propuesta plantea evaluar la influencia de la cámara de aire en la T_{AI} como un tipo de aislamiento económico.

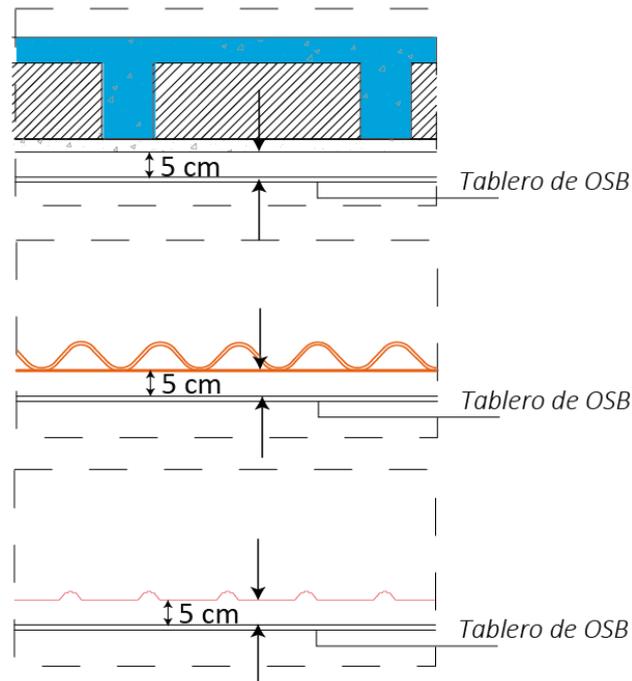


Figura 36. Tipos de cubierta con cámara de aire.
Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3 Modificación de la masa de hormigón armado

Se evalúa el modelo modificando el espesor del hormigón en 10, 20, 30 y 40 cm (ver *Figura 37*). Una vez analizado la influencia de la masa térmica con respecto a la temperatura, se define el que presenta un comportamiento óptimo. El análisis de esta estrategia se basa en confirmar el aumento de masa térmica para reducir la sensación de frío en el interior del espacio.

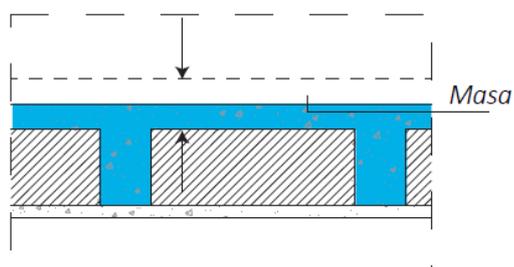


Figura 37. Esquema de modificación de espesor en cubierta de HA.
Fuente: Elaboración propia

3.4.2.4 Aislamiento de poliuretano de 2.5 cm

El estudio plantea evaluar el comportamiento térmico con aislamiento de poliuretano 2.5 cm (ver *Figura 38*). Para determinar la influencia en las temperaturas T_{SE}, T_{SI} y T_{AI} del modelo base.

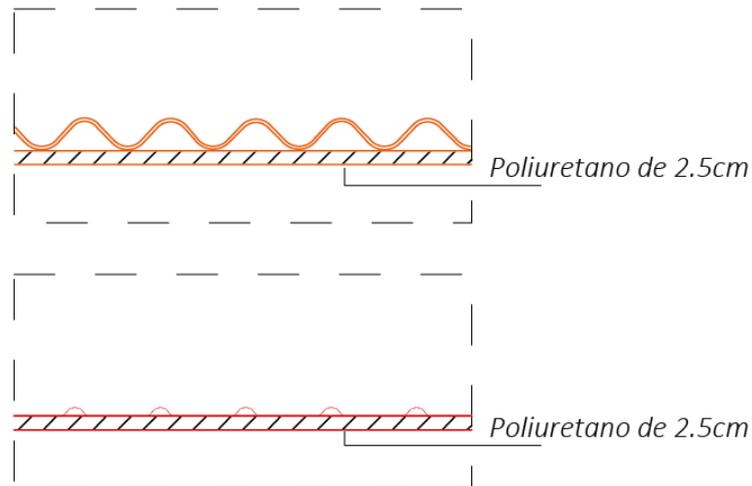


Figura 38. Tipos de cubierta con aislamiento. Fuente: Elaboración propia

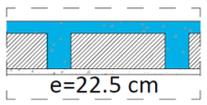
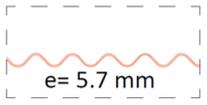
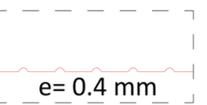
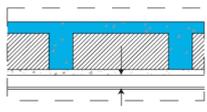
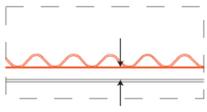
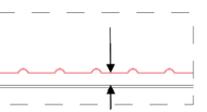
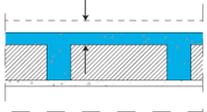
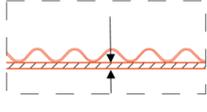
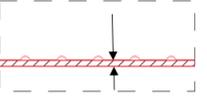
HORMIGÓN ARMADO	U (W/m²K)	FIBROCEMENTO	U (W/m²K)	ACERO GALVANIZADO	U (W/m²K)
 e=22.5 cm BASE	1,97	 e= 5.7 mm BASE	6,69	 e= 0,4 mm BASE	7,14
 CÁMARA DE AIRE	1,26	 CÁMARA DE AIRE	2,29	 CÁMARA DE AIRE	2,34
 MASA	10 cm= 1,88	 AISLAMIENTO (POLIURETANO)	0,96	 AISLAMIENTO (POLIURETANO)	0,97
	20 cm= 1,74				
	30 cm= 1,62				
	40 cm= 1,51				

Figura 39. Valores de U (W/m²K) usados en la simulación. Fuente: Bergman, Dewitt, Incropera y Lavine y DB

En la figura 39, se muestran los valores de la U utilizados para la simulación en DB.

3.4.3 Períodos de Simulación

Para las condiciones meteorológicas de Quito se utilizó el archivo ECU_QUITO_IWEC.epw. En la simulación se fijaron dos escenarios extremos:

- 1) El período de la incidencia solar real (ver *Figura 40*) correspondiente al mes de marzo (primera semana)
- 2) El período con mayor incidencia de radiación solar (ver *Figura 41*) correspondiente al mes de septiembre (primera semana)

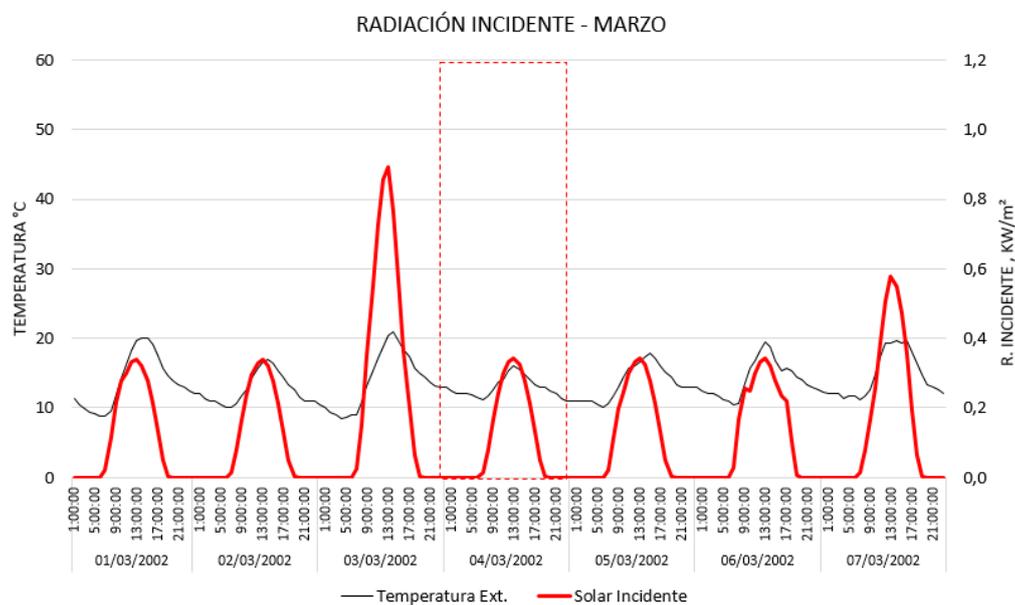


Figura 40. Radiación solar incidente Marzo. Fuente: Elaboración propia

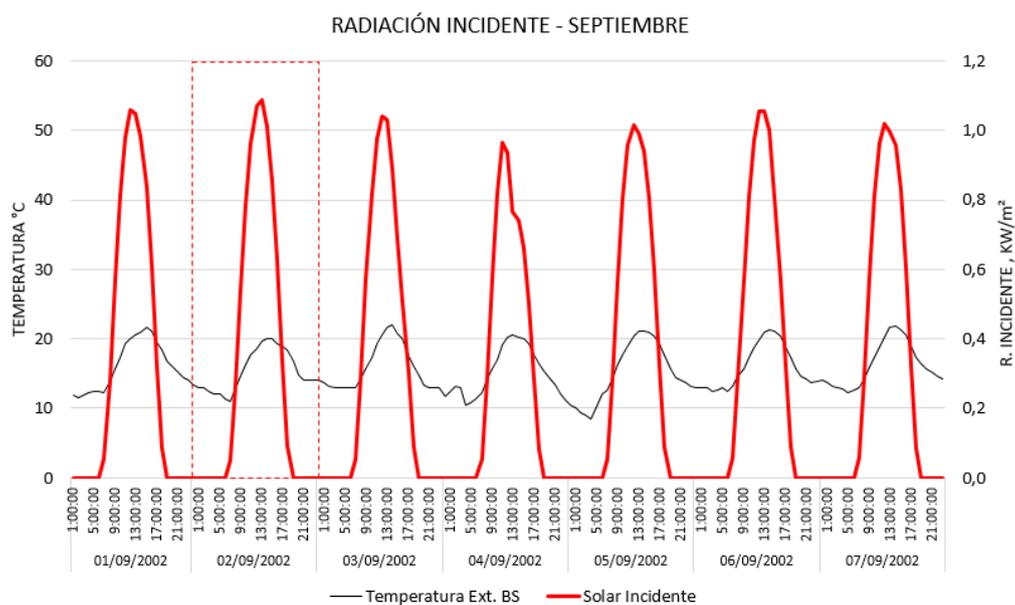


Figura 41. Radiación solar incidente Septiembre. Fuente: Elaboración propia

3.5 Materiales de construcción y propiedades térmicas

En el módulo base se asumió que no existen ganancias ni pérdidas de calor por ventanas, puertas o por ganancias internas y no se desarrolla ninguna actividad. La cubierta no tiene inclinación para analizar la máxima radiación sobre una superficie plana y su incidencia en la temperatura interior de un ambiente.

Se considera 1 renovación hora por el volumen del modelo y como renovación mínima higiénica

Para la temperatura del suelo, se asumió la temperatura media del ambiente exterior (15.4 °C).

Tabla 5. Valores de U usado en el modelo base.

Materiales	Valor	Unidades	Fuente
Contrapiso	2,09	(W/m ² K)	DesignBuilder
Pared de ladrillo incl. Mortero	1,69	(W/m ² K)	DesignBuilder

Fuente: Design Builder

3.6 Otros factores

En la figura 42, se elabora un cuadro resumen valorando las ventajas y desventajas de los distintos materiales para cubierta.

El hormigón armado (H.A) tiene un costo y duración mayor que las cubiertas livianas; además permite el crecimiento en vertical. Mientras que la instalación de cubiertas de fibrocemento o acero galvanizado es menos complicada que la de H.A.

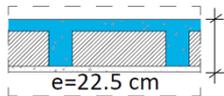
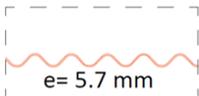
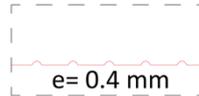
VARIABLES	MATERIAL		
	HORMIGÓN ARMADO	FIBROCEMENTO	ACERO GALVANIZADO
BASE			
COSTO	+++	+	+
INSTALACIÓN	+	+++	+++
DURACIÓN	+++	++	++
AMPLIACIÓN	+++	-	-

Figura 42. Ventajas y Desventajas de materiales para cubierta. Fuente: Elaboración

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cada caso fue analizado individualmente. A partir de la simulación se obtienen resultados de: temperatura superficial exterior (T_{SE}) e interior (T_{SI}) de la cubierta y la temperatura de aire interior. (T_{AI}). Los datos obtenidos registran los valores de temperatura cada hora de un día completo.

A través de los resultados obtenidos de los diferentes modelos se comparó el comportamiento térmico de cada caso.

4.1 Módulo base

En la *Figura 43*, se observa que el espesor influye en las temperaturas. Las cubiertas livianas de acero galvanizado y fibrocemento registran mayores temperaturas con respecto a la de hormigón armado. El acero galvanizado alcanza una temperatura de aire interior (T_{AI}) de 21,4 °C a las 13h00 mientras que el hormigón armado registra un valor máximo de 16.4 °C a las 00H00.

En las cubiertas livianas de fibrocemento y acero galvanizado en horas de mayor radiación la T_{AI} supera a la temperatura exterior. Siendo el acero galvanizado el material con mayor incremento. En la noche el fibrocemento registra menor T_{AI} que el resto de cubiertas.

En la cubierta de hormigón armado (HA) se observa un retraso en la transmisión de calor en el día. En el horario nocturno alcanza un máximo en su T_{AI} con respecto a las cubiertas livianas.

Este comportamiento térmico es similar tanto en el mes de marzo (época lluviosa) como en el mes de septiembre (época seca).

En la *Figura 44* el comportamiento térmico es similar en las cubiertas livianas aunque en este caso al tener mayor radiación incidente la T_{AI} en el acero galvanizado alcanza los 26.1 °C a las 12h00, aumentando 5 °C aproximadamente con respecto a marzo. Por otra parte en el hormigón armado la T_{AI} llega a los 20°C a las 19h00, aumentando unos 4°C en relación a marzo.

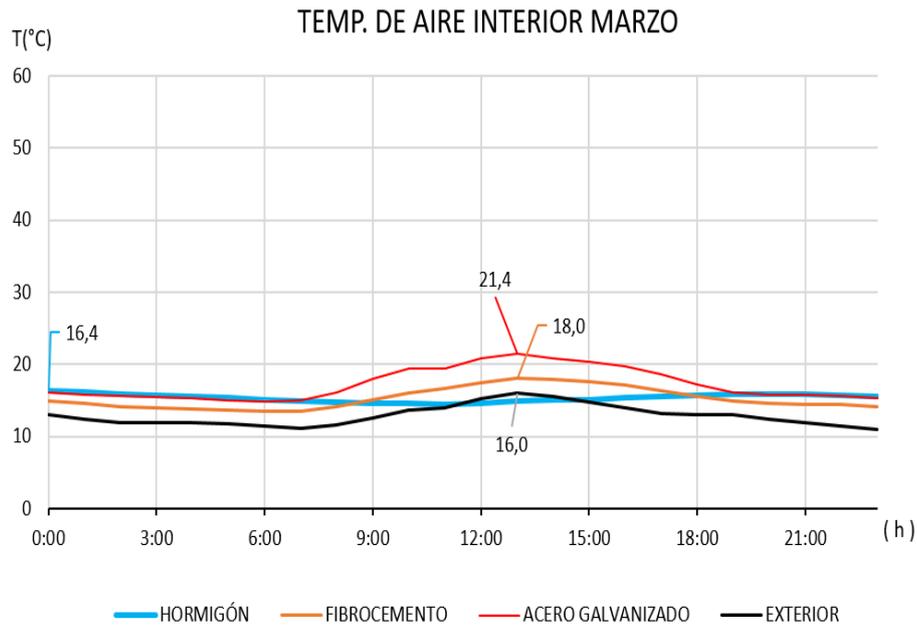


Figura 43. Resultados temperatura marzo. Fuente: Elaboración propia

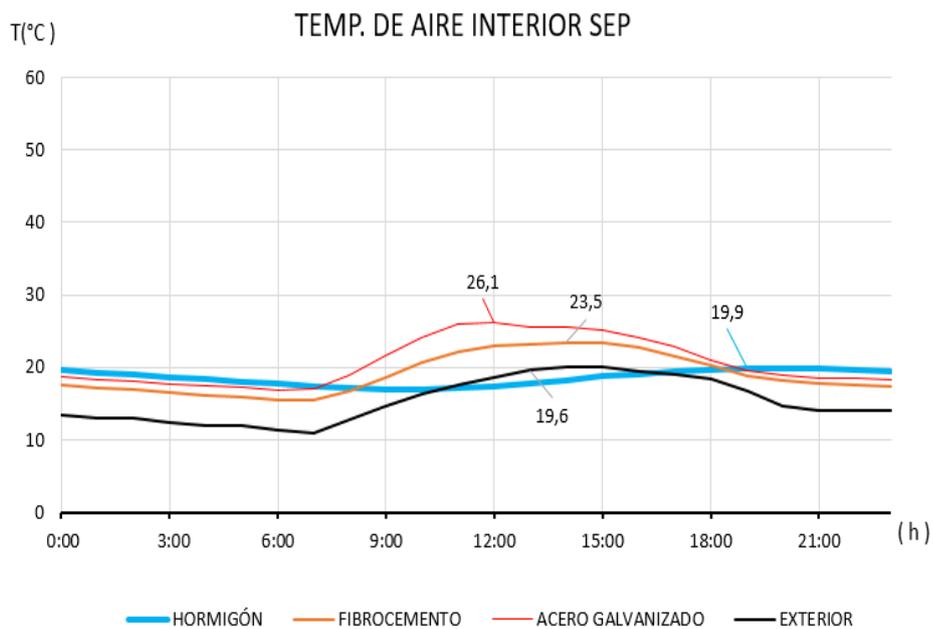


Figura 44. Resultados temperatura septiembre. Fuente: Elaboración propia

Se compararon las temperaturas máximas en ambos períodos.

En marzo se observa (ver Figura 45) que ambas cubiertas livianas alcanzan su temperaturas máximas a las 13h00. El hormigón armado es el que menor valor registra.

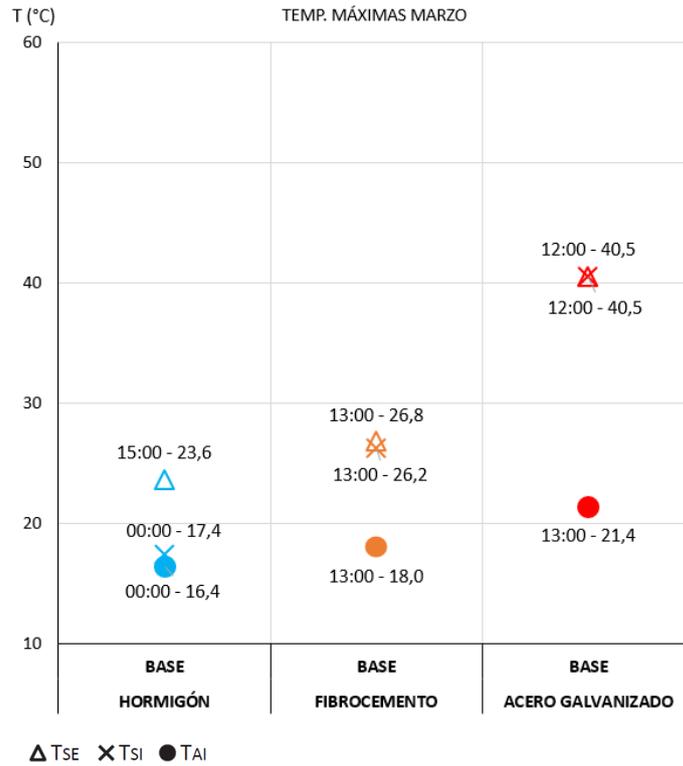


Figura 45. Temperaturas máximas marzo. Fuente: Elaboración propia

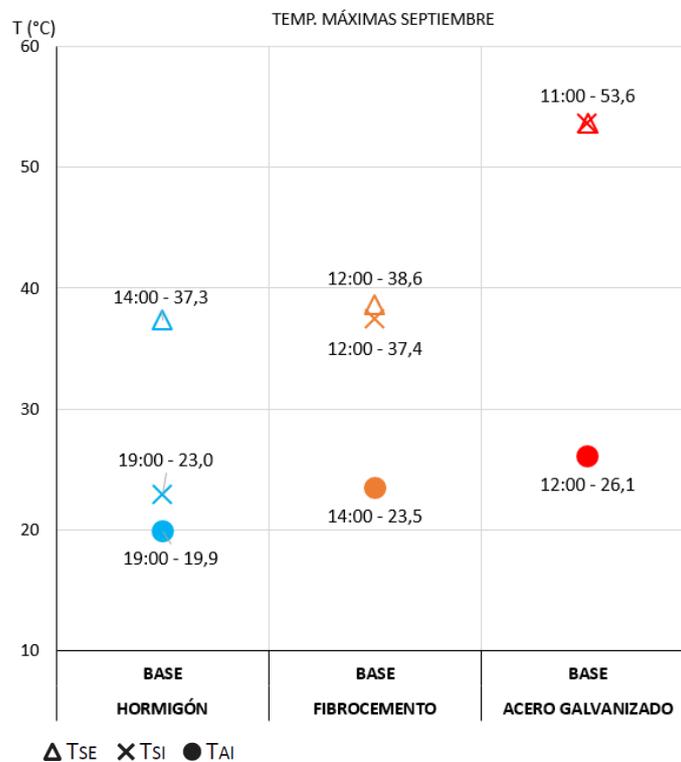


Figura 46. Temperaturas máximas sep. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 46*, en el período de septiembre. El hormigón armado alcanza una T_{AI} de 19.9 °C mientras que el fibrocemento y acero galvanizado registra 23.5 °C y 26.1 °C respectivamente.

La T_{SE} en el acero galvanizado llega a los 54 °C, mientras que el hormigón y el fibrocemento superan los 36 °C.

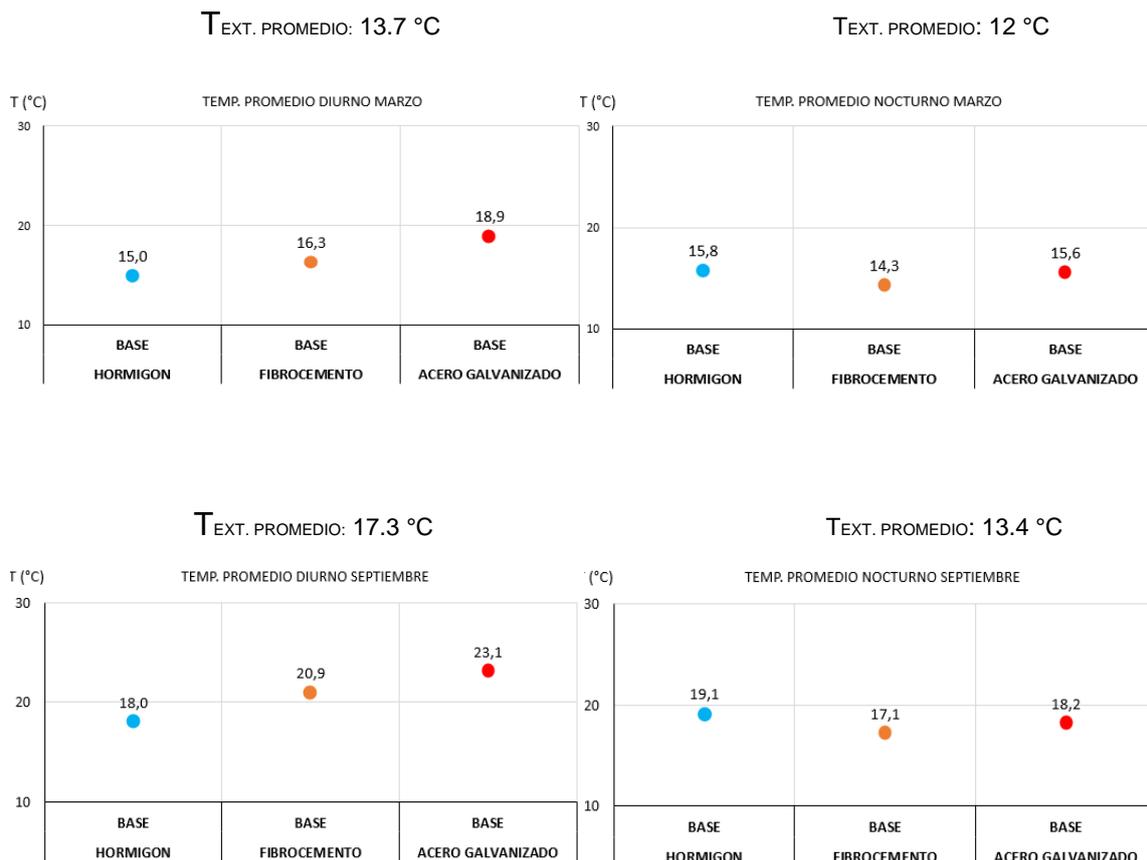


Figura 47. Temp. Aire Interior promedios Marzo y Sep. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 47*, se ha comparado la T_{AI} promedio diurno y nocturno en ambos períodos. En la noche la cubierta de hormigón armado alcanza valores T_{AI} superiores con respecto a las demás cubiertas. Esto se consigue debido a la inercia térmica del material.

Durante el día, el acero galvanizado supera los 5°C con respecto a la T_{EXT. PROMEDIO}. Siendo el material que logra valores superiores en su T_{AI}.

4.2 Cámara de aire no ventilada e=5 cm

Los resultados obtenidos correspondientes a los valores registrados en la TAI. La cubierta de hormigón armado, en marzo y septiembre, mantiene valores similares a los conseguidos en la simulación (módulo base). Por lo tanto, la cámara de aire no genera una modificación considerable en las temperaturas. Las cubiertas livianas, durante la noche las TAI tienen un comportamiento térmico similar a la cubierta de hormigón. Mientras que en el día sus TAI registran una reducción promedio de 1°C en el fibrocemento y de 2°C en el acero galvanizado en marzo. En septiembre las TAI registran una reducción promedio de 2.5 °C en el fibrocemento y de 3.1°C en el acero galvanizado. (ver Figura 48).

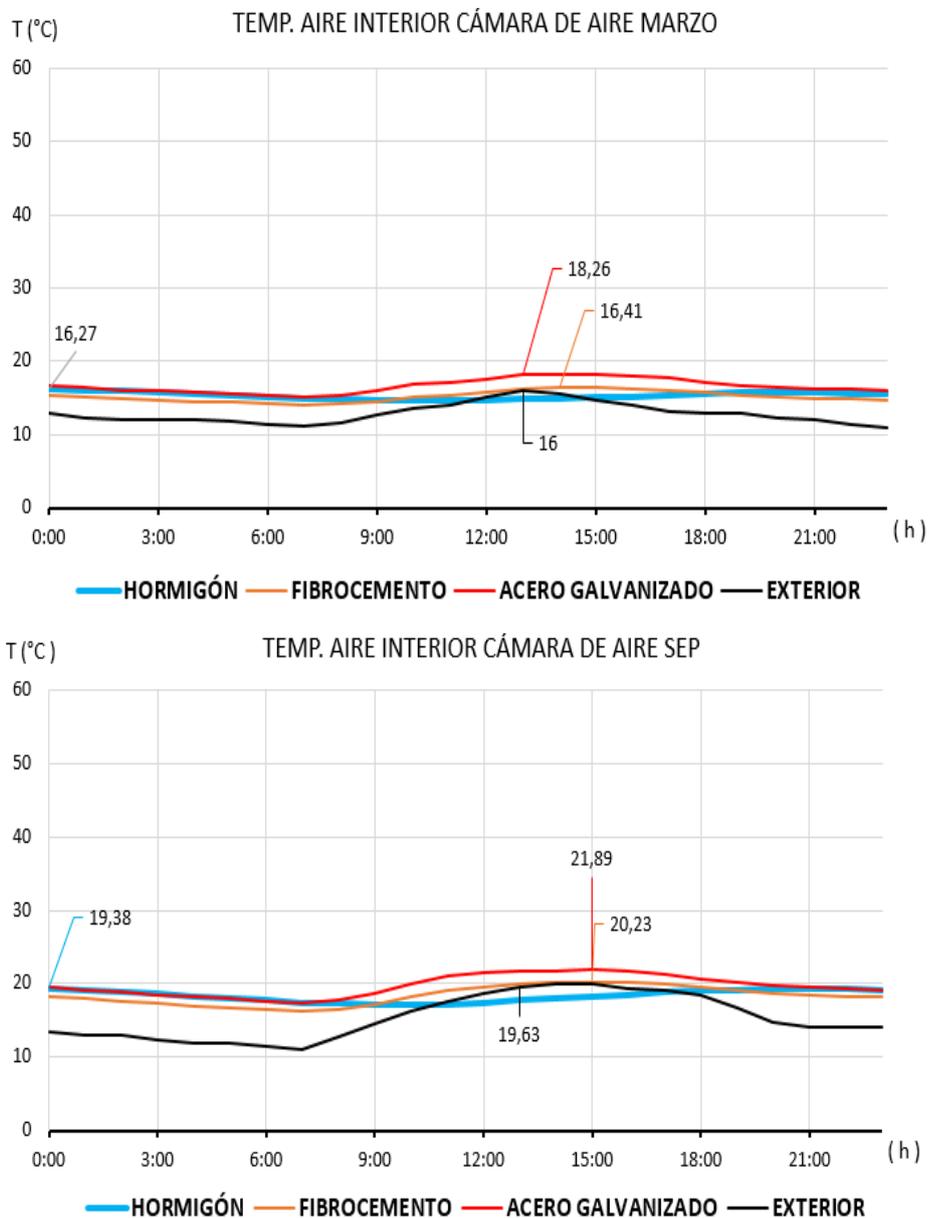


Figura 48. Resultados temperatura marzo y septiembre. Fuente: Elaboración propia

Las T_{SE} máximas en marzo registran un aumento de 2.9 °C en el fibrocemento y de 0.4 °C en el acero galvanizado con respecto al módulo base. Este último valor no consigue modificar la T_{SE} de manera importante sobre la cubierta de acero. Las T_{SI} máximas alcanzan una reducción en la cubierta de acero galvanizado de 15°C y en el fibrocemento de 5.7 °C con respecto a la base. La T_{AI} llega a reducirse unos 3.1°C en la cubierta de acero galvanizado y 1.6 °C en la de fibrocemento (ver *Figura 49*).

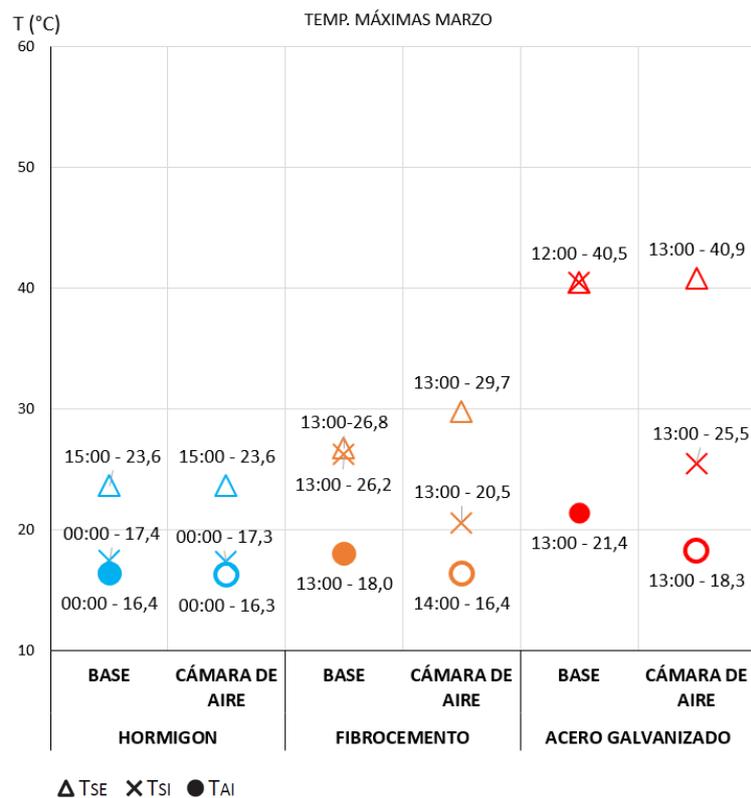


Figura 49. Comparación temperaturas máximas marzo. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 50*, en septiembre la T_{SE} en el fibrocemento y acero galvanizado muestra una reducción similar que la registrada en marzo.

Las T_{SI} alcanzan una reducción de 11 °C y 22.5 °C en el fibrocemento y acero galvanizado respectivamente con respecto a la base.

Las T_{AI} en el fibrocemento y acero galvanizado logran reducir de manera significativa. Alcanzando T_{AI} alrededor de 20 °C y 22 °C respectivamente.

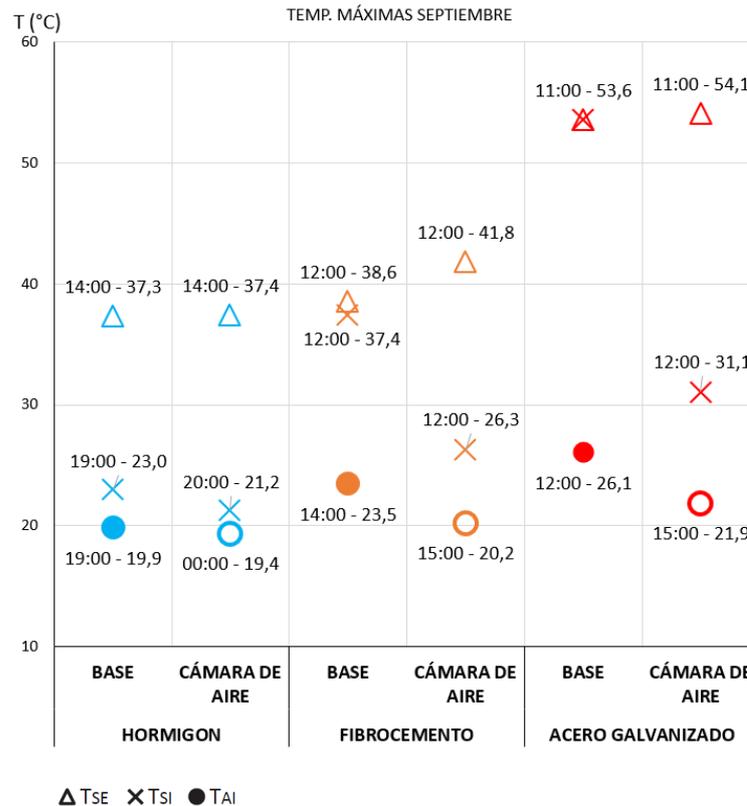


Figura 50. Comparación de temperaturas máximas: marzo y sep. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 51*, el promedio diario de marzo, las cubiertas livianas registran una disminución en la TAI. El acero galvanizado reduce unos 1.8 °C y el fibrocemento 0.8 °C.

Por otra parte, en septiembre (ver *Figura 52*) la reducción en la TAI en ambas cubiertas livianas llega a ser el doble con respecto a lo registrado en marzo. En el mes de mayor incidencia de radiación solar, la cámara de aire consigue reducir la TAI en los materiales de las cubiertas livianas de manera significativa.

A partir de éstos resultados, la cámara de aire en las cubiertas de fibrocemento y acero galvanizado presenta una reducción en las TSI y TAI en las horas de mayor radiación.

Sin embargo analizando el promedio diario (24h) de las tres cubiertas se concluye que todas llegan a los 18°C en su TAI.

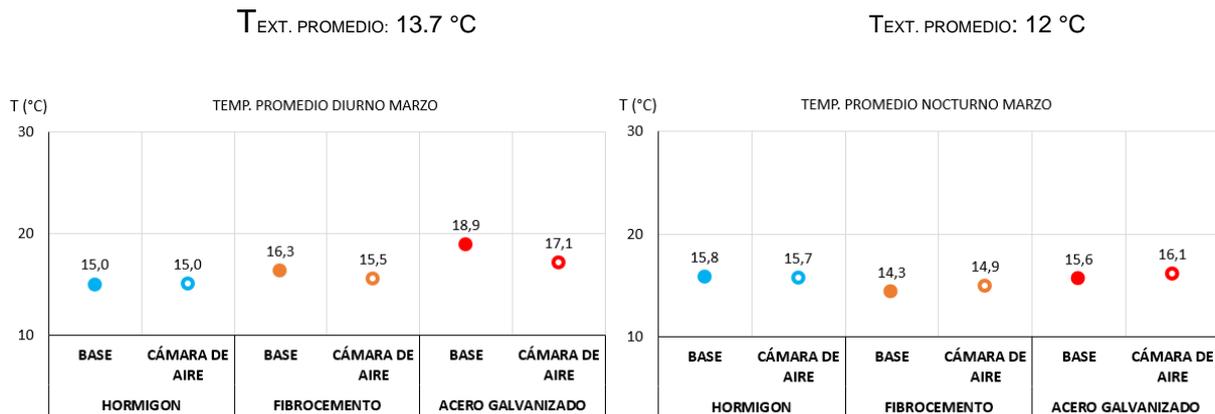


Figura 51. Temp. Aire Interior promedios Marzo. Fuente: Elaboración propia

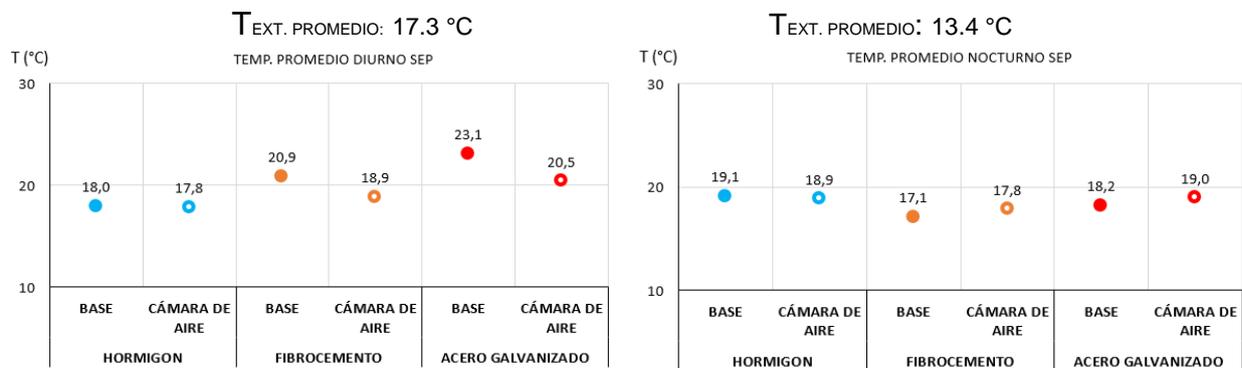


Figura 52. Temp. Aire Interior promedios Sep. Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 51-52*, el promedio nocturno de ambas cubiertas livianas incrementa su TAI entre los 0.5-0.8 °C. Siendo el acero galvanizado el que registra una TAI superior en los dos períodos.

4.3 Modificación de espesor en hormigón armado

Para comprender la influencia de la masa térmica en el comportamiento térmico de un ambiente interior, se llevaron a cabo simulaciones modificando el espesor de la cubierta de hormigón armado desde los 10 hasta los 40 cm.

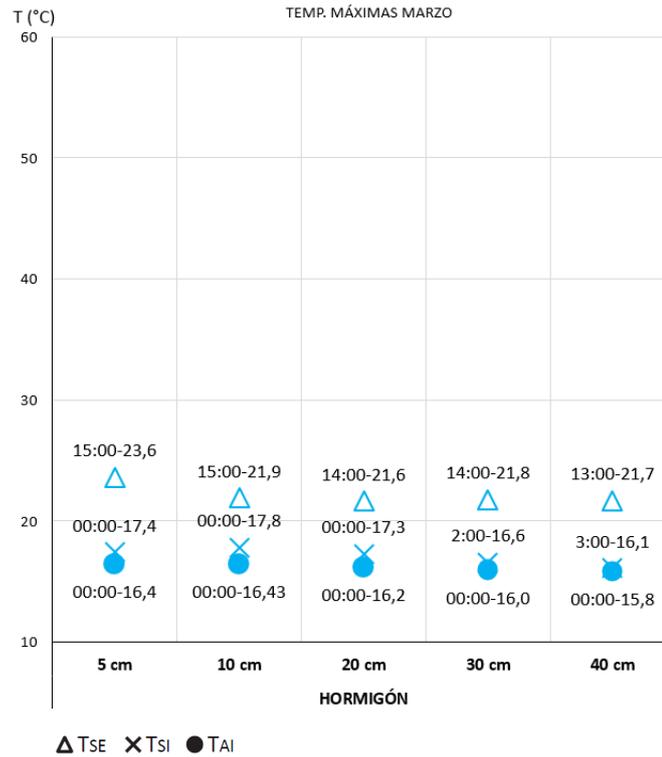


Figura 53. Comparación temp. máximas distintos espesores Marzo. Fuente: Elaboración propia

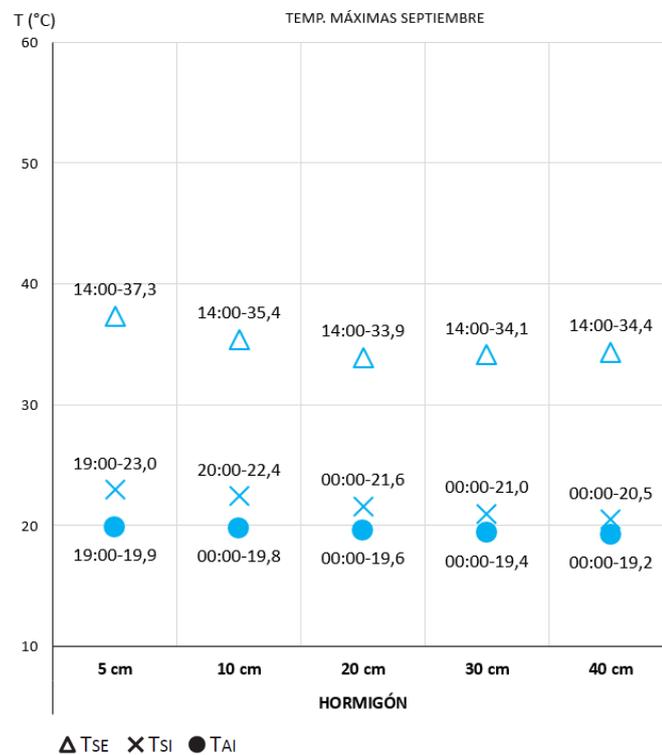


Figura 54. Comparación temp. máximas distintos espesores Sep. Fuente: Elaboración propia

En las gráficas comparativas (ver *Figura 53-54*). Los resultados indican que mientras se aumenta la masa las temperaturas se van reduciendo.

Sin embargo, a partir de los 20 cm de espesor, se observa un retraso desde las 00h00 para alcanzar la T_{SI} y T_{AI} máximas. Lo cual podría ser favorable para el confort térmico del usuario. Aunque si comparamos con las temperaturas registradas en el módulo base (5 cm), la variación en las T_{SI} y T_{AI} no son representativas.

4.4 Cubiertas livianas y aislamiento de poliuretano de 2,5 cm

El estudio plantea analizar el comportamiento térmico de las cubiertas livianas con aislamiento de poliuretano. Para determinar su influencia en las T_{SE} , T_{SI} y T_{AI} . El material y dimensión del aislamiento corresponde a lo disponible en el sector de la construcción.

En la *Figura 55 y 56*, se observa que ambas cubiertas livianas con el aislamiento presentan un comportamiento térmico similar. Alcanzando una T_{AI} máxima de 15.7 °C a las 00:00 horas en marzo. En septiembre, el fibrocemento y el acero galvanizado registran una T_{AI} máxima de 18.9 °C a las 16:00 h.

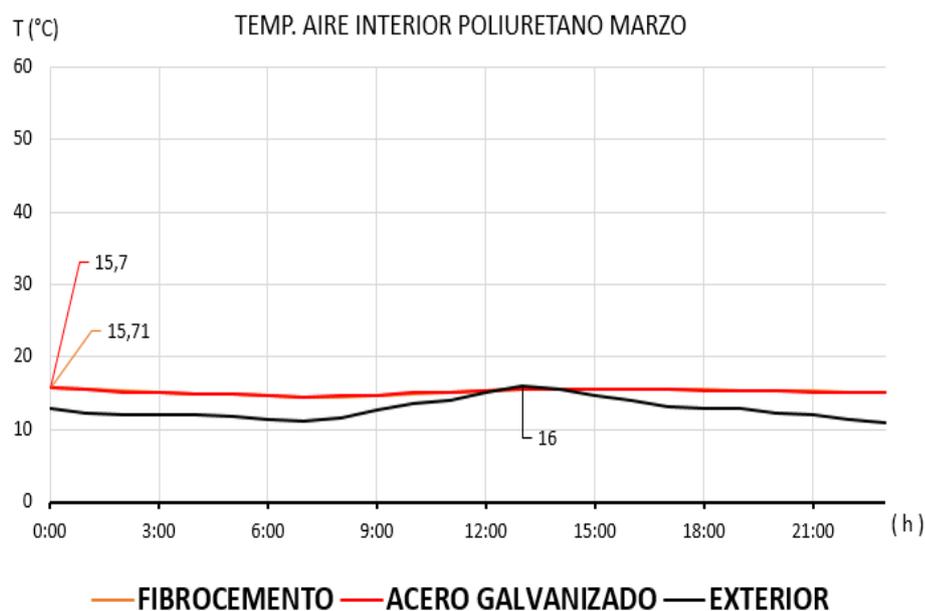


Figura 55. Resultados temperatura marzo. Fuente: Elaboración propia

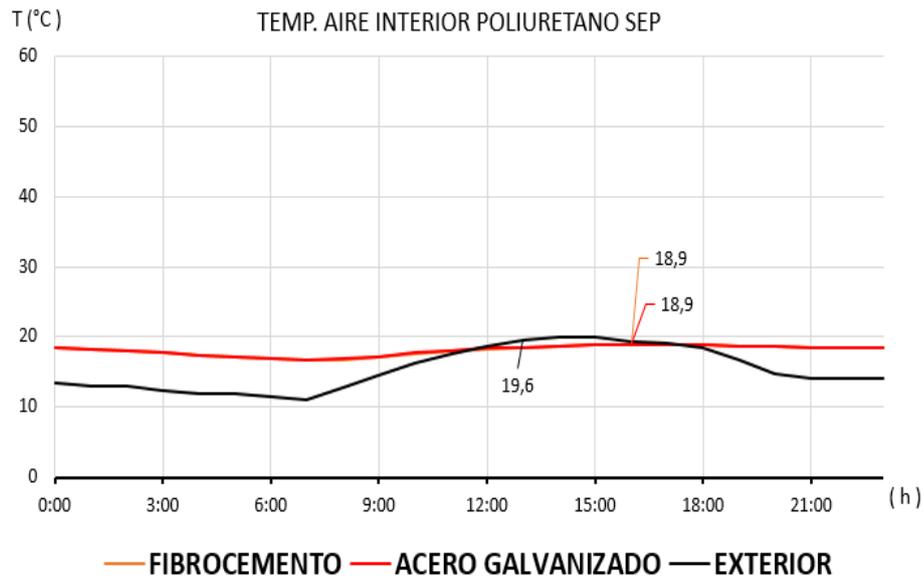


Figura 56. Resultados temperatura septiembre. Fuente: Elaboración propia

Al comparar las temperaturas máximas en el período de marzo (ver Figura 57). La Tse en la cubierta de fibrocemento aumenta 4.4 °C y el acero galvanizado disminuye 9.6°C con respecto a la base. En relación a la cámara de aire, la Tse aumenta 1.5°C en el fibrocemento y se reduce 10°C en la cubierta de acero galvanizado.

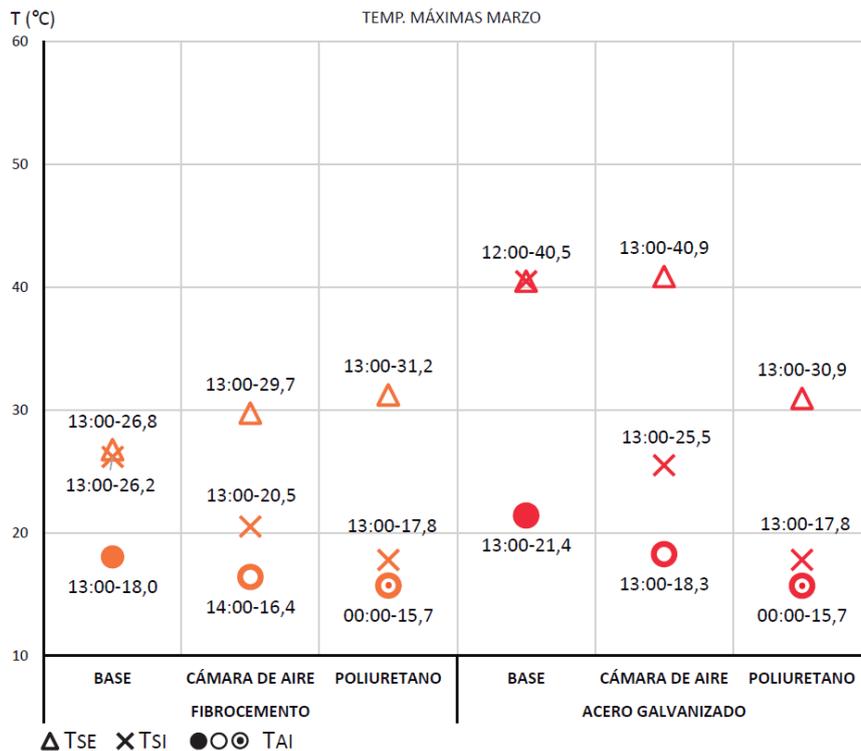


Figura 57. Comparación Temp. máximas Marzo. Fuente: Elaboración propia

En septiembre, en la *Figura 58*, ambas cubiertas livianas registran un comportamiento térmico similar que en marzo.

La TSE de la cubierta de acero galvanizado muestra una reducción de 11 °C con respecto a la base y a la cámara de aire.

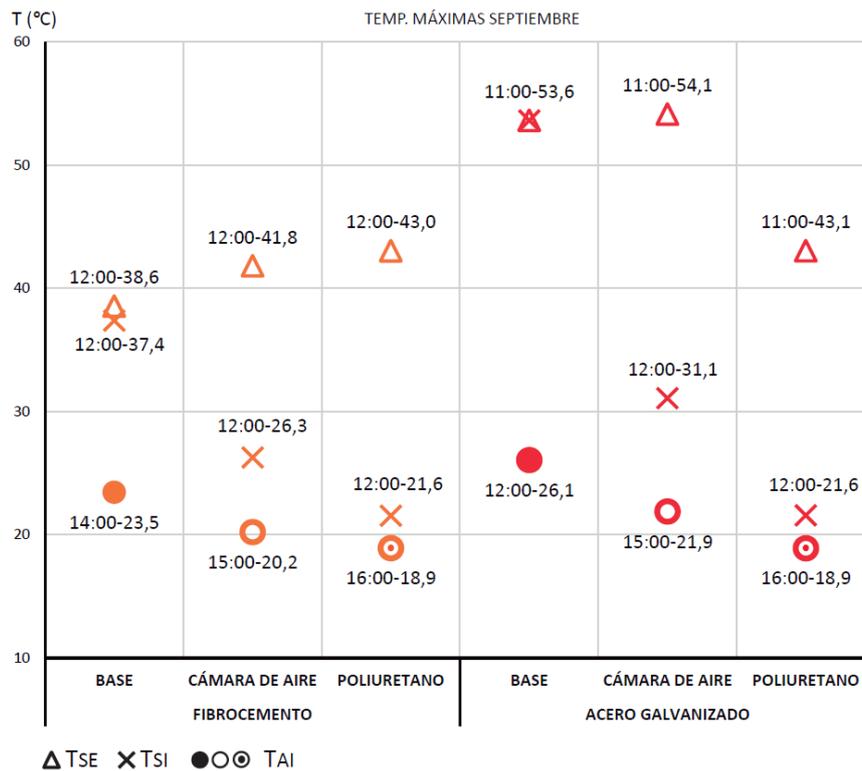


Figura 58. Comparación Temp. máximas Sep. Fuente: Elaboración propia

Comparando la reducción en la TSI con el módulo base. A pesar de que ambas cubiertas livianas alcanzan la misma temperatura de 17.8 °C en marzo y 21,6°C en septiembre en el mismo horario. La cubierta de acero galvanizado disminuye de manera considerable 9.5 °C en el mes de septiembre con respecto a la cámara de aire.

Las TAI máximas en ambas cubiertas livianas llegan a ser iguales con el aislamiento de poliuretano en el mismo horario (16h00 h).

Al comparar las TAI máximas de los promedios diurno y nocturno. Ambas cubiertas livianas alcanzaron los mismos valores de 15 °C en marzo y 18 °C en

septiembre (ver *Figura 59-60*). Analizando estos resultados, se observa que ambos materiales con el aislamiento disminuyen sus T_{AI} en relación a los casos arriba explicados (base y cámara de aire) durante el día. En el clima de Quito este efecto puede ser no deseado por el usuario en época fría.

En la noche, por el contrario, el fibrocemento aumenta 1 °C con respecto a la T_{AI} promedio base (14.3 °C en marzo y 17.1°C en septiembre), ver *Figura 59-60*.

Mientras que la cubierta de acero galvanizado disminuye 0.4°C en marzo y 0.2 °C en septiembre.

Ambos materiales con aislamiento de poliuretano alcanzan las mismas T_{AI} promedio en el día y la noche en los dos escenarios propuestos.

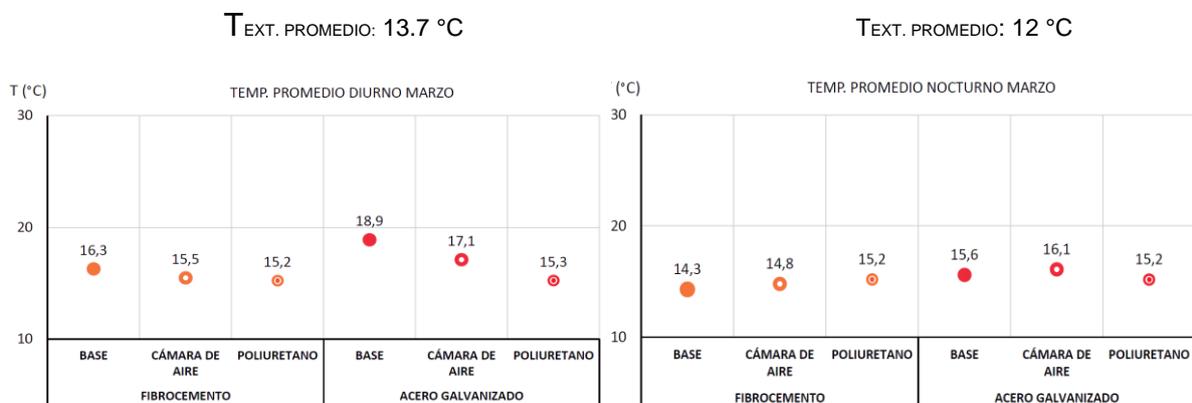


Figura 59. Temp. Aire Interior promedios marzo. Fuente: Elaboración propia

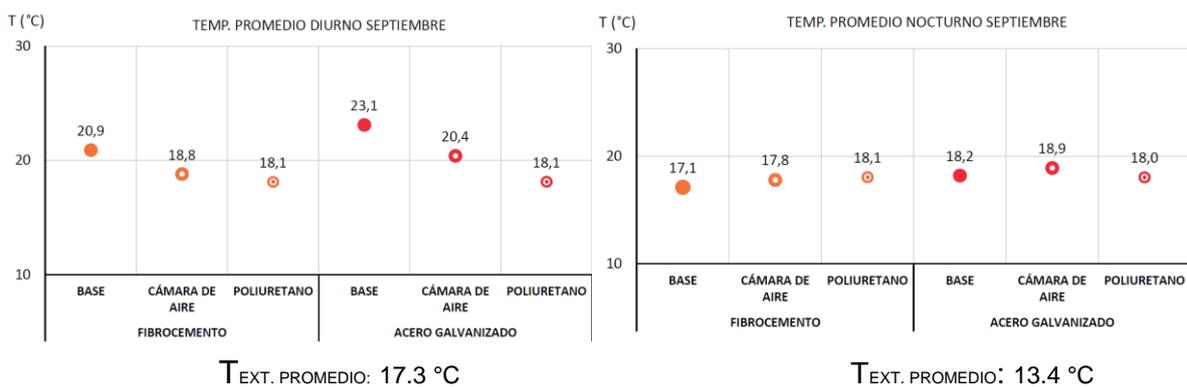


Figura 60. Temp. Aire Interior promedios Sep. Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 61-62, se muestra un gráfico resumen del comportamiento térmico de las distintas cubiertas y sus variables.

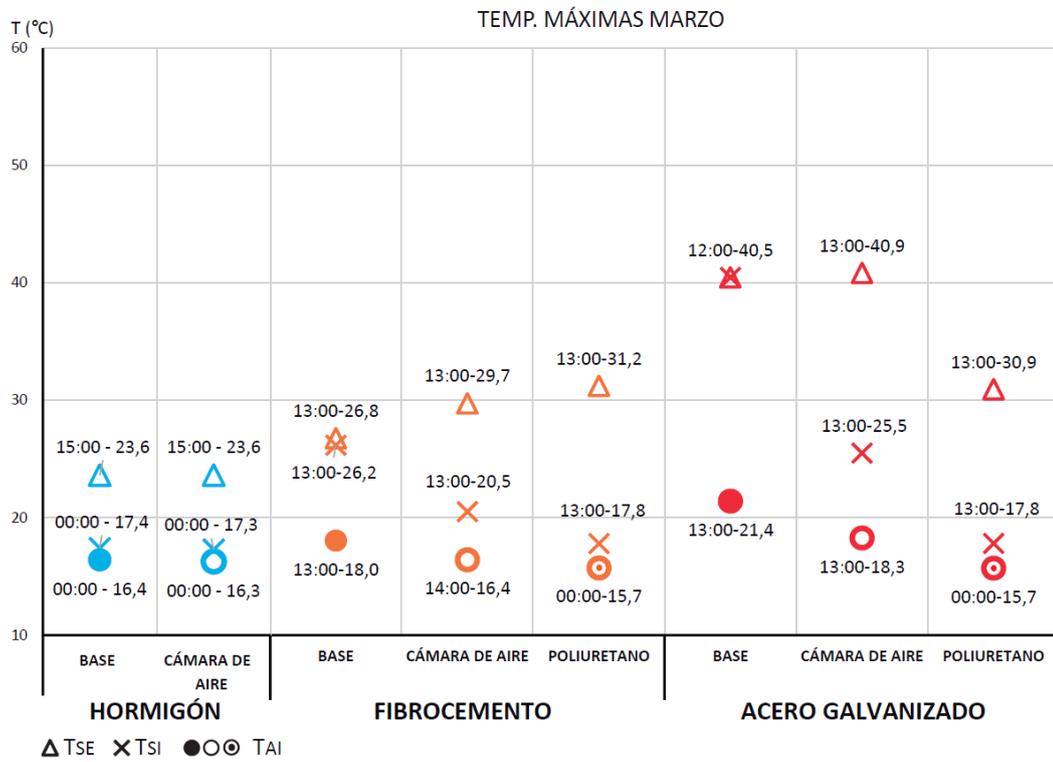


Figura 61. Temp. Aire Interior máximas Marzo. Fuente: Elaboración propia

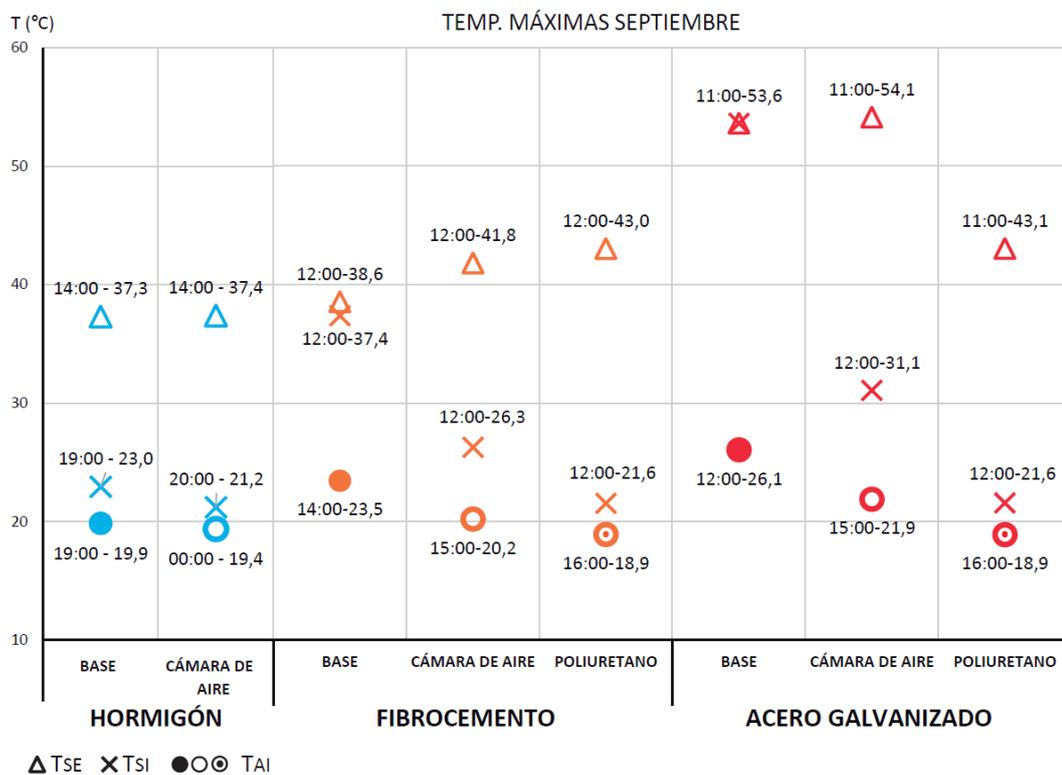
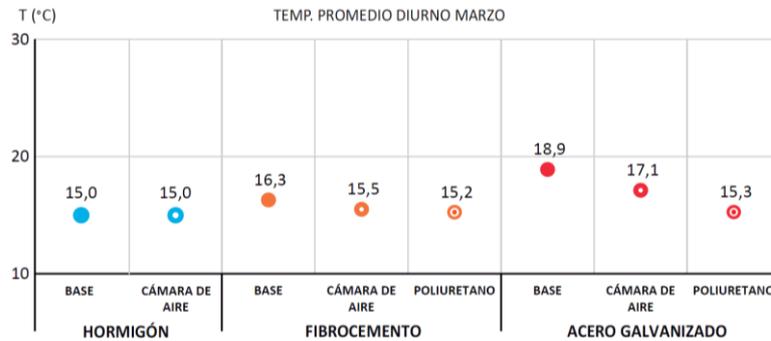


Figura 62. Temp. Aire Interior máximas Septiembre. Fuente: Elaboración propia

En la Figuras 63-64, se muestra un gráfico resumen de los promedios diurnos y nocturnos de las distintas cubiertas y sus variables en los períodos de marzo y septiembre.

T_{EXT. PROMEDIO}: 13.7 °C



T_{EXT. PROMEDIO}: 17.3 °C

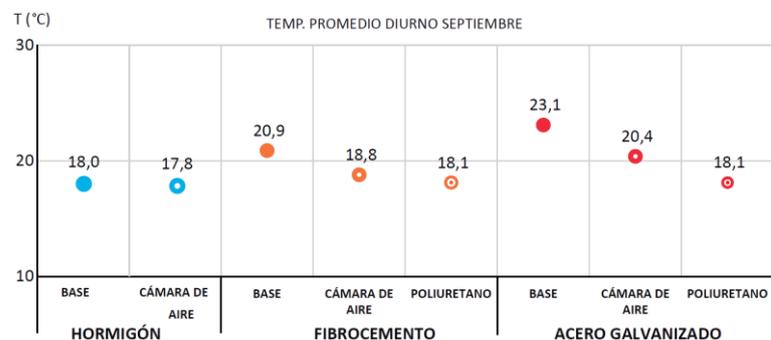
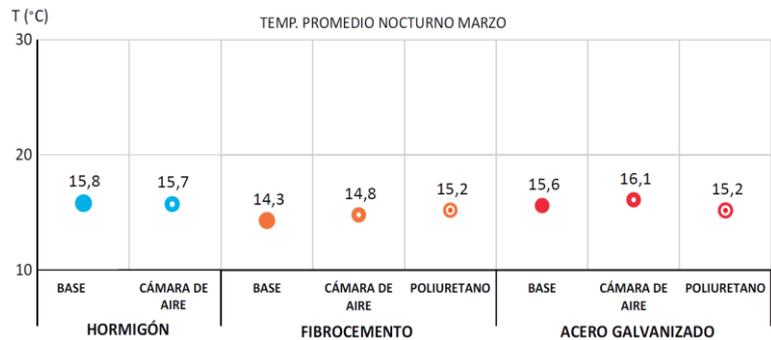


Figura 63. Comparación de temperaturas promedio diurno de Marzo y Septiembre

T_{EXT. PROMEDIO}: 12 °C



T_{EXT. PROMEDIO}: 13.4 °C

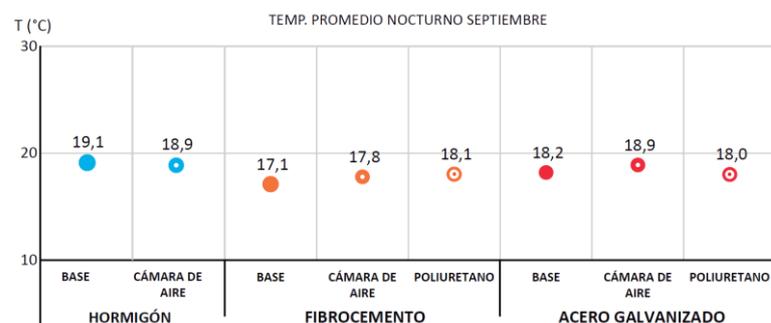


Figura 64. Comparación de temperaturas. promedio nocturno de Marzo y Septiembre

5. CONCLUSIONES:

Con los resultados obtenidos y una vez analizado el comportamiento térmico de cada uno de los casos en la ciudad de Quito, se concluye lo siguiente:

En cubiertas de hormigón armado base a lo largo del día la temperatura de aire interior es más estable (varía entre 2 - 2.6°C) comparada con la cubierta de acero galvanizado (varía entre 6.5 – 9.3°C) aunque para el clima de Quito no representa una mejora en el comportamiento térmico interior.

En la modificación de la masa térmica en cubiertas de hormigón armado, se observa que el espesor de aislamiento de 20 cm presenta un buen comportamiento térmico por el tiempo de retraso en alcanzar la T_{AI} máxima. Aunque la diferencia en la T_{AI} entre el aislamiento de 20 cm y el de 5 cm es de 0.6 °C. Por lo que su construcción no representa una buena alternativa. Por lo tanto la cubierta con 5 cm de aislamiento es una base aceptable como esquema constructivo en Quito.

En cubiertas de hormigón armado, la cámara de aire no ventilada de 5 cm no produce un efecto significativo en el comportamiento térmico interior.

En cubiertas livianas (fibrocemento o acero galvanizado) tanto el **aislamiento** como la **cámara de aire**, en ambos períodos, **reducen la T_{AI}**. La aplicación de la cámara de aire hace que la T_{AI} sea más alta que con el espesor de aislamiento seleccionado. La cámara de aire puede ser una estrategia viable para su aplicación en la construcción y accesible por su costo.

En cubiertas livianas (fibrocemento o acero galvanizado) con el aislamiento tienen un comportamiento térmico similar en ambos períodos.

El comportamiento térmico interior de los espacios con **cubierta liviana más aislamiento** de poliuretano es similar a la de hormigón base.

La cubierta de **acero galvanizado base** para el clima de Quito, es la mejor solución desde el punto de vista térmico. La TAI oscila entre los 19-21 °C en el día, en el período frío. Las otras cubiertas dan valores más bajos de TAI. (La utilización de la cubierta metálica en climas fríos también debe contemplar su desempeño frente a otras condiciones ambientales como lluvia, viento, granizo.)

En el momento de optar por un material o por un tipo de cubierta, se debe tomar en cuenta otras características, puesto que cada solución constructiva tiene sus limitaciones como: vida útil, facilidad de instalación, costo y la alternativa de ampliación de espacios (crecimiento en vertical).

Por último, la arquitectura y el clima están relacionadas con el correcto funcionamiento del material escogido para la cubierta. Un ejemplo, es que en Quito, la cubierta de acero galvanizado, tiene un comportamiento térmico aceptable. Mientras que sí utilizamos este material en climas cálidos el efecto producido es no deseado. Por lo que tanto el material como el clima deben ser analizados en conjunto para lograr condiciones térmicas agradables para el usuario.

Futuras investigaciones pueden proseguir con el estudio del comportamiento térmico de otros materiales para cubiertas como por ejemplo: teja de barro, madera, policarbonato, etc.

Además, analizar la influencia de los acabados como: pintura en cubierta metálica, recubrimientos.

Para este caso de estudio, se ha analizado los materiales actuales usados para la construcción en Quito.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez –Lombard,L.,Ortiz, J., & Pout, C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40 (2008) 394-398.
- [2] Energy Efficiency in Buildings: Lessons Learned from International Experience, United Nations Development Programme, Energy and Environment Group, NewYork,USA,2009.
- [3] Serra F. Rafael, Coch R. Helena, *Arquitectura y energía natural*, 1 Edición. Barcelona: Ediciones UPC, 1995, pág 208-210.
- [4] Olgyay V., *Arquitectura y clima*, 2a Edición. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.
- [5] Diulio M, Netto G, Berardi R, Czajkowski J, Impact of the envelope on residential heating energy demand in the Metropolitan Region of La Plata, based on the energy retrofit of a house.
- [6] [Hernández – Pérez, G. Álvarez, H. Gilbert, J. Xamán, Y. Chávez, B. Shah, Thermal Performance of a concrete cool roof under different climatic conditions of México, *Energy Procedia* 57 (2014) 1753 -1762].
- [7] M.P.G. Sirimanna, R.A Attalage, A model for analyzing the thermal performance of roof configurations with flat inclined surfaces, *Energy and Buildings*, 116 (2016) 122-132.
- [8] Noelia L. Alchapar, Erica N. Correa, Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics, *Construction and Building Materials*, 102 (2016) 297-305].
- [9] Quiroa Herrera,J.A, Vecchia, F., Castañeda Nolasco, G., Comparación del comportamiento térmico de tres cubiertas: láminas de reciclado tetra pak, láminas de fibrocemento y teja de barro, *Ingeniería*, vol.14, núm 1 (2010) 23-31].
- [10] Alvarado J.L., Terrell W. Jr, Johnson M.D. Passive cooling systems for cement-based roofs. *Building and Environment* 44 (2009) 1869-1875.
- [11] Mrs. M. Ponni, Dr. R. Baskar, Comparative study of different types of roof and indoor temperatures in Tropical Climate, *International Journal of Engineering and Technology* (2015), 530-536.
- [12] Hugo. Hens, Arnold Janssens, Rongjin Zheng, Zinc roofs: an evaluation based on test house measurements, *Building and Environment* 38 (2003)795-806.

- [13] [M. D´ Orazio, C.Di Perna, E. Di Giuseppe, The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates, *Energy Buildings* 42 (2010) 1619 -1627]
- [14] Goss WP, Miller RG. Literature review of measurement and predictions of reflective building insulation system performance: 1900–1989. *ASHRAE Trans*1989:651–64.
- [15] Queer ER. Importance of radiation in heat transfer through air spaces. *ASHVE Trans*1932; 38:77–96.
- [16] Mason RB. Thermal Insulation with aluminum foil. *Ind Eng Chem* 1933;25:245–55.
- [17] Babbit JD. Note on the testing of aluminum foil insulation. *Heat Pip Air Cond* 1937;9:577–9.
- [18] Wilkes GB, Peterson CM. Radiation and convection across airspaces in frame construction. *ASHVETrans*1937; 43:351–66.
- [19] Fricker JM. Computational analysis of reflective airspaces. *AIRAHJ*1997. Casa bioclimáticas para clima frío.” [Online]. Available: <http://www.lapatriaenlinea.com/?t=casa-bioclimaticas-para-clima-frio¬a=104041> [Acceso: 26-May-2015].
- [20] Wilkes GB, Hechler FG, Queer ER. Thermal test coefficients of aluminum insulation for buildings. *HeatPipAirCond*1940:68–72.
- [21] Wilkes GB. Thermal conductivity, expansion and specific heat of insulators at extremely low temperature. *Refrigeration*1946;52:37–42 68,70,72.
- [22] Sau Wai Lee, Chin Haw Lim, Elias @ Ilias Bin Salleh. Reflective thermal insulation systems in building: A review on radiant barrier and reflective insulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (2016) 643–661.
- [23] Rathish Sathyabama Arumugan, Vishal Garg., V.Vinayaka Ram, Aviruch Bhatia, Optimizing roof insulation for roofs with high albedo coating and radiant barriers in India, *Journal of Building Engineering* 2 (2015) 52-58.
- [24] BERGMAN Theodore, DEWITT David P, INCROPERA Frank P, LAVINE Adrienne S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7ma edición, John Wiley & Sons.

REFERENCIAS INTERNET

[25] <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Brundtland Report, 1987, Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, Chapter 2 - Towards Sustainable Development, pág 42. [Acceso: 14-May-2017].

[26] <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>. [Acceso: 29-May-2017].

[27] Paniagua, O. E. *LA PATRIA, Periódico de Circulación Nacional*. Obtenido de <http://www.lapatriaenlinea.com/?t=casa-bioclimaticas-para-clima-frio¬a=104041> [Acceso: 26-May-2017].

[28] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000100055. [Acceso: 29-May-2017].

[29] https://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.curriculumenlineameduc.cl%2F605%2Farticles-22804_recurso_jpg.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.curriculumenlineameduc.cl%2F605%2Fw3-article-18124.html&docid=q8Ubo688EYsP0M&tbnid=57XI7170QZAxPM%3A&vet=10ahUKEwjlrKOI6u_UAhUGVRoKHdGQBhIQMwg2KBlwEg..i&w=1650&h=1275&bih=617&biw=1280&q=mapamundi%20ecuador%20tropicos&ved=0ahUKEwjlrKOI6u_UAhUGVRoKHdGQBhIQMwg2KBlwEg&iact=mrc&uact=8. [Acceso: 01-Julio-2017].

[30] <http://www.eternit.com.ec/placa-p7-111/>, [Acceso: 29-May-2017].

[31] http://kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=18&Itemid=288, [Acceso: 29-May-2017].

Tabla Temperatura Superficial Exterior (T_{SE}) - Marzo

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR HORMIGÓN MARZO								
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	13,0	13,22	15,0	15,3	14,6	14,3	13,0
04/03/2002	1:00:00	12,1	12,36	14,2	14,7	14,0	13,7	12,4
04/03/2002	2:00:00	11,3	11,54	13,4	14,2	13,6	13,3	12,0
04/03/2002	3:00:00	10,7	10,93	12,9	13,9	13,4	13,0	12,0
04/03/2002	4:00:00	10,2	10,49	12,4	13,5	13,1	12,8	12,0
04/03/2002	5:00:00	9,9	10,11	11,9	13,2	12,9	12,6	11,8
04/03/2002	6:00:00	9,5	9,75	11,6	13,0	12,8	12,5	11,5
04/03/2002	7:00:00	9,5	9,69	11,5	13,0	12,9	12,6	11,1
04/03/2002	8:00:00	10,4	10,6	12,2	13,8	13,9	13,6	11,6
04/03/2002	9:00:00	12,4	12,57	13,7	15,4	15,6	15,4	12,6
04/03/2002	10:00:00	15,0	15,17	15,6	17,1	17,4	17,2	13,6
04/03/2002	11:00:00	17,6	17,72	17,4	18,5	18,8	18,7	14,0
04/03/2002	12:00:00	20,2	20,3	19,4	20,2	20,5	20,4	15,3
04/03/2002	13:00:00	22,6	22,6	21,1	21,4	21,7	21,6	16,0
04/03/2002	14:00:00	23,6	23,58	21,8	21,6	21,8	21,7	15,5
04/03/2002	15:00:00	23,6	23,63	21,9	21,3	21,3	21,3	14,8
04/03/2002	16:00:00	22,8	22,81	21,3	20,5	20,4	20,3	14,0
04/03/2002	17:00:00	21,2	21,19	20,2	19,1	18,9	18,8	13,3
04/03/2002	18:00:00	19,1	19,12	18,7	17,7	17,3	17,2	13,0
04/03/2002	19:00:00	17,0	16,96	17,1	16,3	15,9	15,8	13,0
04/03/2002	20:00:00	15,2	15,21	15,9	15,4	15,0	14,9	12,4
04/03/2002	21:00:00	14,1	14,11	15,1	15,0	14,7	14,5	12,0
04/03/2002	22:00:00	13,4	13,43	14,6	14,8	14,5	14,3	11,4
04/03/2002	23:00:00	12,7	12,73	14,0	14,3	14,0	13,8	11,0

Tabla 6. TSE -Hormigón Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR FIBROCEMENTO MARZO					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	10,8	8,48	7,27	13,0
04/03/2002	1:00:00	10,1	7,84	6,64	12,4
04/03/2002	2:00:00	9,4	6,56	4,93	12,0
04/03/2002	3:00:00	9,5	6,67	5,07	12,0
04/03/2002	4:00:00	9,8	7,36	6,04	12,0
04/03/2002	5:00:00	9,7	7,54	6,36	11,8
04/03/2002	6:00:00	9,6	7,19	5,82	11,5
04/03/2002	7:00:00	10,6	8,27	7,06	11,1
04/03/2002	8:00:00	13,8	12,46	12,04	11,6
04/03/2002	9:00:00	18,2	18,13	18,65	12,6
04/03/2002	10:00:00	21,7	22,93	23,95	13,6
04/03/2002	11:00:00	22,9	24,66	25,62	14,0
04/03/2002	12:00:00	25,9	28,08	29,39	15,3
04/03/2002	13:00:00	26,8	29,74	31,22	16,0
04/03/2002	14:00:00	25,0	27,45	28,47	15,5
04/03/2002	15:00:00	23,2	25,15	25,97	14,8
04/03/2002	16:00:00	20,5	21,92	22,42	14,0
04/03/2002	17:00:00	17,0	17,75	17,82	13,3
04/03/2002	18:00:00	13,5	13,2	12,65	13,0
04/03/2002	19:00:00	11,4	10,02	9,09	13,0
04/03/2002	20:00:00	10,7	8,83	7,81	12,4
04/03/2002	21:00:00	10,5	8,08	6,7	12,0
04/03/2002	22:00:00	11,2	8,82	7,56	11,4
04/03/2002	23:00:00	10,5	8,37	7,1	11,0

Tabla 7. TSE -Fibro cemento Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR ACERO GALVANIZADO MARZO						
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR	
04/03/2002	0:00:00	13,3	13,31	7,41	13,0	
04/03/2002	1:00:00	12,9	12,88	6,07	12,4	
04/03/2002	2:00:00	12,7	12,67	4,72	12,0	
04/03/2002	3:00:00	12,7	12,67	5,18	12,0	
04/03/2002	4:00:00	12,5	12,51	6,41	12,0	
04/03/2002	5:00:00	12,4	12,4	6,18	11,8	
04/03/2002	6:00:00	12,3	12,36	5,8	11,5	
04/03/2002	7:00:00	14,0	13,73	7,78	11,1	
04/03/2002	8:00:00	20,1	19,23	13,53	11,6	
04/03/2002	9:00:00	28,5	27,52	20,08	12,6	
04/03/2002	10:00:00	33,8	33,55	24,7	13,6	
04/03/2002	11:00:00	33,6	33,69	25,72	14,0	
04/03/2002	12:00:00	40,5	40,26	30,42	15,3	
04/03/2002	13:00:00	40,2	40,85	30,93	16,0	
04/03/2002	14:00:00	36,7	36,97	28,11	15,5	
04/03/2002	15:00:00	34,2	34,44	25,48	14,8	
04/03/2002	16:00:00	30,2	30,38	21,73	14,0	
04/03/2002	17:00:00	24,5	24,77	16,84	13,3	
04/03/2002	18:00:00	18,8	19,22	11,28	13,0	
04/03/2002	19:00:00	13,7	14,29	8,56	13,0	
04/03/2002	20:00:00	13,0	13,12	7,3	12,4	
04/03/2002	21:00:00	13,1	13,14	6,7	12,0	
04/03/2002	22:00:00	13,0	13,09	7,86	11,4	
04/03/2002	23:00:00	12,6	12,65	6,67	11,0	

Tabla 8. TSE –Acero galvanizado Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

Tabla Temperatura Superficial Interior (Tsi) - Marzo

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR HORMIGÓN MARZO								
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	17,4	17,29	17,8	17,3	16,5	15,9	13,0
04/03/2002	1:00:00	16,9	17,02	17,5	17,3	16,6	16,0	12,4
04/03/2002	2:00:00	16,5	16,72	17,2	17,1	16,6	16,1	12,0
04/03/2002	3:00:00	16,0	16,41	16,9	17,0	16,6	16,1	12,0
04/03/2002	4:00:00	15,6	16,1	16,5	16,8	16,5	16,1	12,0
04/03/2002	5:00:00	15,2	15,78	16,2	16,6	16,4	16,1	11,8
04/03/2002	6:00:00	14,8	15,48	15,8	16,4	16,3	16,0	11,5
04/03/2002	7:00:00	14,5	15,18	15,5	16,2	16,2	16,0	11,1
04/03/2002	8:00:00	14,2	14,9	15,2	16,0	16,0	15,9	11,6
04/03/2002	9:00:00	13,9	14,66	14,9	15,8	15,9	15,8	12,6
04/03/2002	10:00:00	13,8	14,47	14,7	15,6	15,7	15,7	13,6
04/03/2002	11:00:00	13,9	14,38	14,6	15,4	15,6	15,6	14,0
04/03/2002	12:00:00	14,1	14,4	14,6	15,3	15,5	15,5	15,3
04/03/2002	13:00:00	14,5	14,57	14,7	15,2	15,4	15,5	16,0
04/03/2002	14:00:00	15,1	14,83	15,0	15,3	15,4	15,4	15,5
04/03/2002	15:00:00	15,7	15,18	15,3	15,4	15,4	15,4	14,8
04/03/2002	16:00:00	16,3	15,58	15,7	15,6	15,5	15,5	14,0
04/03/2002	17:00:00	16,8	15,97	16,2	15,8	15,6	15,5	13,3
04/03/2002	18:00:00	17,2	16,3	16,5	16,0	15,7	15,6	13,0
04/03/2002	19:00:00	17,3	16,54	16,8	16,2	15,9	15,7	13,0
04/03/2002	20:00:00	17,3	16,67	16,9	16,4	16,0	15,8	12,4
04/03/2002	21:00:00	17,1	16,66	16,9	16,5	16,1	15,9	12,0
04/03/2002	22:00:00	16,8	16,56	16,8	16,6	16,2	16,0	11,4
04/03/2002	23:00:00	16,4	16,38	16,6	16,6	16,3	16,0	11,0

Tabla 9. TSI -Fibrocemento Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR FIBROCEMENTO MARZO					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	11,1	13,55	14,79	13,0
04/03/2002	1:00:00	10,5	13,35	14,61	12,4
04/03/2002	2:00:00	9,8	12,73	14,18	12,0
04/03/2002	3:00:00	9,9	12,5	14,05	12,0
04/03/2002	4:00:00	10,1	12,52	14,04	12,0
04/03/2002	5:00:00	10,0	12,57	13,98	11,8
04/03/2002	6:00:00	9,9	12,32	13,74	11,5
04/03/2002	7:00:00	10,8	12,36	13,75	11,1
04/03/2002	8:00:00	13,8	13,36	14,39	11,6
04/03/2002	9:00:00	17,9	15,23	15,45	12,6
04/03/2002	10:00:00	21,3	17,26	16,36	13,6
04/03/2002	11:00:00	22,5	18,34	16,68	14,0
04/03/2002	12:00:00	25,3	19,29	17,28	15,3
04/03/2002	13:00:00	26,2	20,5	17,79	16,0
04/03/2002	14:00:00	24,6	20,13	17,48	15,5
04/03/2002	15:00:00	22,8	19,5	17,21	14,8
04/03/2002	16:00:00	20,3	18,57	16,78	14,0
04/03/2002	17:00:00	17,0	17,25	16,14	13,3
04/03/2002	18:00:00	13,7	15,61	15,35	13,0
04/03/2002	19:00:00	11,7	14,22	14,8	13,0
04/03/2002	20:00:00	11,0	13,62	14,62	12,4
04/03/2002	21:00:00	10,8	13,16	14,39	12,0
04/03/2002	22:00:00	11,4	13,21	14,45	11,4
04/03/2002	23:00:00	10,8	13,15	14,32	11,0

Tabla 10. Tsi -Fibrocemento Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACERO GALVANIZADO MARZO					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	13,3	15,76	14,78	13,0
04/03/2002	1:00:00	12,9	15,53	14,52	12,4
04/03/2002	2:00:00	12,7	15,28	14,12	12,0
04/03/2002	3:00:00	12,7	15,14	14,05	12,0
04/03/2002	4:00:00	12,5	14,98	14,08	12,0
04/03/2002	5:00:00	12,4	14,79	13,94	11,8
04/03/2002	6:00:00	12,3	14,65	13,71	11,5
04/03/2002	7:00:00	14,0	14,75	13,84	11,1
04/03/2002	8:00:00	20,1	16,33	14,66	11,6
04/03/2002	9:00:00	28,5	19	15,73	12,6
04/03/2002	10:00:00	33,8	21,74	16,53	13,6
04/03/2002	11:00:00	33,6	22,51	16,74	14,0
04/03/2002	12:00:00	40,5	23,9	17,48	15,3
04/03/2002	13:00:00	40,2	25,49	17,79	16,0
04/03/2002	14:00:00	36,7	24,38	17,44	15,5
04/03/2002	15:00:00	34,2	23,65	17,15	14,8
04/03/2002	16:00:00	30,2	22,5	16,67	14,0
04/03/2002	17:00:00	24,5	20,77	15,96	13,3
04/03/2002	18:00:00	18,8	18,69	15,1	13,0
04/03/2002	19:00:00	13,7	16,71	14,67	13,0
04/03/2002	20:00:00	13,0	15,72	14,52	12,4
04/03/2002	21:00:00	13,1	15,52	14,36	12,0
04/03/2002	22:00:00	13,0	15,44	14,48	11,4
04/03/2002	23:00:00	12,6	15,22	14,24	11,0

Tabla 11. Tsi –Acero galvanizado Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

Tabla Temperatura Aire Interior (TAI) - Marzo

TEMPERATURA AIRE MARZO								
FECHA	HORA	HORMIGÓN	HORMIGÓN CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	16,4	16,27	16,4	16,2	16,0	15,8	13,0
04/03/2002	1:00:00	16,2	16,1	16,3	16,1	15,9	15,7	12,4
04/03/2002	2:00:00	16,0	15,92	16,1	16,0	15,8	15,6	12,0
04/03/2002	3:00:00	15,8	15,75	15,9	15,9	15,7	15,5	12,0
04/03/2002	4:00:00	15,6	15,57	15,7	15,7	15,6	15,4	12,0
04/03/2002	5:00:00	15,3	15,39	15,5	15,6	15,4	15,3	11,8
04/03/2002	6:00:00	15,1	15,19	15,3	15,4	15,3	15,2	11,5
04/03/2002	7:00:00	14,9	15	15,1	15,2	15,2	15,1	11,1
04/03/2002	8:00:00	14,7	14,88	15,0	15,1	15,1	15,0	11,6
04/03/2002	9:00:00	14,6	14,81	14,9	15,1	15,1	15,0	12,6
04/03/2002	10:00:00	14,6	14,77	14,9	15,1	15,1	15,0	13,6
04/03/2002	11:00:00	14,5	14,72	14,8	15,0	15,1	15,0	14,0
04/03/2002	12:00:00	14,7	14,8	14,9	15,1	15,1	15,1	15,3
04/03/2002	13:00:00	14,9	14,94	15,0	15,2	15,2	15,2	16,0
04/03/2002	14:00:00	15,0	15,01	15,1	15,2	15,2	15,2	15,5
04/03/2002	15:00:00	15,2	15,08	15,2	15,2	15,2	15,2	14,8
04/03/2002	16:00:00	15,3	15,18	15,3	15,3	15,3	15,2	14,0
04/03/2002	17:00:00	15,5	15,34	15,4	15,4	15,3	15,3	13,3
04/03/2002	18:00:00	15,8	15,53	15,6	15,5	15,5	15,4	13,0
04/03/2002	19:00:00	15,9	15,7	15,8	15,7	15,6	15,6	13,0
04/03/2002	20:00:00	16,0	15,76	15,9	15,7	15,6	15,6	12,4
04/03/2002	21:00:00	15,9	15,76	15,9	15,8	15,7	15,6	12,0
04/03/2002	22:00:00	15,8	15,68	15,8	15,7	15,6	15,5	11,4
04/03/2002	23:00:00	15,6	15,55	15,7	15,6	15,5	15,4	11,0

Tabla 12.TAI -Hormigón Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA AIRE FIBROCEMENTO					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
04/03/2002	0:00:00	14,9	15,44	15,71	13,0
04/03/2002	1:00:00	14,6	15,23	15,53	12,4
04/03/2002	2:00:00	14,1	14,91	15,27	12,0
04/03/2002	3:00:00	14,0	14,69	15,11	12,0
04/03/2002	4:00:00	13,9	14,55	14,99	12,0
04/03/2002	5:00:00	13,7	14,43	14,85	11,8
04/03/2002	6:00:00	13,4	14,21	14,65	11,5
04/03/2002	7:00:00	13,5	14,06	14,5	11,1
04/03/2002	8:00:00	14,2	14,22	14,56	11,6
04/03/2002	9:00:00	15,1	14,58	14,72	12,6
04/03/2002	10:00:00	16,1	15,12	15	13,6
04/03/2002	11:00:00	16,6	15,47	15,12	14,0
04/03/2002	12:00:00	17,4	15,84	15,35	15,3
04/03/2002	13:00:00	18,0	16,33	15,65	16,0
04/03/2002	14:00:00	17,9	16,41	15,67	15,5
04/03/2002	15:00:00	17,7	16,4	15,68	14,8
04/03/2002	16:00:00	17,2	16,29	15,63	14,0
04/03/2002	17:00:00	16,4	16	15,52	13,3
04/03/2002	18:00:00	15,6	15,74	15,49	13,0
04/03/2002	19:00:00	15,0	15,44	15,44	13,0
04/03/2002	20:00:00	14,6	15,21	15,38	12,4
04/03/2002	21:00:00	14,4	15	15,27	12,0
04/03/2002	22:00:00	14,4	14,89	15,19	11,4
04/03/2002	23:00:00	14,2	14,77	15,08	11,0

Tabla 13.TAI -Fibrocemento Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA AIRE ACERO GALVANIZADO						
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR	
04/03/2002	0:00:00	16,1	16,6	15,7	13,0	
04/03/2002	1:00:00	15,8	16,37	15,51	12,4	
04/03/2002	2:00:00	15,6	16,13	15,25	12,0	
04/03/2002	3:00:00	15,4	15,95	15,11	12,0	
04/03/2002	4:00:00	15,3	15,77	15	12,0	
04/03/2002	5:00:00	15,1	15,57	14,85	11,8	
04/03/2002	6:00:00	14,9	15,38	14,64	11,5	
04/03/2002	7:00:00	15,0	15,22	14,52	11,1	
04/03/2002	8:00:00	16,1	15,36	14,61	11,6	
04/03/2002	9:00:00	18,0	15,98	14,78	12,6	
04/03/2002	10:00:00	19,4	16,82	15,05	13,6	
04/03/2002	11:00:00	19,5	17,15	15,14	14,0	
04/03/2002	12:00:00	20,9	17,59	15,4	15,3	
04/03/2002	13:00:00	21,4	18,26	15,67	16,0	
04/03/2002	14:00:00	20,8	18,2	15,67	15,5	
04/03/2002	15:00:00	20,4	18,17	15,68	14,8	
04/03/2002	16:00:00	19,7	18,03	15,61	14,0	
04/03/2002	17:00:00	18,6	17,68	15,49	13,3	
04/03/2002	18:00:00	17,3	17,15	15,45	13,0	
04/03/2002	19:00:00	16,2	16,79	15,39	13,0	
04/03/2002	20:00:00	15,8	16,46	15,35	12,4	
04/03/2002	21:00:00	15,7	16,3	15,25	12,0	
04/03/2002	22:00:00	15,6	16,14	15,2	11,4	
04/03/2002	23:00:00	15,4	15,95	15,06	11,0	

Tabla 14. TAI –Acero galvanizado Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

Tabla Temperatura Superficial Exterior (T_{SE}) –Septiembre

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR HORMIGÓN SEPTIEMBRE								
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	15,47	15,84	17,8	19,2	18,8	18,6	13,4
02/09/2002	1:00	14,54	14,94	16,9	18,6	18,3	18,1	13,0
02/09/2002	2:00	13,79	14,2	16,0	18,0	17,8	17,6	13,0
02/09/2002	3:00	13,08	13,49	15,3	17,4	17,3	17,2	12,4
02/09/2002	4:00	12,42	12,82	14,5	16,8	16,9	16,7	12,0
02/09/2002	5:00	11,84	12,23	13,9	16,4	16,5	16,4	12,0
02/09/2002	6:00	11,25	11,61	13,2	15,7	16,0	15,9	11,4
02/09/2002	7:00	11,1	11,41	12,9	15,5	15,9	15,9	11,0
02/09/2002	8:00	13,61	13,85	15,0	17,6	18,2	18,2	12,9
02/09/2002	9:00	18,72	18,9	19,1	21,5	22,3	22,4	14,6
02/09/2002	10:00	24,96	25,11	24,2	26,1	26,9	27,1	16,3
02/09/2002	11:00	30,97	31,1	29,2	30,1	30,9	31,1	17,6
02/09/2002	12:00	35,15	35,25	32,8	32,6	33,2	33,4	18,6
02/09/2002	13:00	36,86	36,95	34,6	33,6	34,0	34,2	19,6
02/09/2002	14:00	37,31	37,39	35,4	33,9	34,1	34,4	20,0
02/09/2002	15:00	36,59	36,66	35,1	33,2	33,3	33,4	20,0
02/09/2002	16:00	34,36	34,44	33,4	31,3	31,2	31,3	19,4
02/09/2002	17:00	30,99	31,08	30,7	28,5	28,2	28,3	19,0
02/09/2002	18:00	26,45	26,56	26,9	25,0	24,5	24,6	18,4
02/09/2002	19:00	22,16	22,29	23,5	22,2	21,6	21,7	16,8
02/09/2002	20:00	18,86	19,02	20,7	20,2	19,6	19,6	14,8
02/09/2002	21:00	16,44	16,63	18,5	18,8	18,3	18,3	14,0
02/09/2002	22:00	15,03	15,24	17,2	18,0	17,6	17,6	14,0
02/09/2002	23:00	14,09	14,32	16,1	17,4	17,1	17,0	14,0

Tabla 15. TSE -Hormigón Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR FIBROCEMENTO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	12,84	9,96	8,45	13,4
02/09/2002	1:00	12,42	9,55	8,05	13,0
02/09/2002	2:00	12,29	9,55	8,12	13,0
02/09/2002	3:00	11,86	9,28	7,93	12,4
02/09/2002	4:00	11,46	8,68	7,15	12,0
02/09/2002	5:00	11,22	8,53	7,07	12,0
02/09/2002	6:00	10,72	8,12	6,67	11,4
02/09/2002	7:00	11,85	9,88	9	11,0
02/09/2002	8:00	18,25	17,54	17,62	12,9
02/09/2002	9:00	26,14	26,87	27,63	14,6
02/09/2002	10:00	33,31	35,57	36,84	16,3
02/09/2002	11:00	37,89	41,14	42,6	17,6
02/09/2002	12:00	38,55	41,82	43,04	18,6
02/09/2002	13:00	37,33	39,92	40,83	19,6
02/09/2002	14:00	36,42	38,71	39,54	20,0
02/09/2002	15:00	34,15	36,24	36,96	20,0
02/09/2002	16:00	30,24	31,89	32,42	19,4
02/09/2002	17:00	24,95	26,04	26,29	19,0
02/09/2002	18:00	18,57	18,7	18,49	18,4
02/09/2002	19:00	14,6	13,61	13,07	16,8
02/09/2002	20:00	13,17	11,79	11,2	14,8
02/09/2002	21:00	12,59	11,08	10,49	14,0
02/09/2002	22:00	12,67	11,17	10,6	14,0
02/09/2002	23:00	12,73	11,38	10,85	14,0

Tabla 16. TSE –Fibro cemento Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERIOR ACERO GALVANIZADO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	15	14,94	8,45	13,4
02/09/2002	1:00	14,79	14,65	7,8	13,0
02/09/2002	2:00	14,43	14,36	8,35	13,0
02/09/2002	3:00	14,12	14,01	7,55	12,4
02/09/2002	4:00	13,72	13,65	7,2	12,0
02/09/2002	5:00	13,7	13,58	6,85	12,0
02/09/2002	6:00	12,94	12,91	6,72	11,4
02/09/2002	7:00	15,48	15,18	9,74	11,0
02/09/2002	8:00	25,12	24,44	18,9	12,9
02/09/2002	9:00	36,8	36,19	28,78	14,6
02/09/2002	10:00	47,68	47,7	37,7	16,3
02/09/2002	11:00	53,62	54,13	43,05	17,6
02/09/2002	12:00	51,96	52,6	42,85	18,6
02/09/2002	13:00	48,26	48,62	40,66	19,6
02/09/2002	14:00	46,76	46,98	39,46	20,0
02/09/2002	15:00	43,44	43,67	36,65	20,0
02/09/2002	16:00	38,57	38,71	31,98	19,4
02/09/2002	17:00	31,52	31,71	25,58	19,0
02/09/2002	18:00	22,06	22,41	17,67	18,4
02/09/2002	19:00	16,62	16,82	12,54	16,8
02/09/2002	20:00	14,96	14,97	11,07	14,8
02/09/2002	21:00	14,34	14,26	10,43	14,0
02/09/2002	22:00	14,35	14,27	10,66	14,0
02/09/2002	23:00	14,33	14,26	10,85	14,0

Tabla 17. TSE –Acero galvanizado Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

Tabla Temperatura Superficial Interior (T_{si}) –Septiembre

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR HORMIGÓN SEPTIEMBRE								
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	20,97	20,83	21,7	21,6	21,0	20,5	13,4
02/09/2002	1:00	20,33	20,41	21,2	21,4	21,0	20,5	13,0
02/09/2002	2:00	19,72	19,99	20,7	21,2	20,9	20,5	13,0
02/09/2002	3:00	19,15	19,56	20,2	20,9	20,8	20,5	12,4
02/09/2002	4:00	18,61	19,13	19,7	20,6	20,6	20,4	12,0
02/09/2002	5:00	18,1	18,71	19,2	20,3	20,4	20,3	12,0
02/09/2002	6:00	17,61	18,3	18,7	20,0	20,2	20,1	11,4
02/09/2002	7:00	17,15	17,9	18,3	19,7	20,0	20,0	11,0
02/09/2002	8:00	16,73	17,52	17,8	19,3	19,7	19,8	12,9
02/09/2002	9:00	16,41	17,18	17,4	19,0	19,5	19,6	14,6
02/09/2002	10:00	16,34	16,95	17,2	18,7	19,3	19,5	16,3
02/09/2002	11:00	16,67	16,94	17,2	18,5	19,1	19,3	17,6
02/09/2002	12:00	17,43	17,18	17,5	18,4	18,9	19,2	18,6
02/09/2002	13:00	18,52	17,67	18,1	18,4	18,9	19,1	19,6
02/09/2002	14:00	19,73	18,34	18,9	18,6	18,9	19,1	20,0
02/09/2002	15:00	20,86	19,04	19,8	18,9	18,9	19,1	20,0
02/09/2002	16:00	21,8	19,71	20,7	19,3	19,1	19,2	19,4
02/09/2002	17:00	22,48	20,3	21,4	19,8	19,3	19,3	19,0
02/09/2002	18:00	22,88	20,77	22,0	20,2	19,6	19,4	18,4
02/09/2002	19:00	22,95	21,09	22,3	20,7	19,9	19,6	16,8
02/09/2002	20:00	22,69	21,22	22,4	21,0	20,2	19,8	14,8
02/09/2002	21:00	22,17	21,16	22,3	21,2	20,4	20,0	14,0
02/09/2002	22:00	21,5	20,93	21,9	21,3	20,6	20,1	14,0
02/09/2002	23:00	20,76	20,57	21,4	21,3	20,7	20,3	14,0

Tabla 18. T_{si} –Hormigón Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR FIBROCEMENTO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	13,23	16,07	17,42	13,4
02/09/2002	1:00	12,82	15,77	17,19	13,0
02/09/2002	2:00	12,67	15,48	16,98	13,0
02/09/2002	3:00	12,25	15,32	16,78	12,4
02/09/2002	4:00	11,85	14,86	16,41	12,0
02/09/2002	5:00	11,6	14,63	16,2	12,0
02/09/2002	6:00	11,11	14,27	15,89	11,4
02/09/2002	7:00	12,11	14,35	15,98	11,0
02/09/2002	8:00	18,1	16,19	17,15	12,9
02/09/2002	9:00	25,56	19,41	18,73	14,6
02/09/2002	10:00	32,33	22,75	20,22	16,3
02/09/2002	11:00	36,68	25,21	21,26	17,6
02/09/2002	12:00	37,38	26,28	21,56	18,6
02/09/2002	13:00	36,29	26,06	21,41	19,6
02/09/2002	14:00	35,46	25,79	21,41	20,0
02/09/2002	15:00	33,39	25,36	21,24	20,0
02/09/2002	16:00	29,75	24,22	20,73	19,4
02/09/2002	17:00	24,79	22,51	19,94	19,0
02/09/2002	18:00	18,75	20,08	18,81	18,4
02/09/2002	19:00	14,97	17,93	18,02	16,8
02/09/2002	20:00	13,59	16,91	17,77	14,8
02/09/2002	21:00	13,01	16,5	17,68	14,0
02/09/2002	22:00	13,07	16,36	17,66	14,0
02/09/2002	23:00	13,11	16,34	17,61	14,0

Tabla 19. T_{si} – Fibrocemento Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACERO GALVANIZADO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	15	18,39	17,4	13,4
02/09/2002	1:00	14,79	18,02	17,13	13,0
02/09/2002	2:00	14,43	17,79	16,99	13,0
02/09/2002	3:00	14,12	17,45	16,71	12,4
02/09/2002	4:00	13,72	17,15	16,39	12,0
02/09/2002	5:00	13,7	16,86	16,15	12,0
02/09/2002	6:00	12,94	16,55	15,87	11,4
02/09/2002	7:00	15,48	16,59	16,07	11,0
02/09/2002	8:00	25,12	19,27	17,4	12,9
02/09/2002	9:00	36,8	23,09	18,96	14,6
02/09/2002	10:00	47,68	27,5	20,42	16,3
02/09/2002	11:00	53,62	30,38	21,39	17,6
02/09/2002	12:00	51,96	31,08	21,58	18,6
02/09/2002	13:00	48,26	30,08	21,42	19,6
02/09/2002	14:00	46,76	29,49	21,43	20,0
02/09/2002	15:00	43,44	28,87	21,22	20,0
02/09/2002	16:00	38,57	27,44	20,68	19,4
02/09/2002	17:00	31,52	25,42	19,83	19,0
02/09/2002	18:00	22,06	22,32	18,65	18,4
02/09/2002	19:00	16,62	19,72	17,91	16,8
02/09/2002	20:00	14,96	18,64	17,73	14,8
02/09/2002	21:00	14,34	18,14	17,65	14,0
02/09/2002	22:00	14,35	18	17,65	14,0
02/09/2002	23:00	14,33	17,87	17,6	14,0

Tabla 20. T_{si} – Acero galvanizado Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB
Tabla Temperatura Aire Interior (T_{AI}) - Septiembre

TEMPERATURA AIRE HORMIGÓN SEPTIEMBRE								
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	19,6	19,38	19,8	19,6	19,4	19,2	13,4
02/09/2002	1:00:00	19,3	19,14	19,5	19,4	19,3	19,1	13,0
02/09/2002	2:00	19,0	18,9	19,3	19,3	19,1	19,0	13,0
02/09/2002	3:00	18,7	18,6	18,9	19,0	18,9	18,8	12,4
02/09/2002	4:00	18,3	18,3	18,6	18,8	18,7	18,6	12,0
02/09/2002	5:00	18,0	18,03	18,3	18,5	18,5	18,4	12,0
02/09/2002	6:00	17,7	17,7	18,0	18,3	18,3	18,2	11,4
02/09/2002	7:00	17,3	17,39	17,7	18,0	18,0	18,0	11,0
02/09/2002	8:00	17,2	17,27	17,5	17,9	18,0	18,0	12,9
02/09/2002	9:00	17,0	17,21	17,4	17,8	17,9	18,0	14,6
02/09/2002	10:00	17,0	17,17	17,4	17,8	17,9	18,0	16,3
02/09/2002	11:00	17,2	17,23	17,5	17,8	18,0	18,0	17,6
02/09/2002	12:00	17,5	17,41	17,6	17,9	18,0	18,1	18,6
02/09/2002	13:00	17,8	17,7	17,9	18,1	18,2	18,3	19,6
02/09/2002	14:00	18,3	17,98	18,2	18,3	18,4	18,4	20,0
02/09/2002	15:00	18,7	18,27	18,5	18,5	18,5	18,5	20,0
02/09/2002	16:00	19,1	18,53	18,8	18,6	18,6	18,6	19,4
02/09/2002	17:00	19,5	18,8	19,1	18,8	18,8	18,8	19,0
02/09/2002	18:00	19,7	19,04	19,4	19,0	18,9	18,9	18,4
02/09/2002	19:00	19,9	19,2	19,6	19,2	19,0	19,0	16,8
02/09/2002	20:00	19,8	19,28	19,7	19,3	19,1	19,0	14,8
02/09/2002	21:00	19,8	19,33	19,7	19,4	19,2	19,1	14,0
02/09/2002	22:00	19,7	19,32	19,7	19,5	19,3	19,1	14,0
02/09/2002	23:00	19,4	19,2	19,6	19,4	19,2	19,1	14,0

Tabla 21. T_{AI} – Hormigón Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA AIRE FIBROCEMENTO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	17,6	18,23	18,47	13,4
02/09/2002	1:00:00	17,3	17,94	18,24	13,0
02/09/2002	2:00	17,0	17,64	18,01	13,0
02/09/2002	3:00	16,6	17,36	17,74	12,4
02/09/2002	4:00	16,2	17	17,43	12,0
02/09/2002	5:00	15,9	16,73	17,18	12,0
02/09/2002	6:00	15,5	16,4	16,87	11,4
02/09/2002	7:00	15,4	16,18	16,66	11,0
02/09/2002	8:00	16,7	16,53	16,81	12,9
02/09/2002	9:00	18,6	17,22	17,16	14,6
02/09/2002	10:00	20,6	18,21	17,64	16,3
02/09/2002	11:00	22,2	19,03	18,05	17,6
02/09/2002	12:00	23,0	19,61	18,33	18,6
02/09/2002	13:00	23,3	19,9	18,52	19,6
02/09/2002	14:00	23,5	20,1	18,72	20,0
02/09/2002	15:00	23,3	20,23	18,88	20,0
02/09/2002	16:00	22,7	20,14	18,92	19,4
02/09/2002	17:00	21,6	19,92	18,89	19,0
02/09/2002	18:00	20,3	19,5	18,81	18,4
02/09/2002	19:00	18,9	19,04	18,68	16,8
02/09/2002	20:00	18,2	18,63	18,57	14,8
02/09/2002	21:00	17,8	18,44	18,54	14,0
02/09/2002	22:00	17,6	18,32	18,51	14,0
02/09/2002	23:00	17,4	18,18	18,41	14,0

Tabla 22. TAI – Fibrocemento Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

TEMPERATURA AIRE ACERO GALVANIZADO SEPTIEMBRE					
FECHA	HORA	BASE	CÁMARA DE AIRE	POLIURETANO	EXTERIOR
02/09/2002	0:00	18,7	19,48	18,46	13,4
02/09/2002	1:00:00	18,4	19,16	18,22	13,0
02/09/2002	2:00	18,1	18,9	18	13,0
02/09/2002	3:00	17,8	18,55	17,73	12,4
02/09/2002	4:00	17,4	18,23	17,41	12,0
02/09/2002	5:00	17,2	17,92	17,16	12,0
02/09/2002	6:00	16,8	17,6	16,85	11,4
02/09/2002	7:00	17,0	17,33	16,67	11,0
02/09/2002	8:00	18,9	17,72	16,85	12,9
02/09/2002	9:00	21,5	18,7	17,22	14,6
02/09/2002	10:00	24,2	19,97	17,7	16,3
02/09/2002	11:00	25,9	20,99	18,09	17,6
02/09/2002	12:00	26,1	21,56	18,35	18,6
02/09/2002	13:00	25,6	21,68	18,53	19,6
02/09/2002	14:00	25,5	21,8	18,73	20,0
02/09/2002	15:00	25,1	21,89	18,88	20,0
02/09/2002	16:00	24,2	21,71	18,91	19,4
02/09/2002	17:00	22,9	21,38	18,88	19,0
02/09/2002	18:00	20,9	20,72	18,79	18,4
02/09/2002	19:00	19,5	20,17	18,65	16,8
02/09/2002	20:00	18,9	19,75	18,56	14,8
02/09/2002	21:00	18,5	19,51	18,53	14,0
02/09/2002	22:00	18,4	19,37	18,51	14,0
02/09/2002	23:00	18,3	19,18	18,41	14,0

Tabla 23. TAI – Acero Galvanizado Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB

GRÁFICAS

Temperaturas Superficiales *Modelo Base Marzo*

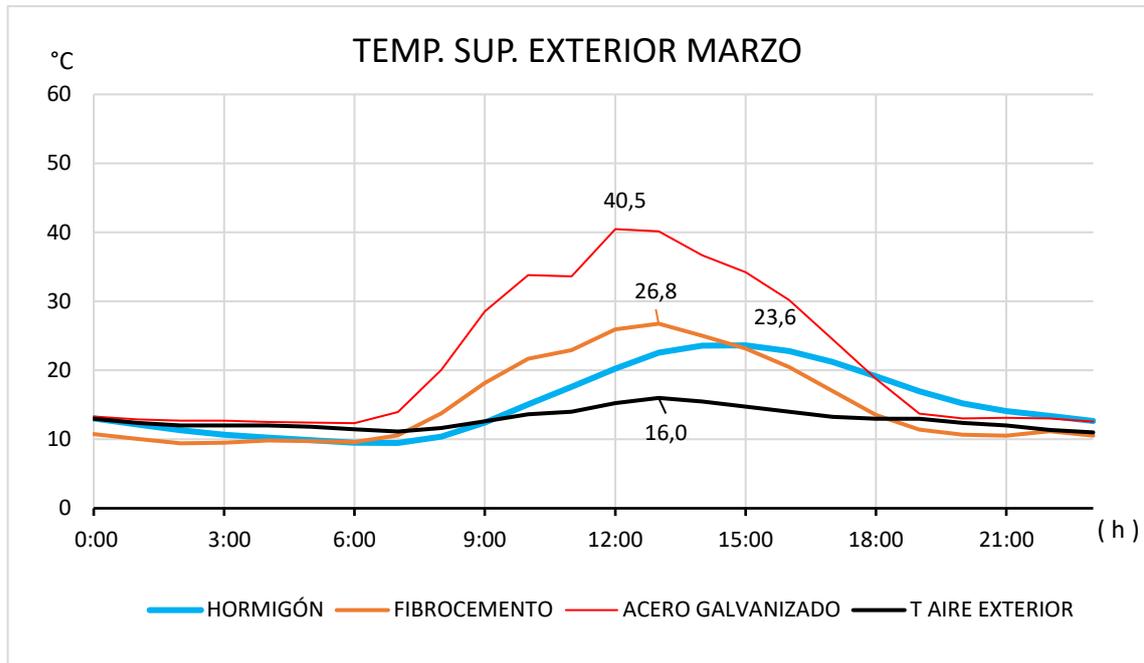


Figura 67. TSE. Módulo base – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

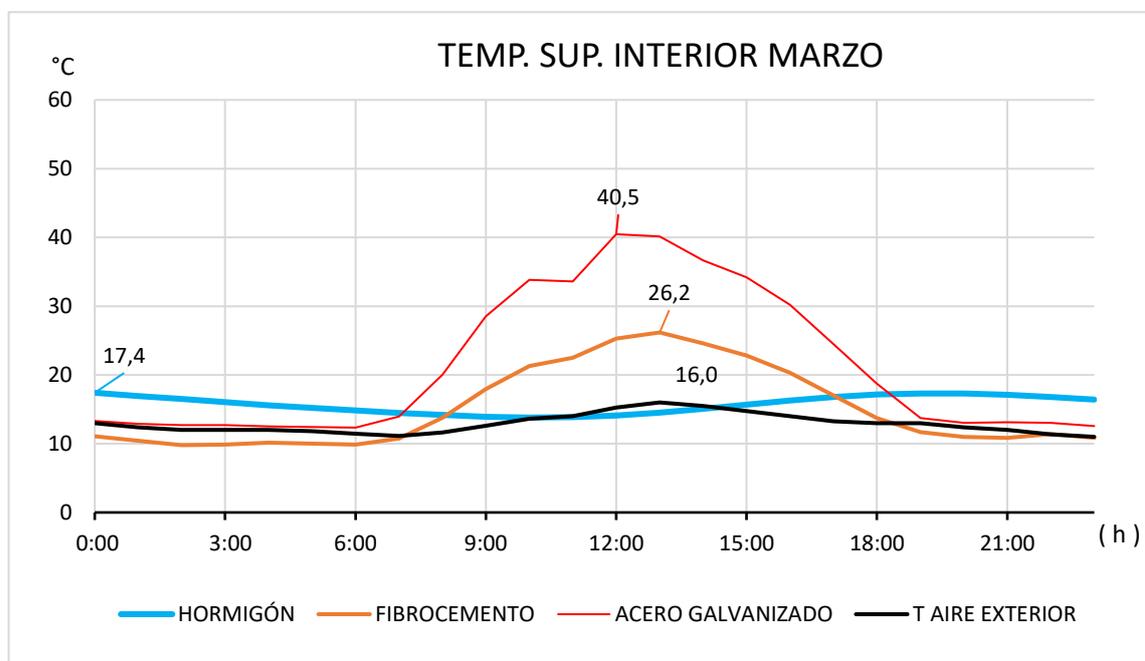


Figura 68. Tsi. Módulo base – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales **Cámara de aire de 5 cm**

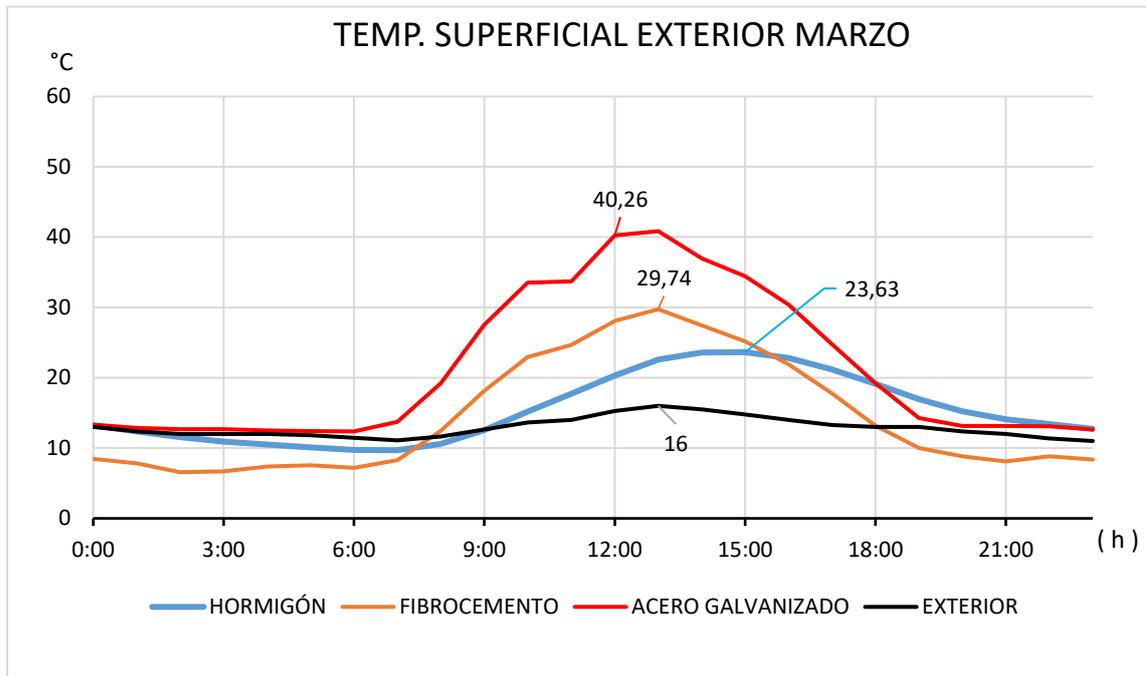


Figura 69. TSE. Módulo base con cámara de aire – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

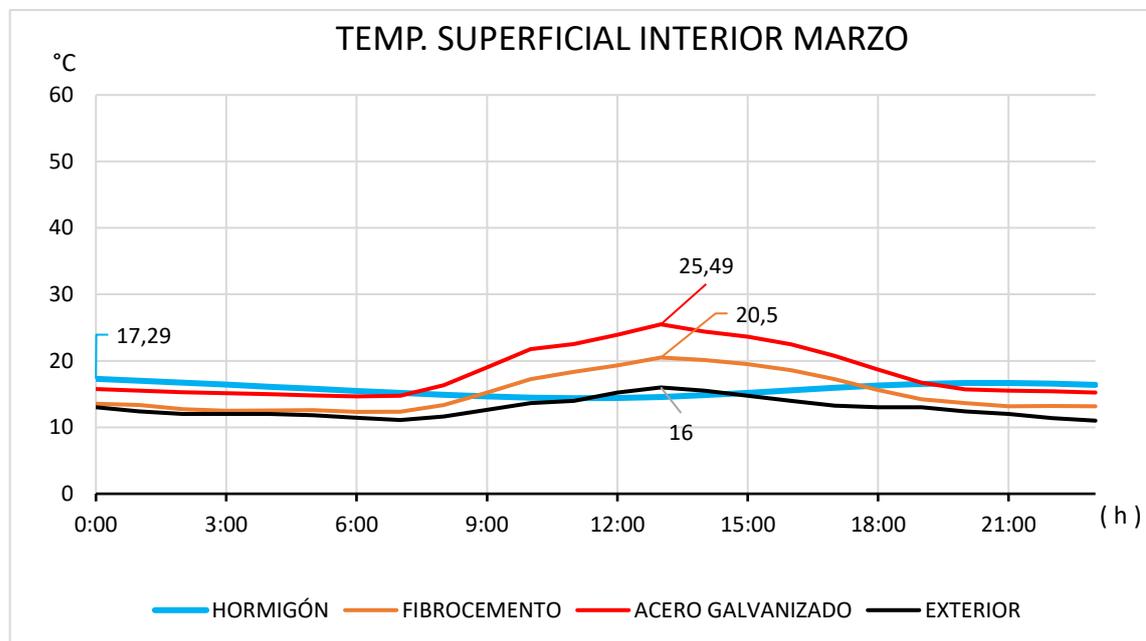
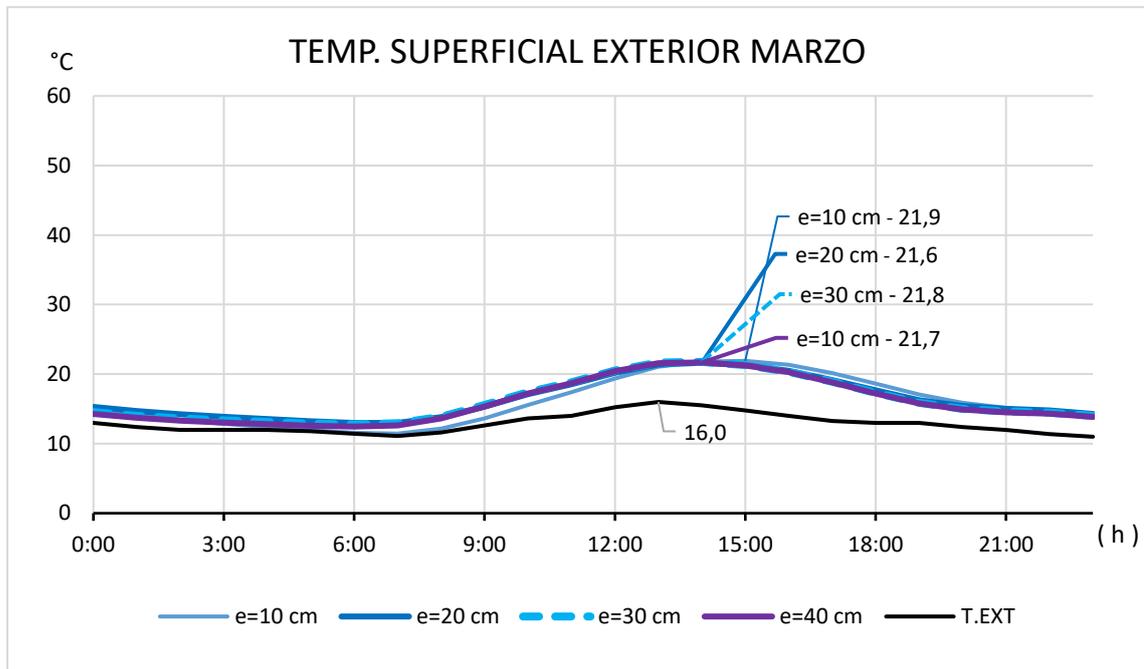
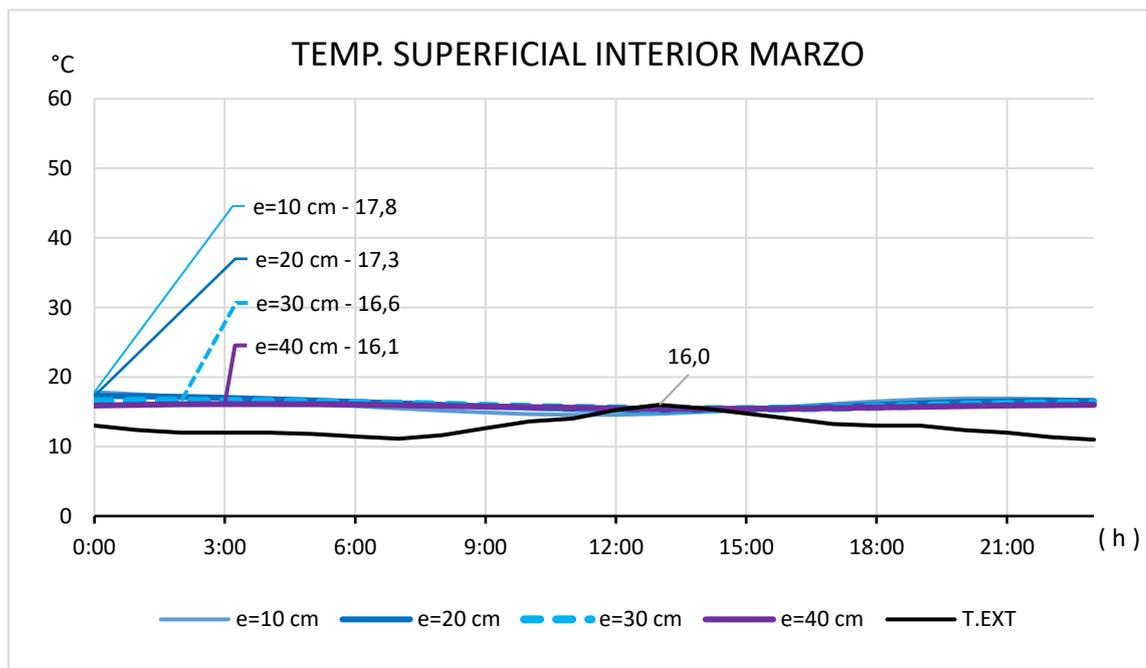


Figura 70. Tsi. Módulo base con cámara de aire – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

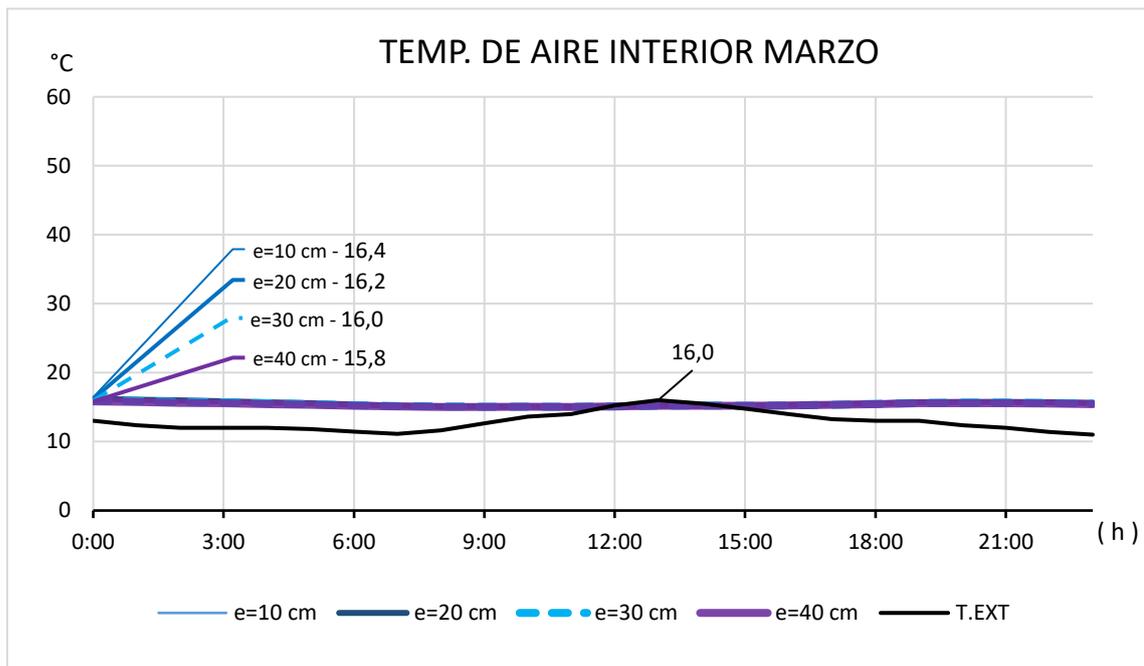
Temperaturas Superficiales y de Aire Interior **Modificación de espesor en hormigón armado.**



- **Figura 71.** TSE. Modificación de espesores – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

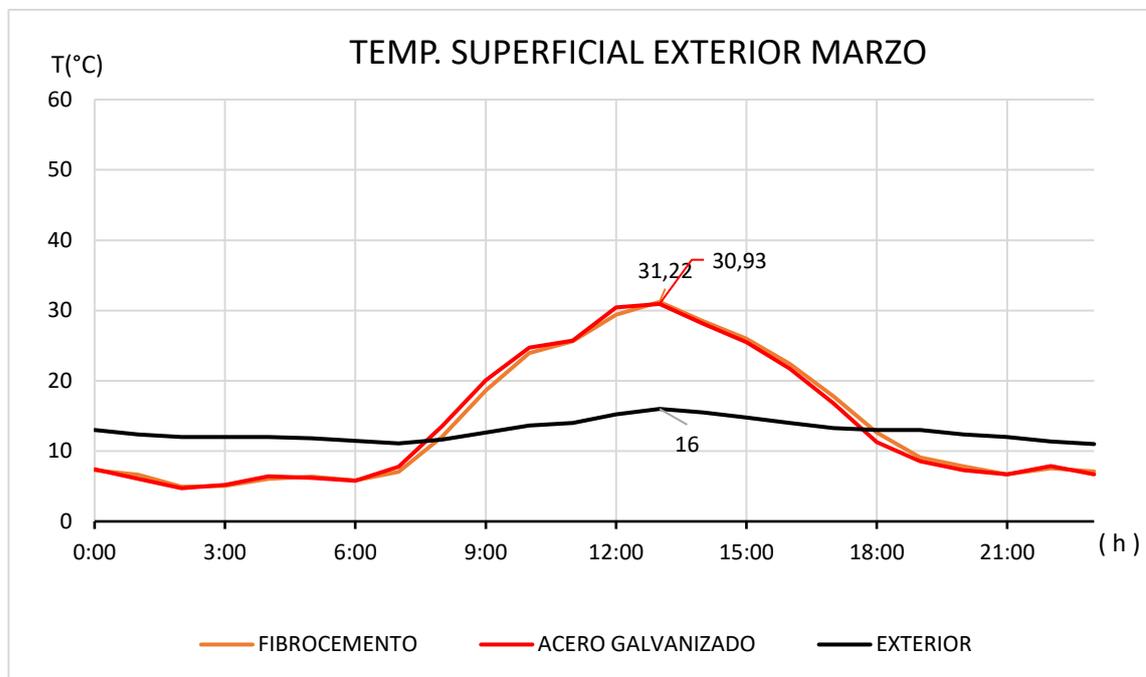


- **Figura 72.** Tsi. Modificación de espesores – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

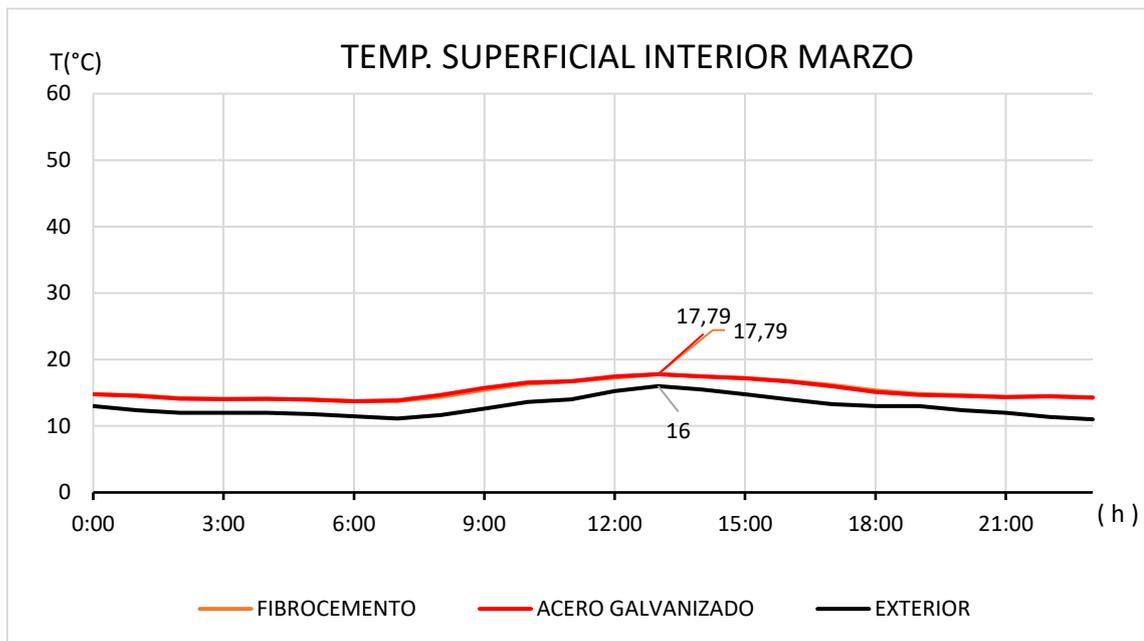


- **Figura 73.** TAI. Modificación de espesores – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales **Modelo base con aislamiento de poliuretano de 2.5 cm**

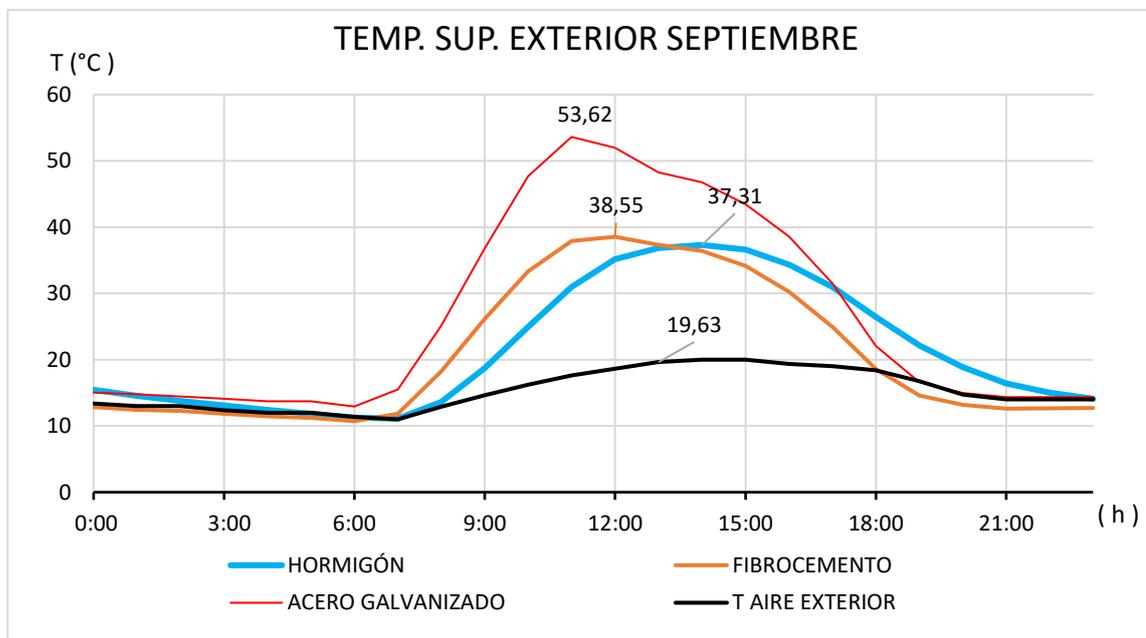


- **Figura 74.** TSE. Modelo base con aislamiento de poliuretano – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

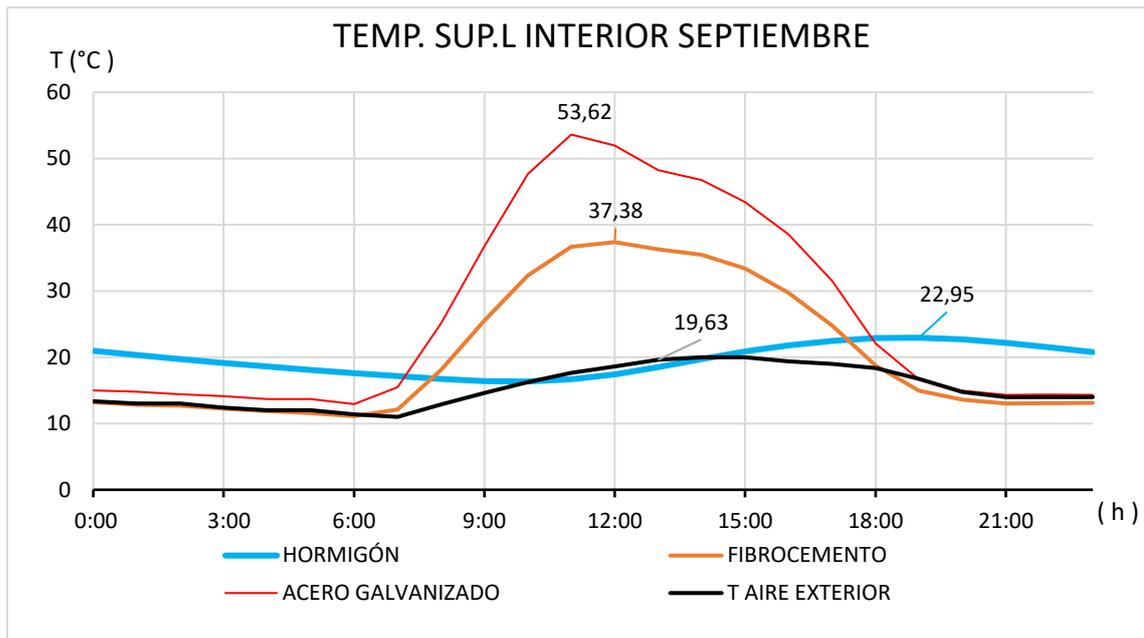


- **Figura 75.** Tsi. Modelo base con aislamiento de poliuretano – Marzo. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales **Modelo Base Septiembre**



- **Figura 76.** TSE. Modelo base – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.



- **Figura 77.** Tsi. Modelo base – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales **Cámara de aire de 5 cm**

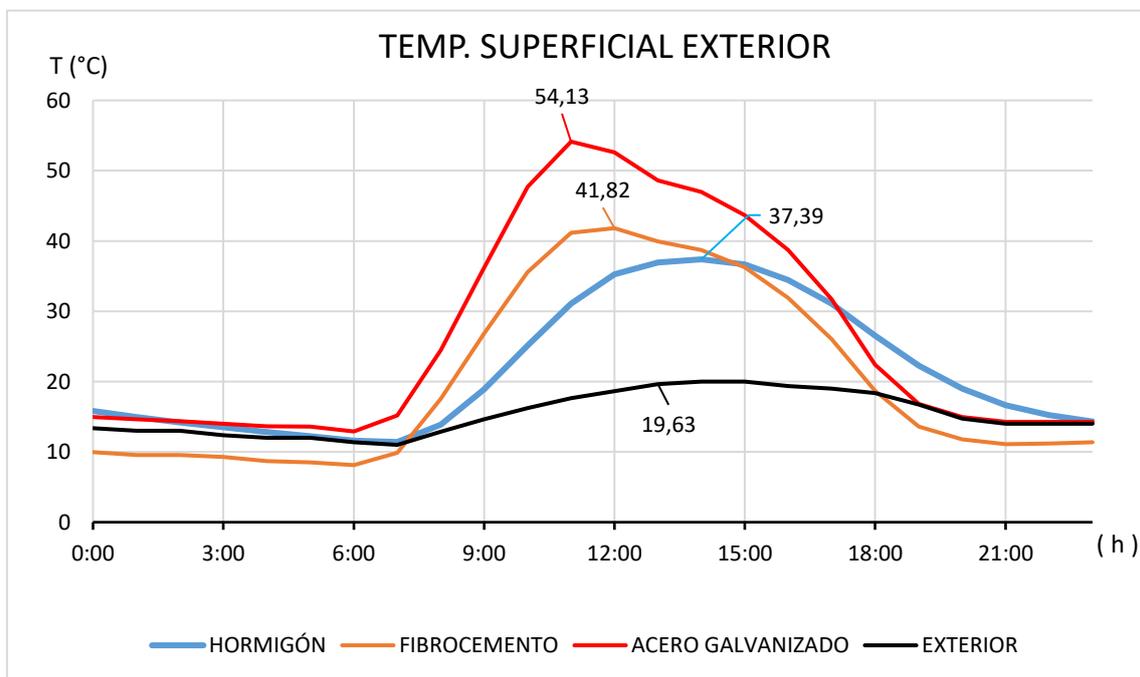


Figura 78. TSE. Modelo base con cámara de aire – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

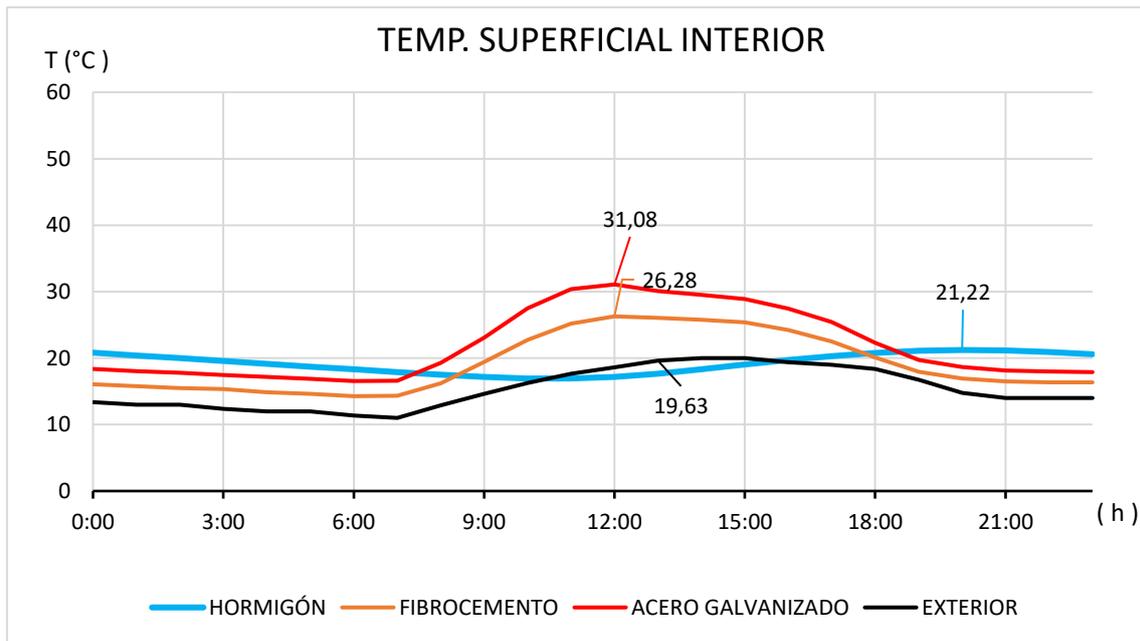


Figura 79. Tsi. Modelo base con cámara de aire – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales y de Aire Interior **Modificación de espesor en hormigón armado.**

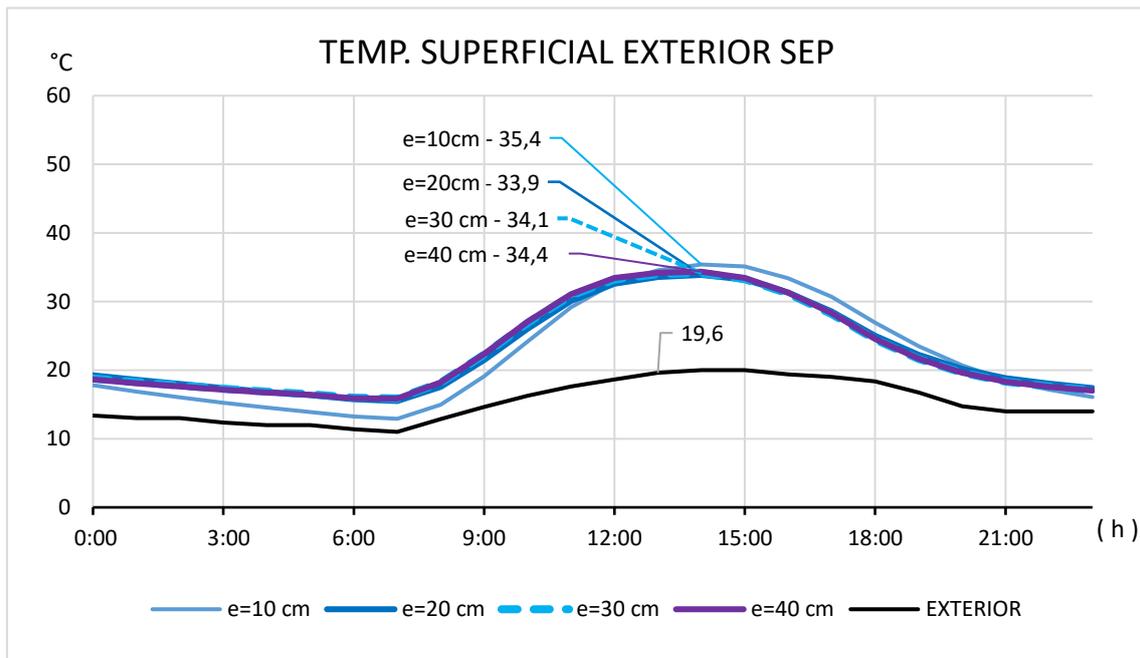


Figura 80. TSE. Modelo base con cámara de aire – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

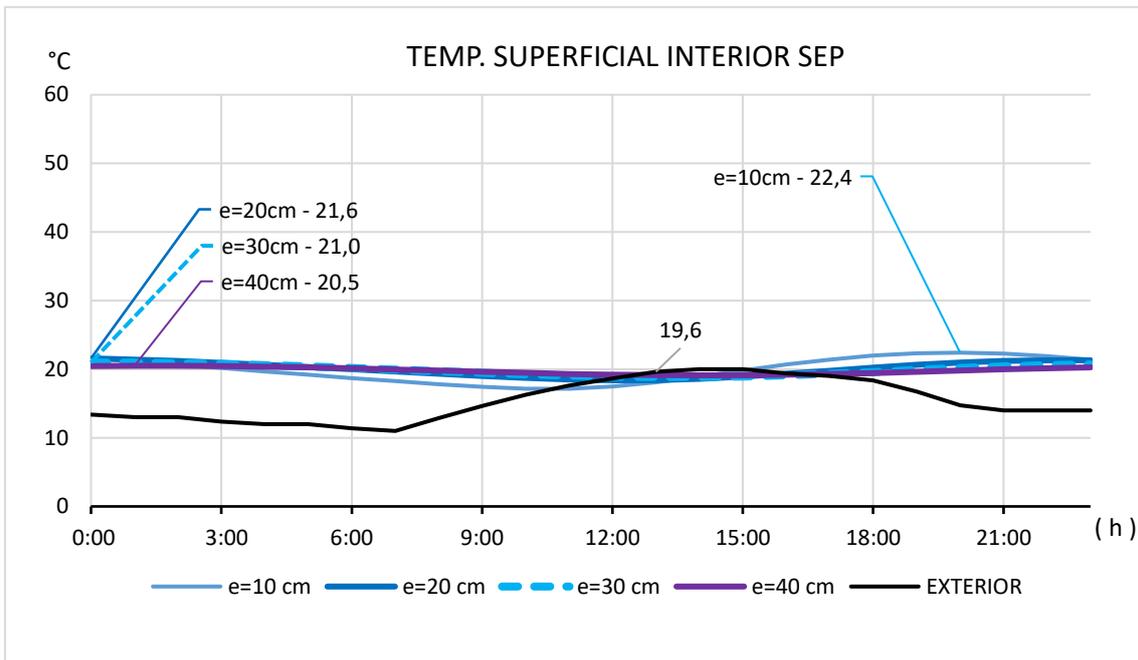


Figura 81. Tsi. Modelo base con cámara de aire – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

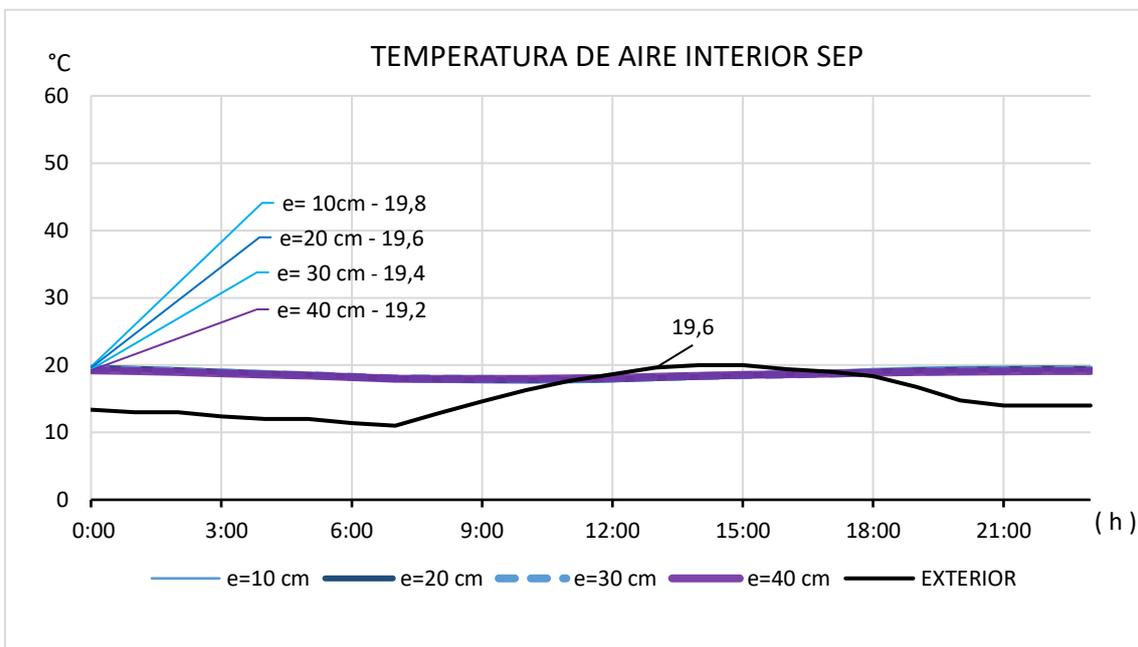


Figura 82. Tai. Modelo base con cámara de aire – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

Temperaturas Superficiales **Modelo base con aislamiento de poliuretano de 2.5 cm**

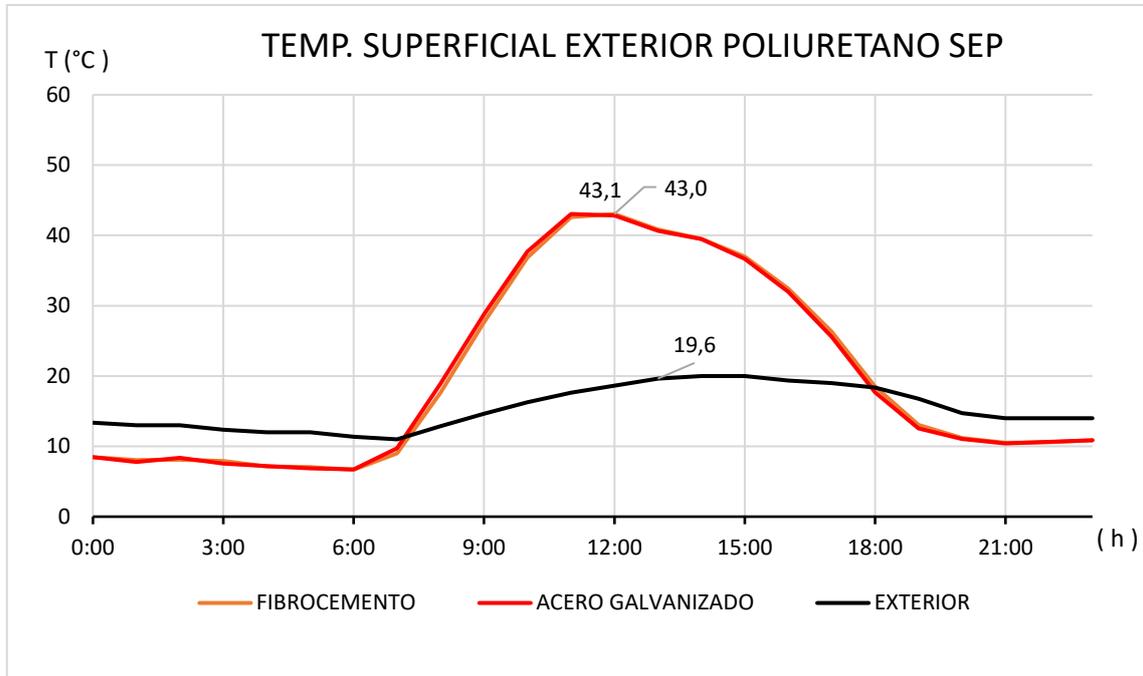


Figura 83. TAI. Modelo base con poliuretano – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.

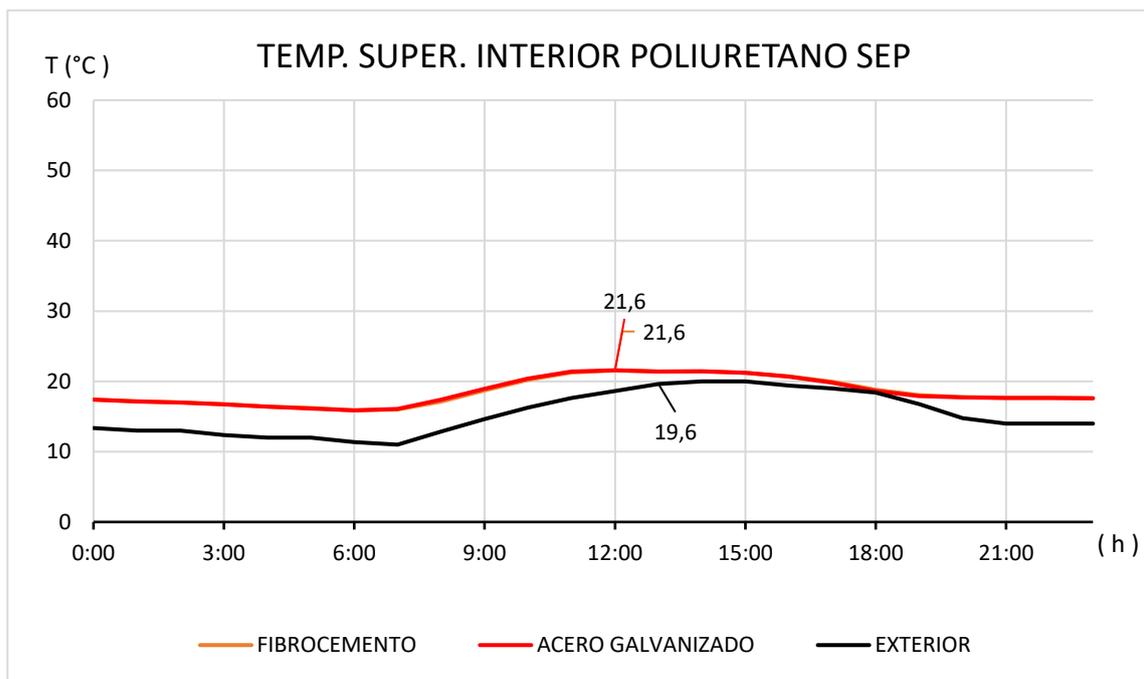


Figura 84. TSI. Modelo base con poliuretano – Septiembre. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de DB.