

**DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE TECHOS CON
BAMBÚ BAJO RADIACIÓN SOLAR**

LICENCIATURA: INGENIERÍA MECÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO TECNOLÓGICO

ALUMNO: VEGA ÁNGELES ANTONIO

MATRÍCULA: 204304856

ASESOR: MANUEL DOMINGO GORDON SÁNCHEZ

TRIMESTRE LECTIVO: 15-I

MÉXICO D. F.

FECHA: 06/04/2015

Declaratoria

Yo, Antonio Vega Ángeles, doy mi autorización a la coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Antonio Vega Ángeles

Declaratoria

Yo, Manuel Domingo Gordon Sánchez, declaro que aprobé el contenido del presente reporte de proyecto de integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Manuel Domingo Gordon Sánchez

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PLA-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: Fecha: PI-A-MEC

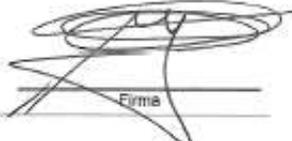
DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Matrícula:
 Correo personal:


 Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa:
 No. económico: Adscripción/Departamento/Sección:
 Área de investigación:
 Correo institucional:


 Firma

COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal:
 No. económica/Teléfono: Adscripción/Puesto:
 Área de investigación/Departamento:
 Correo electrónico:

 Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

Proyecto tecnológico Proyecto de investigación Estancia profesional Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE QUE SE AUTORIZAN

Clave	UEA	Se autoriza UEA	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	Si <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/>	Del trimestre: <input type="text" value="15-1"/>
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	Al trimestre: <input type="text" value="15-2"/>
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	

Nombre y firma del Coordinador de Estudios



 Dr. Hilario Torres Peña


 Universidad Autónoma Metropolitana
 Casita abierta al tiempo Azcapotzalco
 10 NOV 2014
 Coordinación de Estudios
 COORDINACIÓN DE MECÁNICA
 Fecha: Noviembre 2013

DEDICATORIA:

Dedico este proyecto a todas y cada una de las personas que han intervenido en mi vida, apoyando en momentos complicados y siempre con palabras de aliento.

A mis padres quienes con su ejemplo, honradez y perseverancia me apoyaron todo el tiempo.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, y en especial al maestro Manuel Domingo Gordon Sánchez por la oportunidad de compartir este tema conmigo y apoyo incondicional para realizar este proyecto.

A Erika Lizbeth Vázquez Lobera quien es el mejor regalo que la vida me pudo haber dado.

Para ellos es esta dedicatoria, pues es a ellos a quienes se las debo por todo lo que me han brindado.

RESUMEN:

Este reporte contiene los resultados experimentales de las mediciones térmicas realizadas sobre techos contruidos con bambú conjuntamente con techos de adobe y concreto. Se analizan los resultados tendientes a determinar la conductividad térmica del bambú como elemento integral de los techos. Las pruebas de campo tanto de día como de noche, así como tanto en verano como en invierno, incluyen radiación incidente, irradiación desde el techo hacia la intemperie, convección hacia el aire ambiente, conducción de calor a través del espesor de los techos, y almacenamiento de energía o cambio de energía interna dentro de la masa de los techos.

Seleccionando días y momentos de las pruebas se encuentran valores de la conductividad térmica del bambú de alrededor de 0.17 W/m.K . Sin embargo cabe mencionar que también se hicieron pruebas controladas sobre la pared cilíndrica de un tramo de bambú obteniéndose mucho mejores resultados.

También se incluye una revisión bibliográfica sobre el bambú, adobe, balances térmicos sobre techos, y aspectos constructivos de esta tecnología sustentable.

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción -----	1
1.2 Descripción del proyecto -----	2
1.3 Antecedentes -----	3
1.4 Justificación -----	3
1.5 Revisión bibliográfica -----	4

Capítulo 2 EL BAMBÚ Y EL ADOBE COMO ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.1 Bambú como elemento de construcción-----	6
2.2 Adobe como elemento de construcción-----	8

Capítulo 3 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 Fundamentos de confort -----	10
3.2 Características del modelo de habitación -----	11
3.3 Cálculos térmicos para la estimación de confort -----	11
3.4 Cálculos de cargas térmicas -----	13

Capítulo 4 MANUFACTURA DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

4.1 Proceso de manufactura de la habitación modelo -----	21
4.2 Proceso de manufactura de soldador de termopares --	23
4.3 Pruebas de señales de adquisición de datos -----	24
4.4 Pruebas preliminares de operación-ajustes -----	25

Capítulo 5 PRUEBAS TÉRMICAS

5.1 Pruebas de campo -----	26
5.2 Procesamientos de datos -----	26
5.3 Discusión de resultados -----	59
5.4 Determinación de K del bambú como pared cilíndrica –	60

Capítulo 6

6.1 Conclusiones -----	64
6.2 Observaciones -----	64
6.3 Recomendaciones -----	65
Referencias -----	66

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN:

1.1 INTRODUCCIÓN

El hombre ha sido capaz de habitar lugares con climas extremos, construyendo casas con materiales resistentes que pueden protegerlos del frío o del calor e incluso en casos extremos.

En México podemos encontrar temperaturas extremas como en Mexicali donde se llegan a registrar temperaturas de más de 45 °C, o zonas como la comunidad de la Rosita en Guanacevi Durango, que en épocas de frío ha alcanzado -17°C. Como podemos ver en la figura 1



Figura 1 imagen de La Rosita y Mexicali

Es importante saber con qué material construir las viviendas en las zonas muy calientes para tener un ahorro de energía en el aire acondicionado, y en el caso contrario en los lugares fríos ahorrar en la calefacción, los materiales aislantes térmicos es una buena opción para este tipo de problemas.

En este trabajo se hace el estudio térmico de varios techos fabricados con diferentes materiales expuestos en condiciones normales bajo radiación solar y hacer la

comparación para observar cual tiene menor conductividad térmica. Los objetivos de este proyecto son:

Objetivo general:

Determinar la conductividad térmica de un techo con bambú mediante pruebas de campo (Mediciones de radiación solar, viento, humedad, temperatura y lluvia), y comparar con la conductividad de los techos de concreto.

Objetivos Particulares

- Construir tres habitaciones a escala con distintos techos (Concreto con bambú, concreto con lana mineral, y adobe).
- Instrumentar y automatizar las habitaciones para la adquisición de datos.
- Realizar pruebas, procesar los datos y analizar los resultados.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto es una investigación del comportamiento térmico de techos con bambú, haciendo pruebas con habitaciones a escala fabricadas con material aislante, con techos de diferentes materiales.

Las mediciones de las temperaturas serán hechas con termopares tipo K en las superficies exterior e interior de los techos, se utilizaran Datalogers para tomar las temperaturas del aire dentro y fuera de las habitaciones, y se tomará en cuenta la radiación solar.

El objetivo de este trabajo es medir el confort térmico que brindan las habitaciones hechas con techos de bambú y compararlas con los techos fabricados con materiales convencionales.

1.3 ANTECEDENTES

Sobre este tema de conducción de calor a través de techos con bambú, hay poca referencia específica. La primera búsqueda de información realizada fue sobre conductividad térmica del bambú; también se revisó sobre confort térmico bajo techos con bambú.

La información sobre la conductividad térmica k del bambú, y según la arquitecta Giovanna Bárbaro en su reporte "Transformación e Industrialización del Bambú", es de $0.12\text{W/m}^{\circ}\text{C}$. Y por otra parte la k del concreto es de $1.1\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, este dato fue extraído del apéndice A-5 del libro de transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel.

Conocemos la conductividad del concreto y del bambú por separado, pero en este proyecto se realizará el estudio térmico para conocer la conductividad térmica de estos dos materiales juntos en un nuevo arreglo geométrico, y esto nos permitirá analizar qué confort brindaría utilizándolo en techos para casa habitación en zonas muy calurosas o muy frías como por ejemplo: localidades en el desierto de Sonora, Chihuahua, Mexicali, zonas altas del estado de México, ciudades cerca de las costas, entre otras.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Como se mencionó en los puntos anteriores, en la literatura revisada no se encuentra la conductividad térmica efectiva del conjunto bambú-concreto (losa). Por otra parte para la estimación del flujo de calor que entra por conducción por el techo en una habitación se requiere de conocer el valor de su conductividad.

1.5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Jörg Stamm (2008) en su estudio “La Evolución de los Métodos constructivos con Bambú” narra como el hombre ha utilizado este material para la construcción de sus casas, y conforme el paso del tiempo ha desarrollado nuevas técnicas para armar estructuras cada vez más grandes y resistentes hechas en su totalidad con bambú.

Madel (2010) en apuntes de empresa Madel “cálculo de cargas térmicas” es un manual donde nos menciona todas las variables que se tienen que tomar en cuenta para hacer un cálculo adecuado de las cargas térmicas.

Emilio Castejón Villeda (1983) en su estudio “Confort Térmico” podemos encontrar las variables que se toman en cuenta para obtener una situación de confort dentro de lugares cerrados.

Yunus A. Cengel (2012) libro “Transferencia de Calor y masa” explica de manera adecuada todos los fenómenos de transferencia de calor por conducción, convección, y radiación, en coordenadas cartesianas cilíndricas y esféricas.

Giovanna Bárbaro (2007) en su tesis “Transformación e industrialización del bambú” no dice las ventajas que se pueden obtener al usar este material para construcción, fabricación de muebles y otro tipo de utensilios, también nos muestra sus propiedades mecánicas.

Duffie, J. A (1980) en el libro “Solar Engineering of Thermal Processes” podemos ver el procedimiento de como medir la energía solar.

Diego de La Peña Estrada (1995) en su tesis “Adobe, Características y sus principales usos en la construcción”, del Instituto Tecnológico de la Construcción, investigó las características Técnicas del Adobe, así como los tipos y métodos de fabricación del mismo, su confort térmico, acústica, estabilidad, permeabilidad, entre otros.

PLASTICOOL, empresa que se dedica a fabricar aislante térmico e impermeabilizante, proporciona la ficha técnica de sus productos, donde vienen las propiedades, usos, almacenamiento, datos técnicos, entre otros.

De la ficha técnica de AUCOMEX obtuvimos las especificaciones de sus productos, así como las recomendaciones de aplicación y los beneficios.

ELASTON en el dictamen de idoneidad técnica (2013) no proporciona los datos técnicos aplicaciones y mantenimiento, del producto recubrimiento térmico e impermeabilizante blanco.

CAPÍTULO 2

EL BAMBÚ Y EL ADOBE COMO ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.1 BAMBÚ COMO ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

A lo largo de la historia, el ser humano ha ocupado una gran cantidad de materiales para la construcción, como los extraídos de minas, arenas, grabas, canteras, metales, entre otros, también se ha construido con materiales biodegradables como maderas, palmas, y bambú.

En esta sección hablaremos de bambú como y como ha sido utilizado como material de construcción y sus características físicas y mecánicas, así como su significado cultural.

En la cultura este material tiene una imagen negativa, ligada a ideas como artesanía oriental, productos decorativos de caña o construcciones elementales y burdas. Paradójicamente en la cultura oriental el bambú tienen una imagen muy distinta: es sinónimo de riqueza ya que se obtiene de él alimento, vivienda, herramientas, armas etc.

Los japoneses tienen registradas más de 1500 formas de utilización y los chinos 4000. Los chinos fueron también los primeros en utilizarlos en la fabricación de papel y en la India se emplea actualmente en la fabricación de telas de rayón (ceda artificial).

Los bambúes son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crece en regiones tropicales y templadas de Asia y América. Tienen un sistema de raíces bien desarrollado y con tallos casi siempre lignificados y fuertes.

En el mundo existe un total de 89 géneros y 1035 especies y de estos en América hay 45 géneros y 515 especies, y crece aproximadamente 21 cm por día, sin olvidar sus propiedades mecánicas.

Al igual que la madera, sus propiedades varían con la edad: los maduros (alrededor de tres años) tienen la máxima resistencia, desde el punto de vista mecánico el bambú se puede comparar favorablemente con el hormigón, el acero y la madera (Es dos veces más rígida que esta): requiere el 57 % de su masa cuando es usado como viga y el 40% cuando es usado como columna.

Es tan eficiente estructuralmente como el acero y puede acumular tanta energía de tensión como la madera, su resistencia a la flexión relativa es superior a la madera y al acero aunque su mejor propiedad mecánica es la tracción paralela a la fibra (200-300 MPa).

Según Giovanna Bárbaro el bambú presenta las siguientes propiedades físicas, las cuales podemos ver en la tabla 1:

Conductividad Térmica	0.12 W/m°C
Resistencia a la tracción	Fibras externas: 3.068 a 3.273 kg/cm ² Fibras internas: 1.484 a 1.633 kg/cm ² Sección bruta: 1.627 a 2.151 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	200 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	Paralelo a las fibras: 636 kg/cm ² Perpendicular a las fibras: 863 kg/cm ²

Tabla 1. Propiedades mecánicas del bambú.

Utilizar el bambú en la construcción, es una alternativa bastante interesante debido a las propiedades de este material, también podrían reducirse los costos de construcción, por el motivo de que es una planta que crece muy rápido, y además es un material que ayuda a la sustentabilidad.

2.2 ADOBE COMO ELEMENTO DE CONSTRUCCIÓN

La tradición de construcción con tierra está profundamente arraigada en nuestro país desde la época prehispánica y en la actualidad lo podemos constatar observando nuestro valioso patrimonio cultural.

Durante la colonia y comienzos de nuestra vida republicana. La construcción con adobe constituyo el principal sistema constructivo de palacios, solares y viviendas populares, que todavía funcionan como tales, desafiando a los rigores del tiempo.

Una propiedad muy muy útil de este material es su funcionamiento como aislante térmico, que por la diversidad de materiales de los cuales se construyen los adobes causan que las propiedades sean muy variadas, ya que suelos diferentes originan materiales diferentes.

La tierra no tiene tan buenas propiedades de aislamiento como legendaria mente se le viene atribuyendo; en realidad, su capacidad de aislamiento está muy por debajo de otros materiales utilizados en la actualidad. La capacidad de aislamiento de los muros de tierra se debe en su mayor grado al espesor con que estos se construyen que a la conductividad del material, no obstante la conductividad térmica de algunos elementos de tierra combinada con otros materiales, como es el caso del adobe (con fibras vegetales) puede ser dos o tres veces menos que a la de otros elementos de albañilería.

Los datos técnicos del adobe varían un poco según su composición y los podemos ver en la tabla 2.

Densidad	1500-1700 kg/m ³
Resistencia a la compresión	0.8 – 2 MPa
Resistencia al fuego	Excelente
Conductividad térmica	0.45 – 0.8 W/m.k (cuatro veces más aislante que el ladrillo)

Tabla 2. Propiedades térmicas del adobe

Como podemos ver, es un material que sirve bastante para controlar las temperaturas dentro de los hogares por las cualidades que tiene, y así brindar un mejor confort térmico.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

3.1 FUNDAMENTOS DE CONFORT

El confort es el estado físico de bienestar percibido por los usuarios, generado por el ambiente interior del edificio según la norma mexicana NMX-AA.164-SCFI-2013, para la edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos.

El confort en casas habitación con techos de bambú, depende de la conductividad térmica de este material y del arreglo estructural y geométrico que tengan estos techos, es decir, del entramado bambú-concreto.

Todos los techos por lo general están expuestos a la radiación del sol, esto provoca que se presente transferencia de calor por: conducción convección y radiación, en la superficie de la losa expuesta y depende de la conductividad térmica del material el calor que se transfiere hacia adentro de la habitación, entre mayor sea el valor de la conductividad térmica mayor será la temperatura de la misma.

La temperatura óptima para las habitaciones está en un rango desde 17 a 27 °C. Según los documentos de ergonomía basados en la NOM-080-STPS-1993 que aunque es para medios laborables, es la que más se acerca las condiciones adecuadas para el cuerpo humano.

Ahora bien, según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, por sus siglas en inglés), el nivel correcto de humedad interior está en el rango del 30 al 50 por ciento. La humedad en el interior de una casa debe ajustarse correctamente de manera que se mantenga dentro de estos niveles porcentuales.

Las habitaciones para vivienda por lo general tienen puertas y ventanas, así que es fácil controlar la temperatura del ambiente interior en lugares cálidos como la ciudad de México, el problema es en lugares muy calurosos o muy fríos donde se necesita de aparatos eléctricos para controlar la temperatura.

Los modelos de habitación que se utilizaron en este proyecto, estuvieron expuestos al medio ambiente, con todas las inclemencias del clima, y sus características se mencionarán en la siguiente sección.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE HABITACIÓN

Para realizar pruebas de campo con las losas de bambú-concreto, primero se ensamblarán cubos que simulan a escala habitaciones cuyas paredes estarán aisladas para resaltar la transferencia de calor por el techo; se instrumentarán con termopares de superficie para tener la temperatura del exterior e interior de la losa en todo momento.

Se obtendrán promedio de 3 termopares en la superficie exterior y otros tres termopares en la superficie interior. También se obtendrá la temperatura del aire exterior (a la sombra) y del aire interior de los cubos. Se medirá la radiación solar cada día que duren las pruebas. Se pretende correr pruebas hasta de tres meses continuos. Cabe señalar que todas las mediciones se harán cada cinco minutos de manera automática.

En el caso de las temperaturas del aire exterior e interior, estas se adquirirán con “data loggers” (sensores con almacenamiento de datos integrado en una unidad tipo pluma). Cuando el almacén se llena, se descargan los datos a una computadora por el puerto USB y se vuelve a instalar en el equipo experimental.

3.3 CÁLCULOS TÉRMICOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONFORT

Las condiciones de confort de las personas dependen de varios factores, pero principalmente de la temperatura, la humedad, y la velocidad del aire.

Tenemos que comprender que las personas somos mamíferos con temperatura corporal constante en 36.5 °C. Para mantener esta temperatura independientemente del exterior, el cuerpo utiliza dos mecanismos.

- Para aumentar la temperatura quema de grasas.
- Para hacer descender la temperatura evapora sudor

El sudor en la piel se evapora facilitado por el movimiento del aire, y al pasar del líquido a vapor absorbe 540 kcal/kg, que enfrían la piel.

Las condiciones pueden variar también de acuerdo con el nivel de actividad física de los ocupantes, a mayor actividad menor temperatura. También la humedad aumenta la sensación de calor como podemos observar en la figura 2.

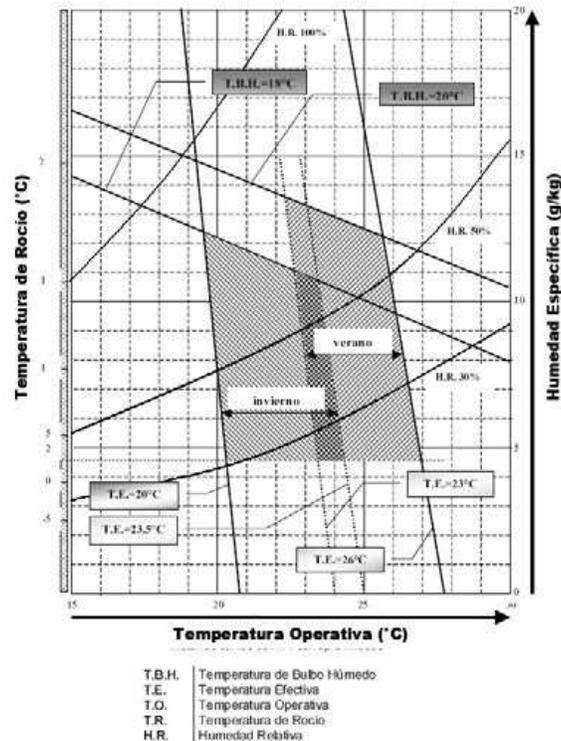


Figura 2. Gráfica de zona de confort térmico

Para fijar las condiciones interiores de confort debemos fijar temperatura y humedad que nos indican las normas de acuerdo al uso local.

En resumen el confort térmico es de gran importancia para un entorno social, porque dependiendo la actividad que realice la persona dentro de algún espacio cerrado determinado, será la temperatura que hará sentir una sensación confortable.

Las variables que se toman en cuenta para el confort térmico son:

- a. Características del vestido.

- b. Características del tipo de actividad: carga térmica metabólica y velocidad del aire.
- c. Características del ambiente: Temperatura seca, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad, punto de rocío.

La importancia del confort es que con un buen estudio de cargas térmicas y tomando en cuenta las variables mencionadas en el párrafo anterior se puede construir casas diseñadas para tener un confort térmico en lugares calurosos o muy fríos. En la siguiente sección hablaremos del cálculo de cargas térmicas.

3.4 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Si una habitación no dispone de climatización, su temperatura se adaptará a la del ambiente, si hace frío estará helado, y cuando haga calor será caluroso.

La carga térmica es el calor debido a la radiación solar sobre el techo, paredes y ventanas, o por el calor desprendido por sus ocupantes, o equipos electrónicos en funcionamiento.

Para tener una habitación climatizada hay que calcular la demanda térmica, y debemos de tomar en cuenta al menos tres datos necesarios:

1. Temperatura interior.
2. Temperatura exterior.
3. Condiciones de las paredes y techos

Para hacer un cálculo correcto de cargas térmicas también hay que tomar en cuenta factores como:

- Localización: sabemos que cada provincia tienen temperaturas diferentes.
- Características de las habitaciones: Dimensiones, ventanas, puertas, material de construcción, iluminación, aparatos eléctricos, entre otro.
- Ocupación: El número de personas que puede haber dentro de la habitación.
- Uso de la habitación: las actividades que se realizaran dentro de la habitación.

En este proyecto se hará el estudio en cubos que simulan habitaciones a escala pero con techos de diferentes materiales como: concreto, concreto con lana mineral, y adobe. Las paredes y el piso serán aislados. El balance de energía está enfocado en el techo de las habitaciones.

Las mediciones que se adquirieron con módulos ADAM 18-M y Data loggers como fue mencionado en el capítulo 1 se introducirán en una ecuación de balance de energía hecha sobre la losa, mostrada en la figura 3:

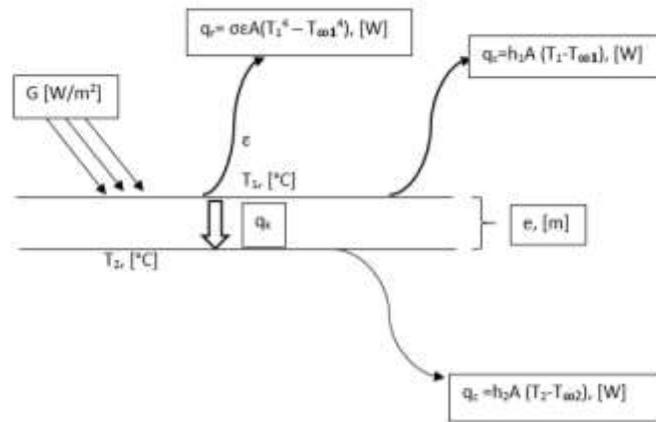


Figura 3, balance de energía sobre un techo expuesto a la radiación solar

Para resolver este problema se toman en cuenta las siguientes suposiciones:

1. Existen condiciones estacionarias de operación.
2. El aire es un gas ideal.
3. La presión atmosférica local es de una atmosfera

$$GA\alpha = q_k + q_r + q_c + \frac{\Delta EI}{\Delta t} \quad ec. (1)$$

$$q_k = k \left(\frac{A}{e} \right) (T_1 - T_2) \quad ec. (2)$$

$$q_r = \sigma \epsilon A (T_1^4 - T_c^4) \quad ec. (3)$$

$$q_c = hA(T_2 - T_{\infty 2}) \quad ec. (4)$$

Donde:

G = Radiación solar [W/m^2]

A = Área de la losa [m^2]

α = Absortancia solar de la superficie exterior de la losa.

q_k = Flujo de calor por conducción [W]

k = conductividad térmica de la losa (objetivo del proyecto), [$W/(m^\circ C)$]

e = espesor de la losa, [m]

T_1, T_2 = Temperaturas de la superficie exterior e interior, respectivamente [$^\circ C$]

q_r = Flujo de calor por radiación que emite la superficie exterior hacia los alrededores, [W]

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ [W/m^2K^4] = constante de Stefan Boltzmann.

ε = emisividad de la superficie exterior.

$T_{\infty 1}$ = temperatura del aire exterior [K]

q_c = Flujo de calor convectivo que se lleva el aire exterior.

h = Coeficiente convectivo exterior por viento, [$W/m^2^\circ C$]

$(\Delta EI)/(\Delta t)$ = Cambio con el tiempo de energía interna dentro de la losa, [W]

$(\Delta EI)/(\Delta t) = MC_v (\Delta T/\Delta t) = \rho V_o C_v (\Delta T/\Delta t)$

M = masa de la losa [kg]

ρ = densidad promedio de la losa, [W]

V_o = Volumen en la losa = $e \cdot A$ [m^3]

C_v = calor específico a volumen constante de la losa, [J/kg°C]

La ecuación 1 es el balance global de energía que actúa sobre la losa el cual nos sirve para verificar si se encuentra en estado transitorio o estacionario, con las ecuaciones 2, 3 y 4 calculamos la tasa de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Por otra parte, si hacemos el balance de energía en la superficie 1 que podemos ver en la figura 4, y notamos que se tomó en cuenta el espesor del triplay debido al modelo de la habitaciones.

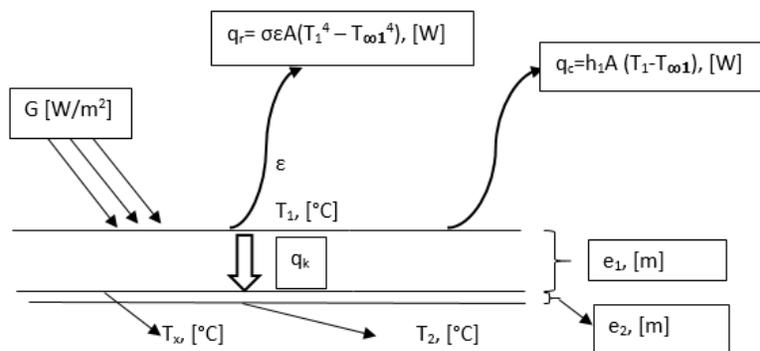


Figura 4 sobre el balance de energía sobre la superficie

Despejando q_k y quitando el área de todos los términos

$$q_k'' = G\alpha - q_r'' - q_c'' \quad ec(6)$$

Donde:

k_1 = conductividad térmica del material de la losa.

k_m = conductividad térmica del triplay.

$$T_c = T_\infty - 12$$

Con la ecuación 6 calculamos el calor que pasa por conducción por la losa y el triplay, hacia dentro de la habitación, por el método de resistencias térmica de una placa plana en serie es:

$$R_{eq} = \frac{e_1}{k_1 A} + \frac{e_m}{K_m A} \quad ec(7)$$

También se sabe que la tasa de transferencia de calor q_k , la diferencia global de temperaturas entre la resistencia equivalente del circuito térmico

$$q_k = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_m}{K_m}} \quad ec(8)$$

Despejando la k_1 nos queda como resultado:

$$k_1 = \frac{e_1}{\left[\frac{(T_1 - T_2)}{G\alpha - q_r - q_c} - \frac{e_2}{k_m} \right]} \quad ec(9)$$

Por otra parte, como podemos ver en la ecuación 4 aparece el término coeficiente convectivo tanto en la superficie exterior como en la superficie interior, este término se tiene que calcular ya que depende de la posición del cuerpo que transfiere calor al ambiente, adelante se hará una breve explicación.

Cuando ponemos un huevo cocido caliente sobre una mesa expuesto a la intemperie comienza a transferir calor por convección natural, el aire que está a los alrededores de este está a mayor temperatura que el ambiente, el calor de huevo se transfiere primero por conducción al aire que lo rodea, al calentarse el aire disminuye su densidad sube, y el espacio que ocupaba es llenado por aire frío, se vuelve a repetir este fenómeno hasta que el huevo esté en equilibrio y ya no se transfiera calor.

Para saber el valor que tiene el coeficiente convectivo necesitamos el número de Grashof.

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad ec. (10)$$

En donde:

g = aceleración gravitacional, m/s^2

β = coeficiente de expansión volumétrica, $1/K$ ($\beta=1/T$ para los gases ideales)

T_s =temperatura de la superficie, $^{\circ}C$

T_{∞} = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^{\circ}C$

L_c = Longitud característica de la configuración geométrica, m

ν = viscosidad cinemática, m^2/s

El número de Grashof es adimensional y representa la razón entre la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa que actúa sobre el fluido, rige el régimen de flujo en convección natural.

También ocuparemos el Nu (Número de Nusselt)

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n \quad ec. (11)$$

En donde Ra_L es el número de Rayleigh el cual es el producto de los números de Grashof y Prandtl

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_c^3}{\nu^2} Pr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_c^3}{\nu \alpha} \quad ec. (12)$$

Los valores C y n dependen de la configuración geométrica de la superficie y todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película.

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s - T_{\infty})$$

En la tabla 1 se muestra las correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies planas, verticales, horizontales y con un grado de inclinación.

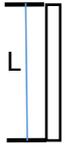
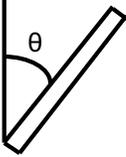
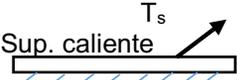
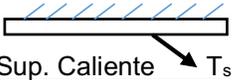
Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Palca vertical 	L	10^4-10^9 $10^{10}-10^{13}$ Para todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ ec(13) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ ec(14) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{1/6} \right]^{1/4}} \right\}^2$ ec(15)
Placa inclinada 	L		Utilice la ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de la placa fría y la superficie inferior de la placa caliente Remplace g por g cos de θ para $0 < \theta < 60^\circ$
Palcas horizontales (Área superficial A y perímetro p) 1. Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría) 	A_s/p	10^4-10^9 10^7-10^{11}	$Nu = 0.54Ra_L^{1/4}$ ec(16) $Nu = 0.15Ra_L^{1/3}$ ec(17)
2. Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 		10^5-10^{11}	$Nu = 0.27Ra_L^{1/4}$ ec(18)

Tabla 1 Nusselt para diferentes superficies planas

Para saber la emisividad del concreto, se buscó información sobre la emisividad de las superficies y la podemos ver en la tabla 2.

Material	Temperatura K	Emisividad ϵ
Concreto	300	0.88-0.94
Impermeabilizante PLASTICOOL blanco	300	0.8
Pintura de aluminio	300	0.4-0.5
Pintura negra, laca, lustrosa	300	0.88
De aceite todos los colores	300	0.92-0.96
Acrílica blanca	300	0.9
Esmalte blanco	300	0.9
EUCOMEX	300	0.89
ELASTON	300	0.9

Tabla 2 emisividad de superficies.

En el siguiente capítulo hablaremos de la fabricación, equipamiento de las habitaciones que se utilizaron para hacer las mediciones térmicas.

CAPÍTULO 4

MANUFACTURA DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

4.1 PROCESO DE LA MANUFACTURA DE LA HABITACIÓN MODELO

Se arman tres cubos con techos de diferentes materiales, semejando habitaciones a escala, el piso y las paredes son hechas con placas de unicel de un espesor de 20 cm.

El piso es un cuadrado de 1.15 x 1.15 m.

Las paredes son de 0.95 x 1 m

La estructura de cada cubo es hecha con bambú, cada pieza de está unida a otra con ganchos y espárragos que hacen presión apretando tuercas con rondana.

El techo de la habitación número 1 está hecha con concreto común, sobre un triplay de 1.24 x 1.24 m.

La losa es un cuadro de concreto de 1.22 x 1.22 m con un espesor de 0.05 m

El techo de la habitación 2 tiene las mismas características que la de la habitación 1, pero tendrá un aislante de lana mineral con un espesor de 0.035 m.

El techo de la habitación 3 es un triplay cuadrado de 1.24 x 1.24 m. con un espesor de 0.02 m. sobre el cual se coloca adobe con un espesor de 0.08 m.

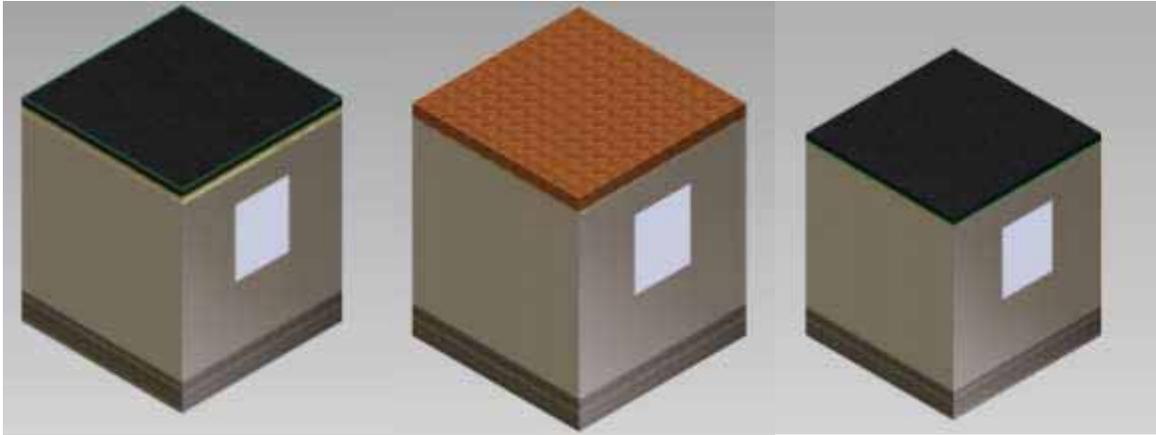


Figura 5 modelo en 3 D de habitaciones

El material que se ocupó para hacer las habitaciones es, bambú, unicel del 20 cm de espesor, triplay, cemento, grava, arena, malla y adobe como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Material utilizado para la fabricación de habitaciones.

La instalación se realizó en solárium que se encuentra en la azotea del edificio O de la unidad Azcapotzalco de la UAM. En la figura 7 veremos imágenes del ensamble de las habitaciones, el cual fue un trabajo en equipo entre varios compañeros de ingeniería.



Figura 7. Imágenes de la instalacion de las habitaciones

Una vez ya armadas las habitaciones se procedió a equiparlas con los termopares, y para los cuales se necesitó un soldador del cual se habla en la siguiente sección.

4.2 PROCESO DE LA MANUFACTURA DEL SOLDADOR DE TERMOPARES

Para instrumentar las habitaciones, utilizamos 6 termopares por cada una, es decir 18 termopares en tipo K, los 6 termopares de cada losa son conectados a un módulo ADAM 18-M que para la adquisición de datos serán controlados por un software ADAM-4000.

También se necesitan 6 termopares para hacer el cálculo de la conductividad térmica del bambú como pared cilíndrica.

En total se necesita soldar 24 termopares, esto nos presentó un problema debido a que no había acceso a un soldador de termopares. Se fabricó uno en el laboratorio de energía solar de la Universidad Autónoma Metropolitana, que funciona por medio de cerrar un circuito eléctrico y produciendo una chispa con carbón, colocando una pastilla para evitar un corto circuito, tal como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Soldador de termopares

A pesar que el soldador de termopares no es muy sofisticado, fue muy útil para soldar todos los termopares que se necesitaron en este trabajo, el carbón utilizado está sujetado a una tira hecha de loseta cerámica y conectada a la corriente, la conexión de termopares y pastilla de encendido, como podemos ver en la figura 9.



Figura 9. Carbón del soldador de termopares y el conector de termopares.

4.3 PRUEBAS DE SEÑALES DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Después de construir e instrumentar las habitaciones, se obtuvieron los primeros datos, para verificar que no falle el software, los módulos, piranómetro, entre otros.

Una vez ya obteniendo los primeros datos de la primer semana se verifica que sean razonables, nos dimos cuenta que el pirómetro mandaba datos muy elevados de la radiación, así que se tuvo que detener el experimento arreglar el problema.

4.4 PRUEBAS PRELIMINARES DE OPERACIÓN-AJUSTES

Después de hacer los últimos ajustes en el equipo, verificando que todos los módulos estén funcionando correctamente, se hicieron las primeras pruebas.

Para eliminar la pérdida de calor dentro de las habitaciones, se forraron todas las paredes internas con papel aluminio para que la emisividad de las paredes sea tan pequeña que la podemos despreciar, así como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Interior de las casetas forradas con papel aluminio

CAPÍTULO 5

PRUEBAS TÉRMICAS

5.1 PRUEBAS DE CAMPO

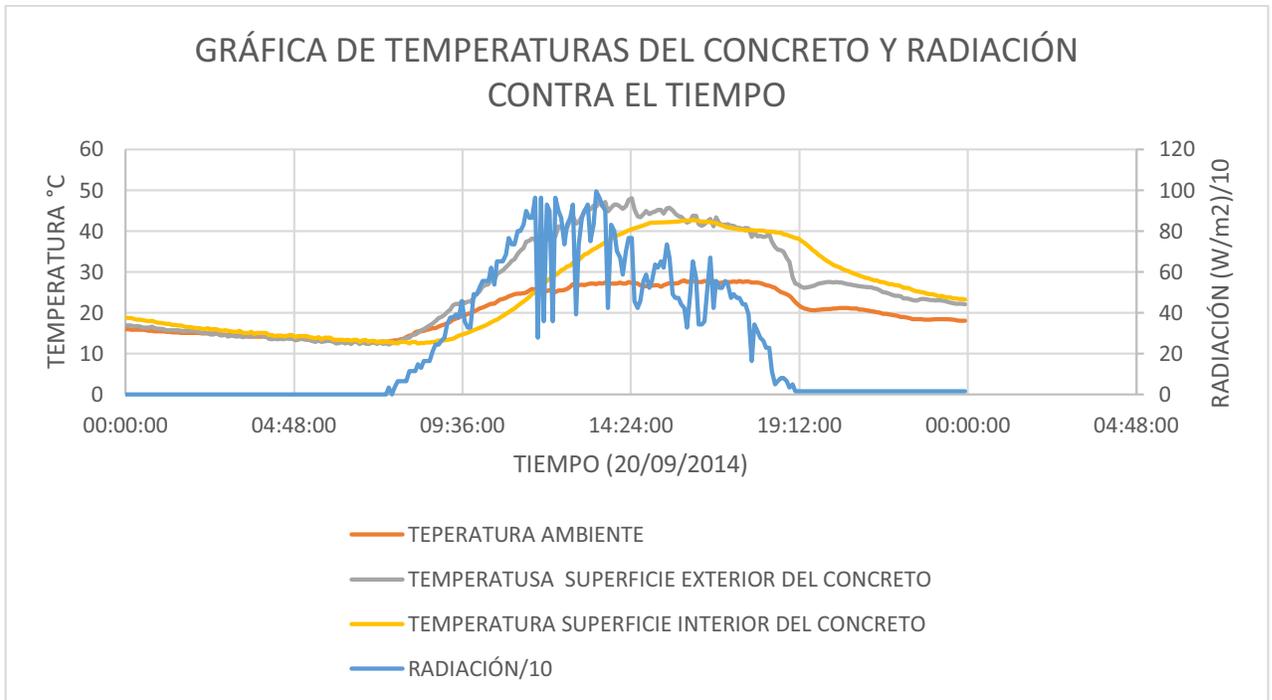
Ya instalando las habitaciones y equipándolas adecuadamente, se le dio seguimiento a la obtención de datos desde julio del 2014 hasta febrero del 2015, tomando en cuenta todos los factores ambientales, tales como lluvia, radiación solar, temperatura de las superficies de las losas, temperaturas del ambiente y del interior de la habitación.

Todos los datos obtenidos están adjuntos en libros de Excel, que serán parte de los entregables de este trabajo. Con estos datos se calcularán las conductividades de los materiales de las losas, el procedimiento lo veremos en la sección 5.2

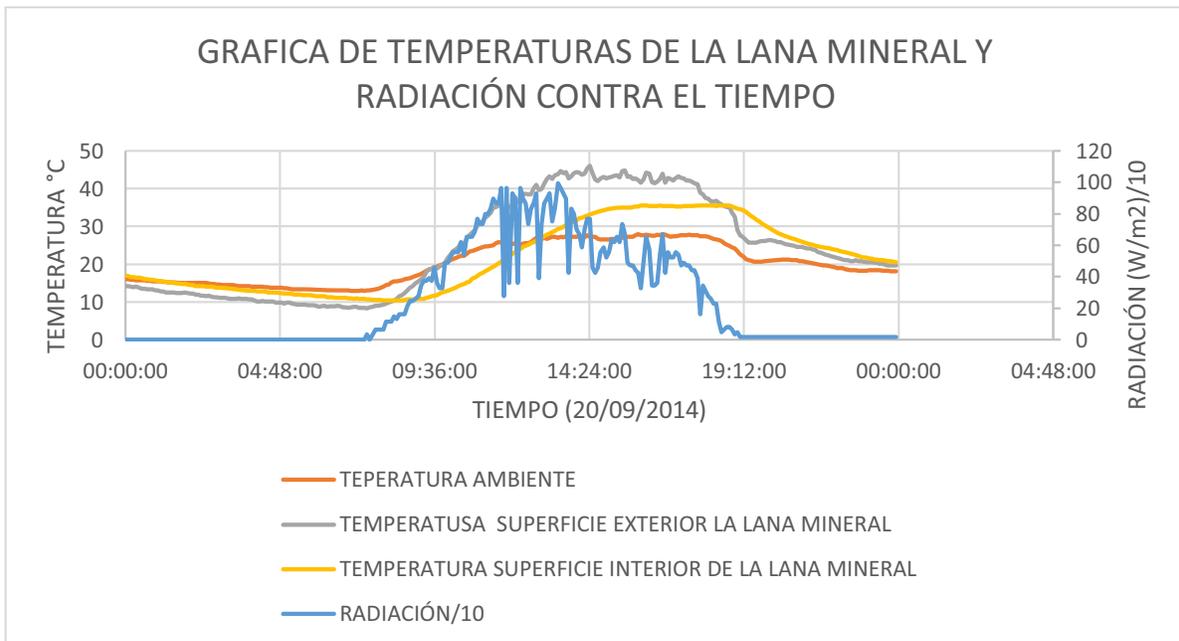
Al hacer los cálculos necesarios para conocer la conectividad térmica de cada material con la ecuación 5 en donde no se toma en cuenta el cambio de energía interna, el resultado es negativo, por lo tanto quiere decir que es necesario utilizar la ecuación 1.

5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

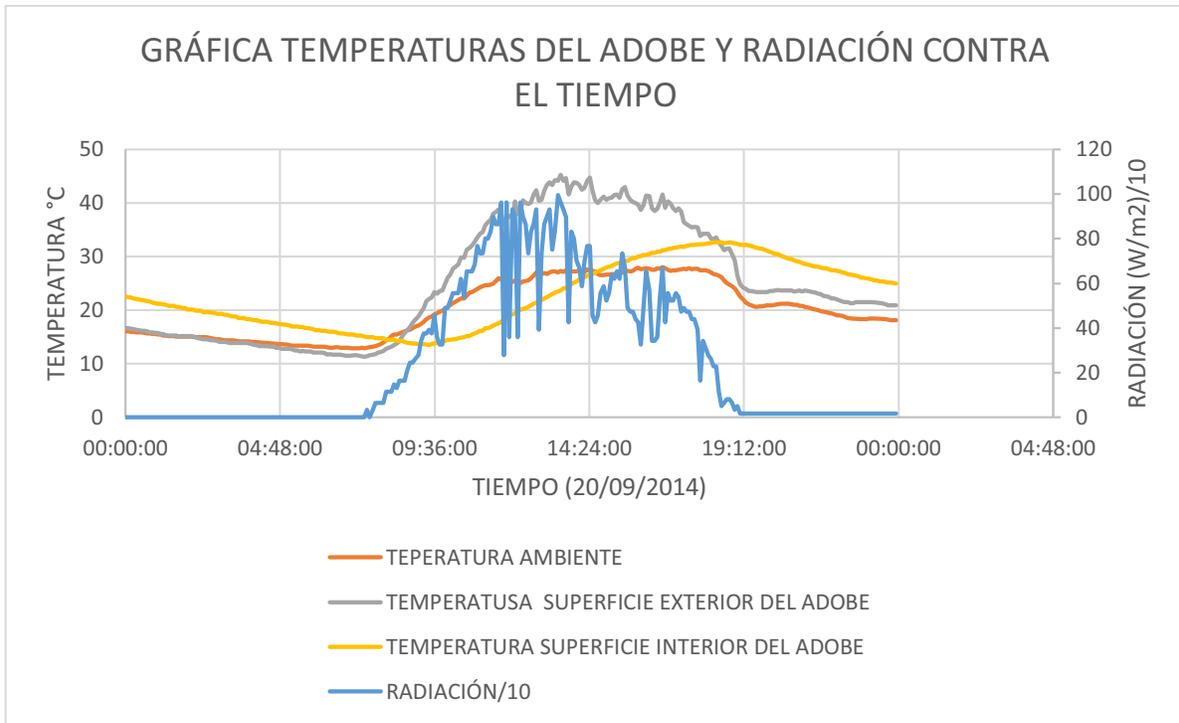
Monitoreando la radiación y las temperatura del ambiente, de la superficie exterior e interior de las losas, se graficaron en los datos de 18 días completos al azar, y las podemos ver a continuación.



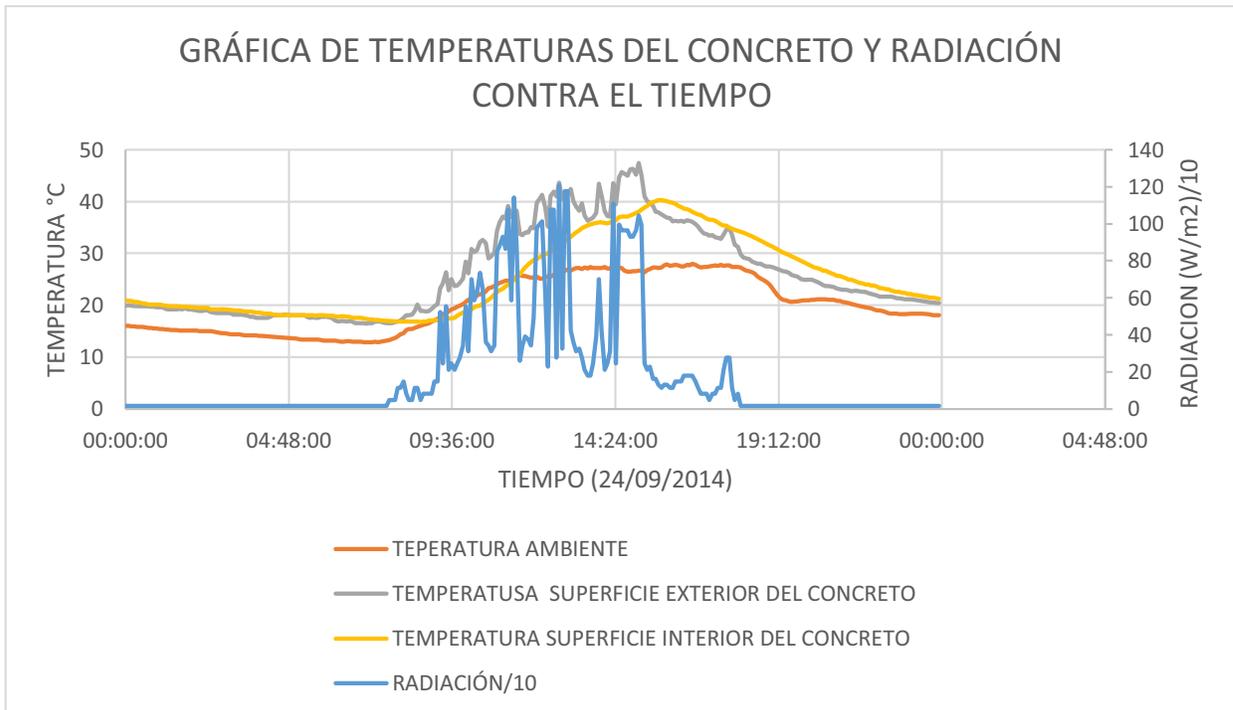
Gráfica 1. Del concreto del día 20/09/2014



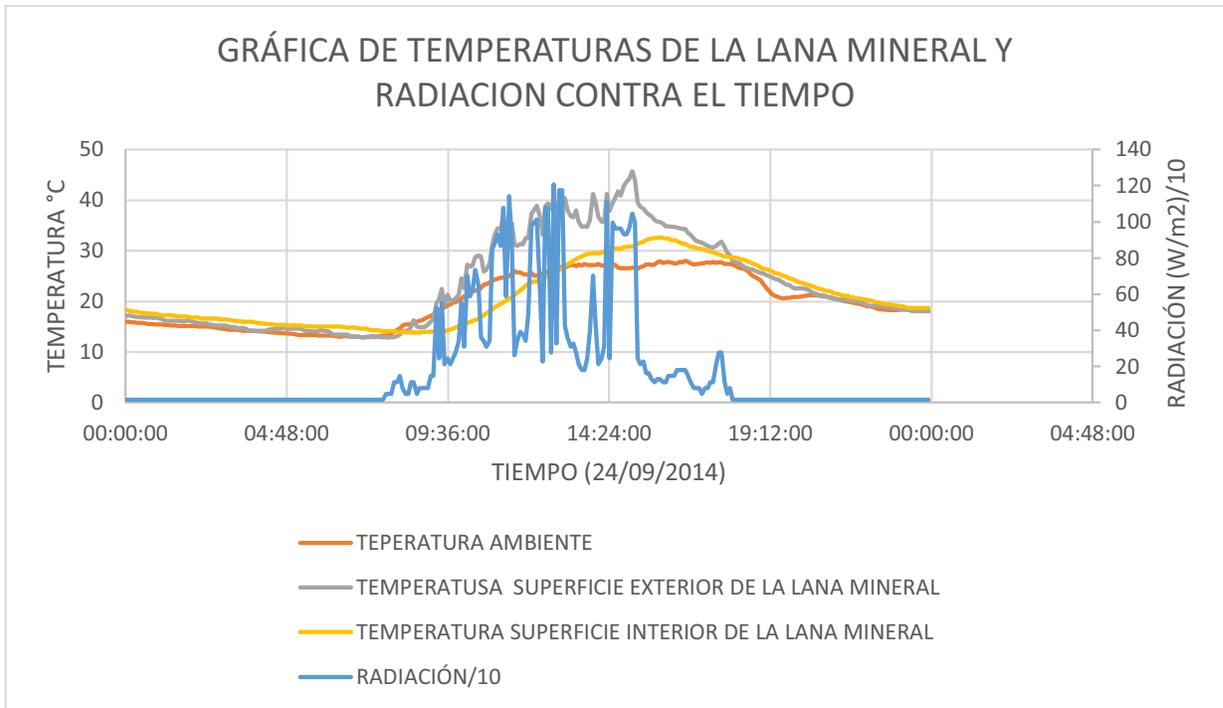
Gráfica 2. De la lana mineral del 20/09/2014



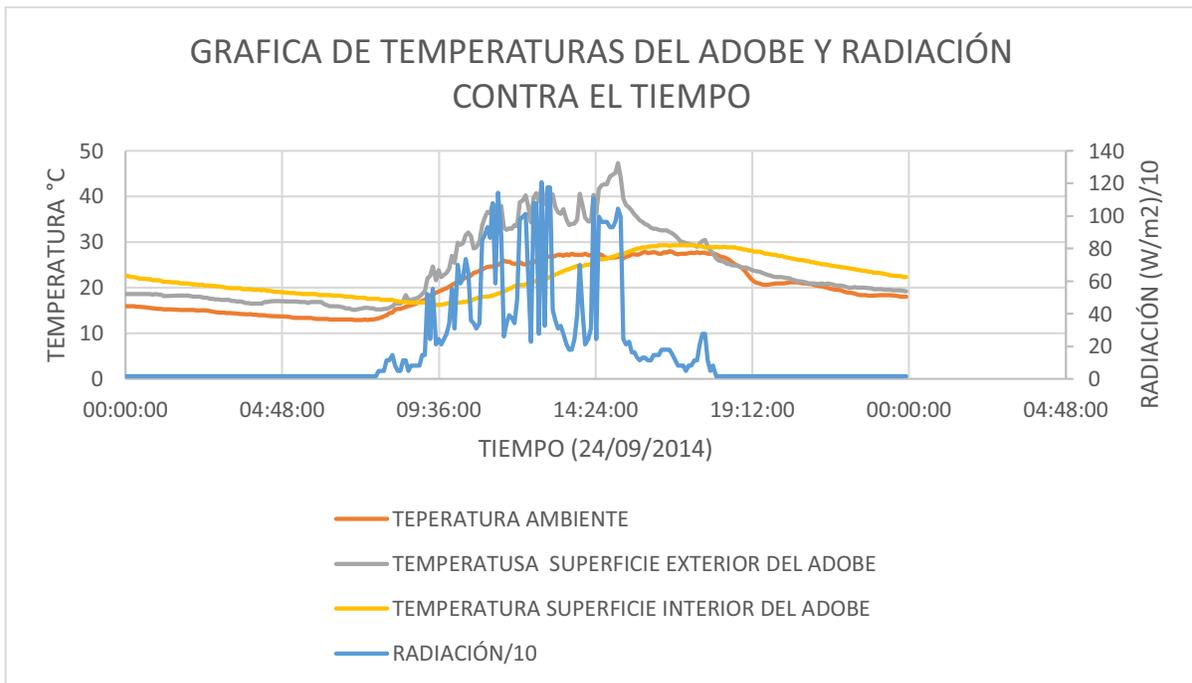
Gráfica 3. Del adobe del día 20/09/2014



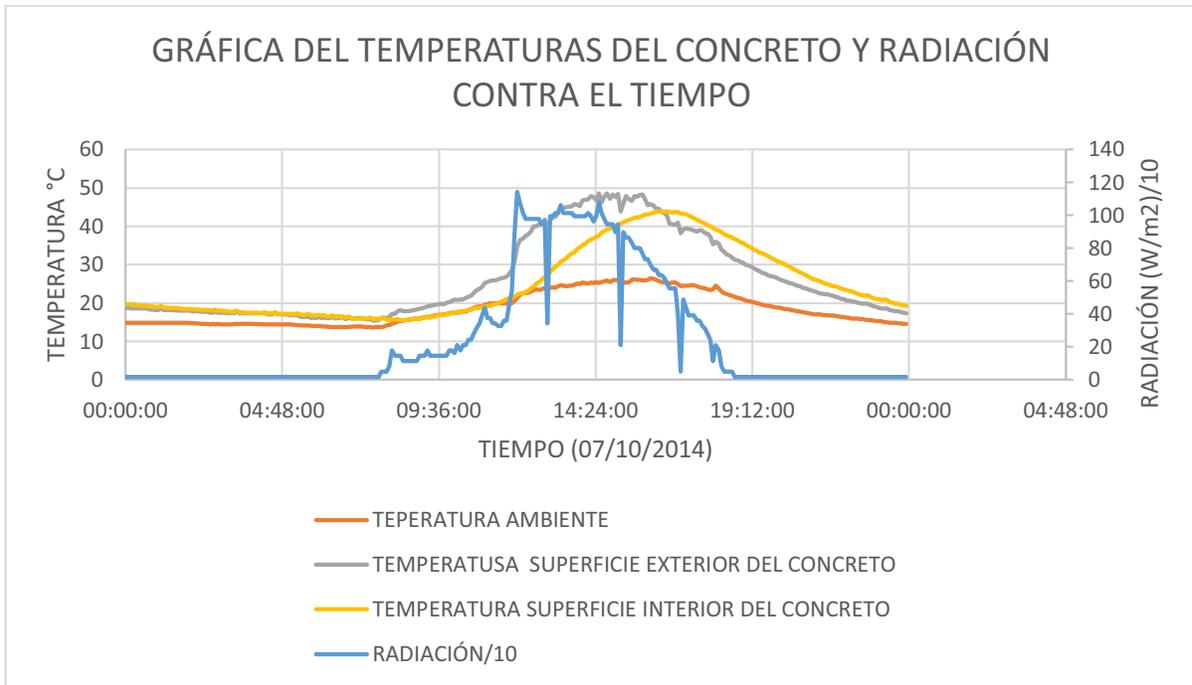
Gráfica 4. Del concreto del día 24/09/2014



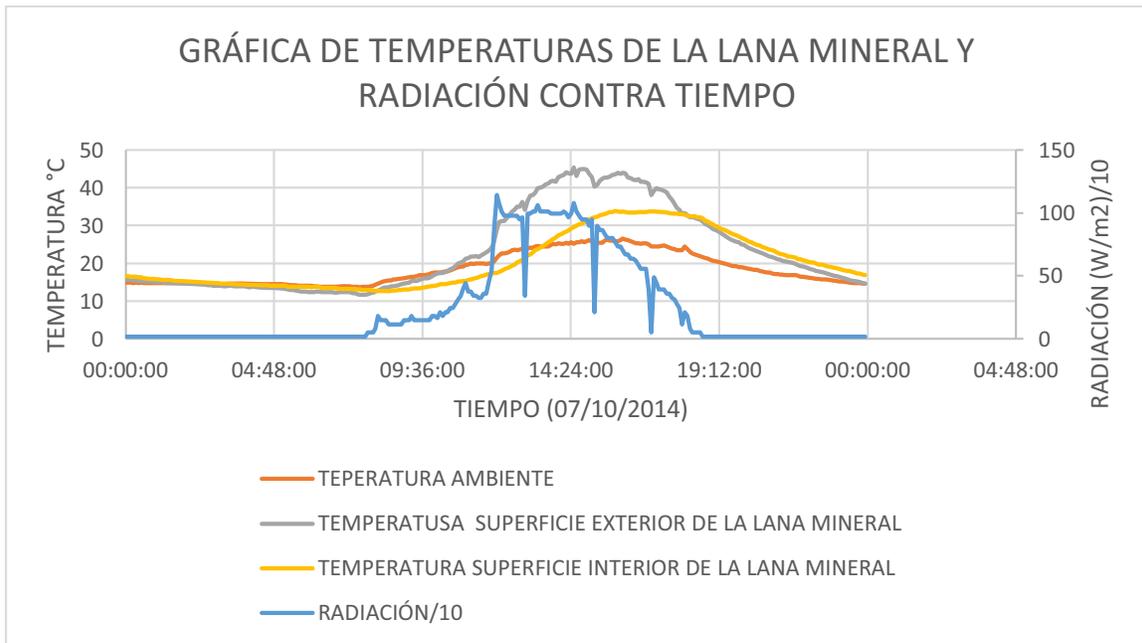
Gráfica 5 de la lana mineral del día 24/09/2014



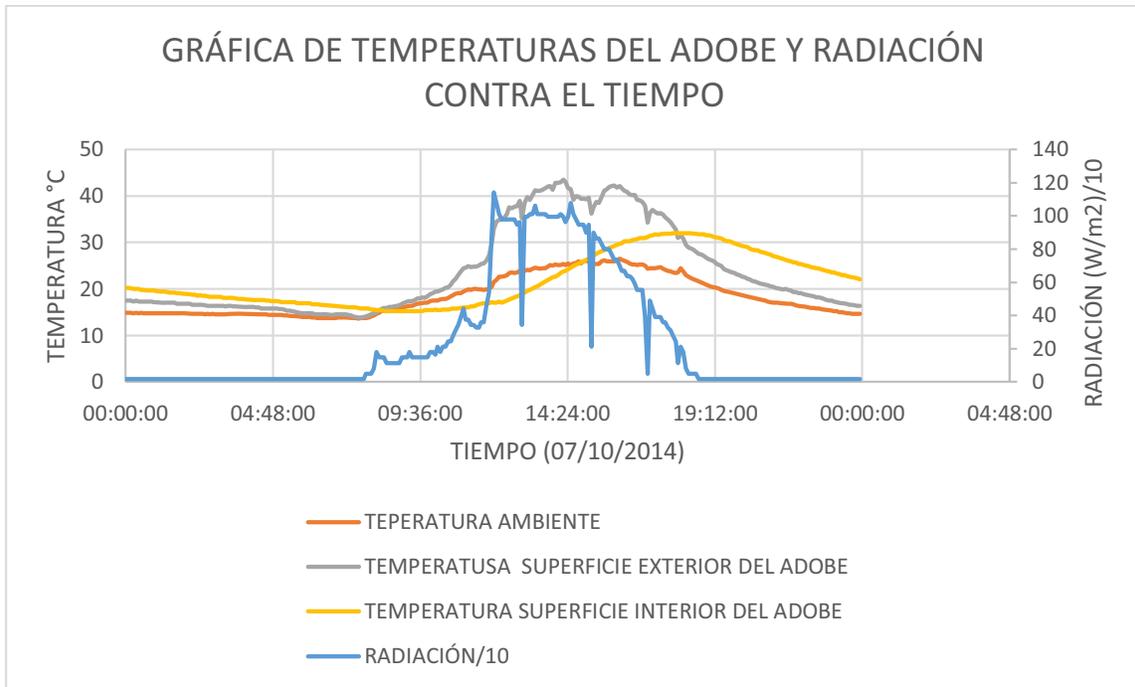
Gráfica 6 del adobe del día 24/09/2014.



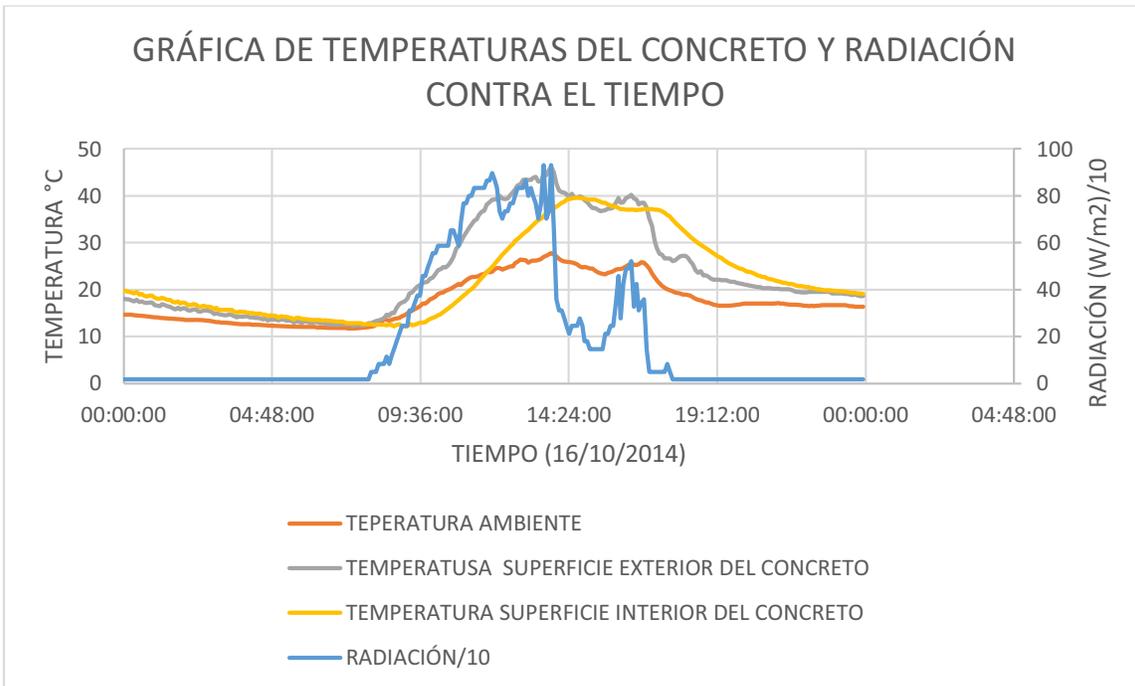
Gráfica 7 del concreto del día 07/10/2014.



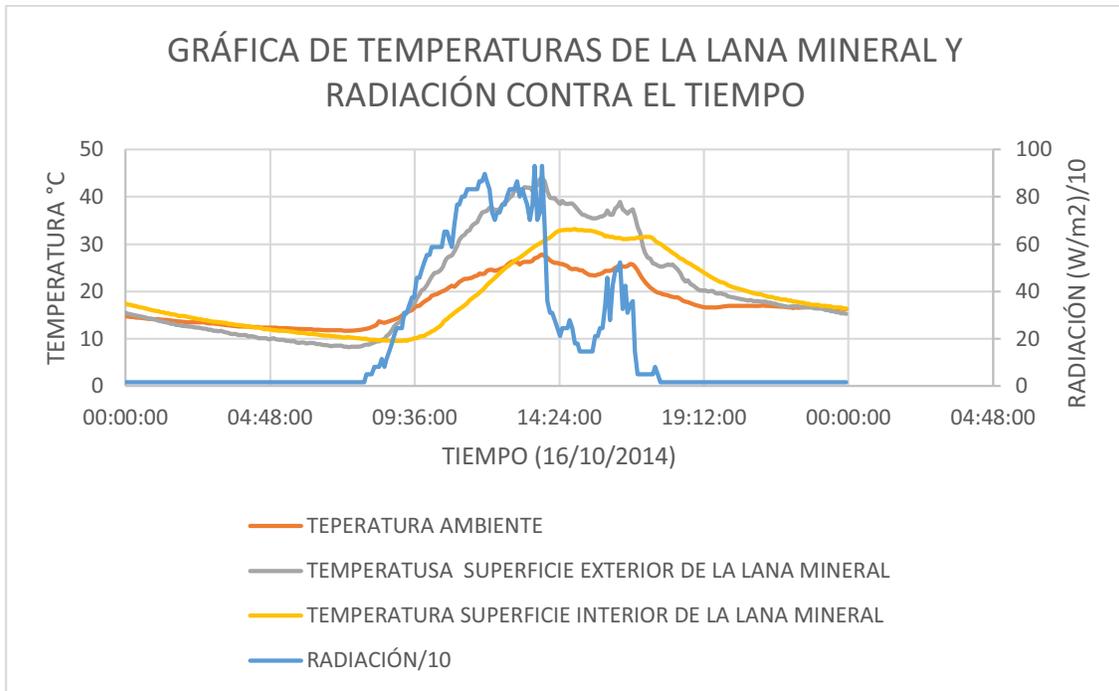
Gráfica 8 de la lana mineral del día 07/10/2014.



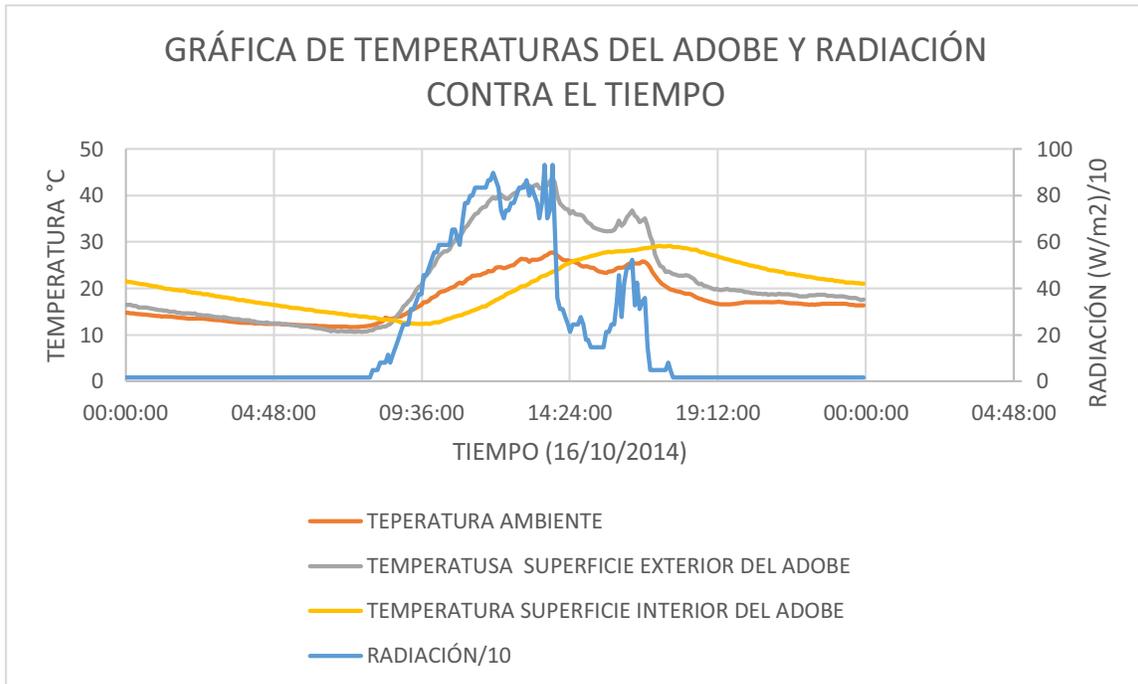
Gráfica 9 del adobe del día 07/10/2014.



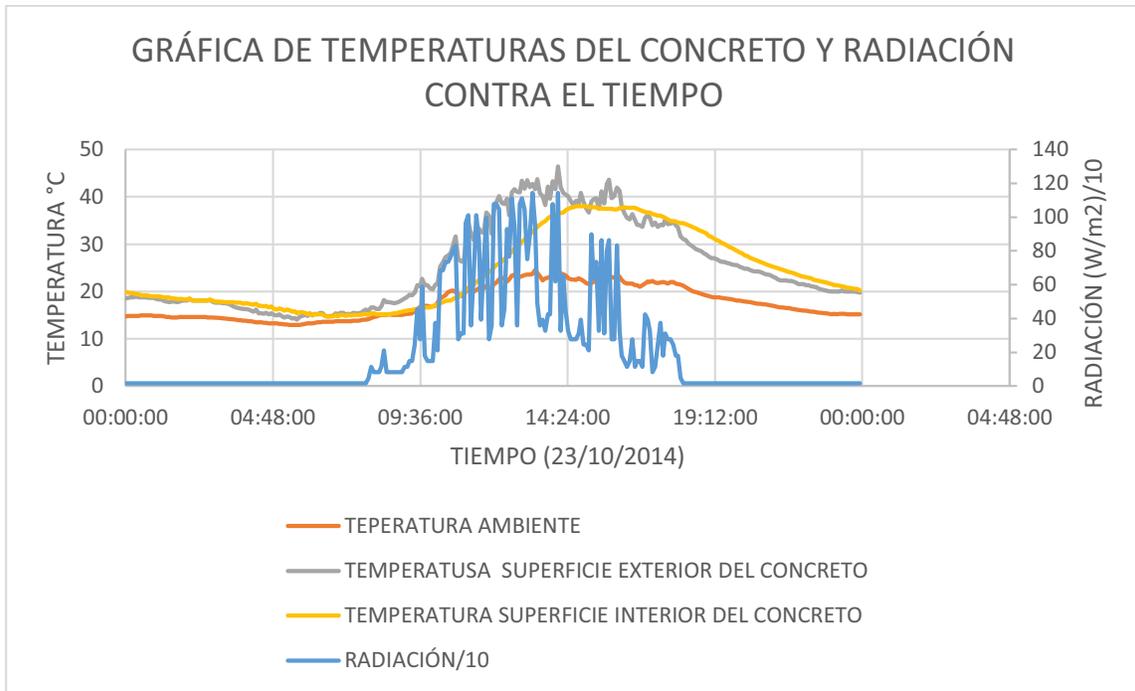
Gráfica 10 del concreto del día 16/10/2014.



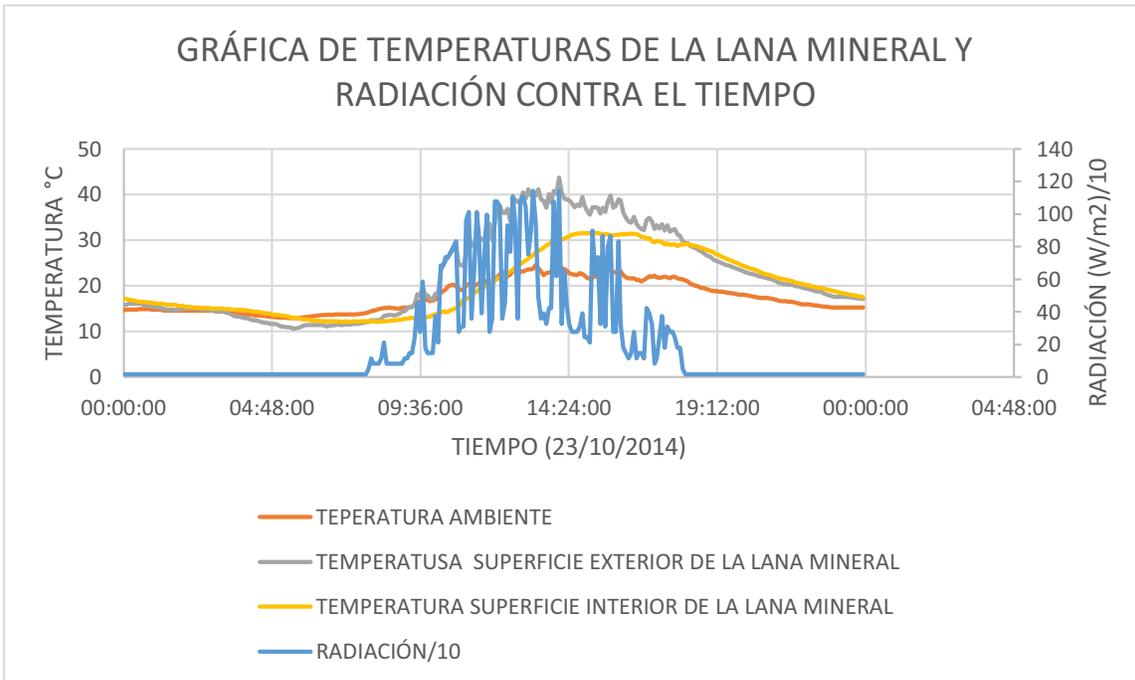
Gráfica 11 de la lana mineral del día 16/10/2014.



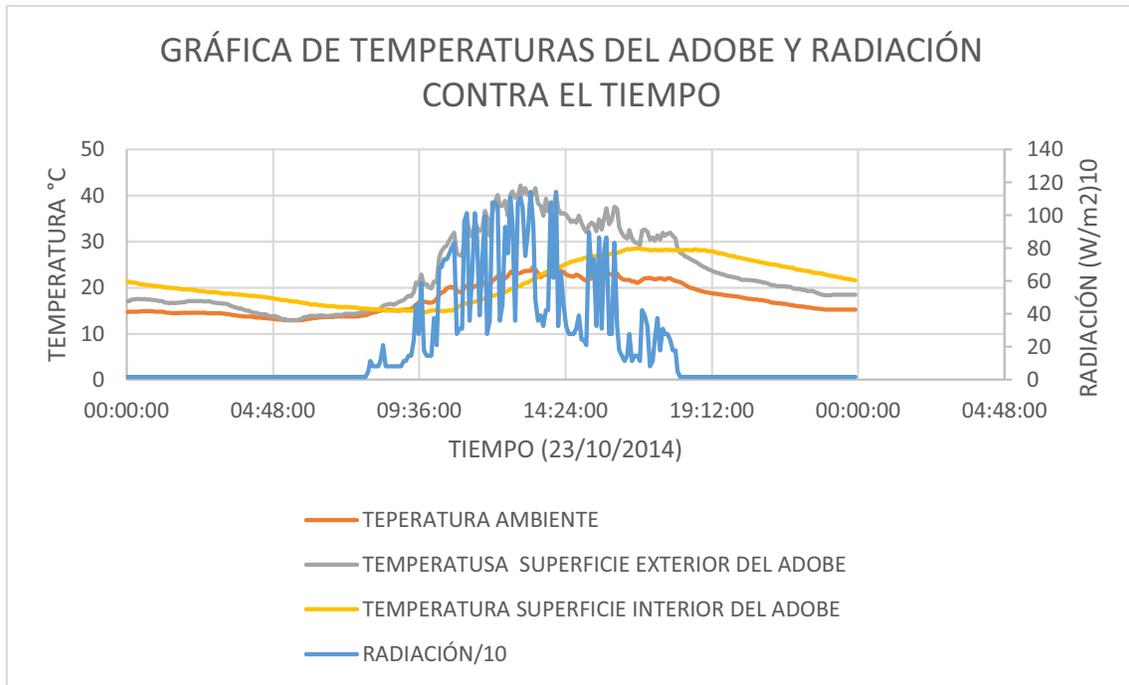
Gráfica 12 de adobe del día 16/10/2014.



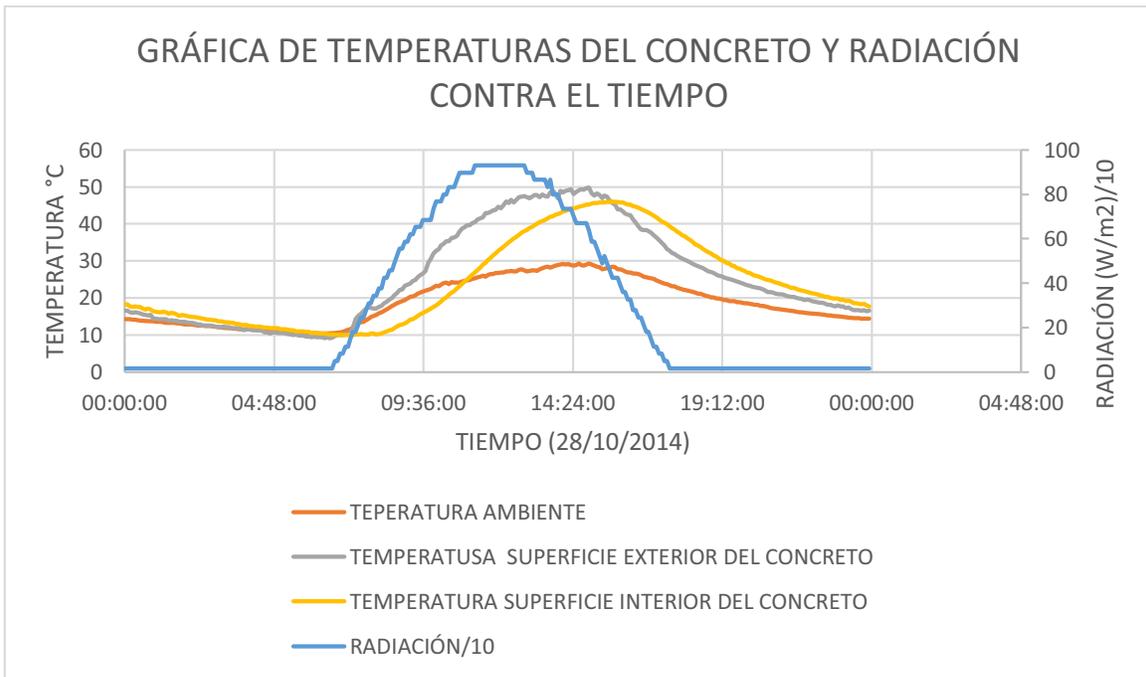
Gráfica 13 del concreto del día 23/10/2014.



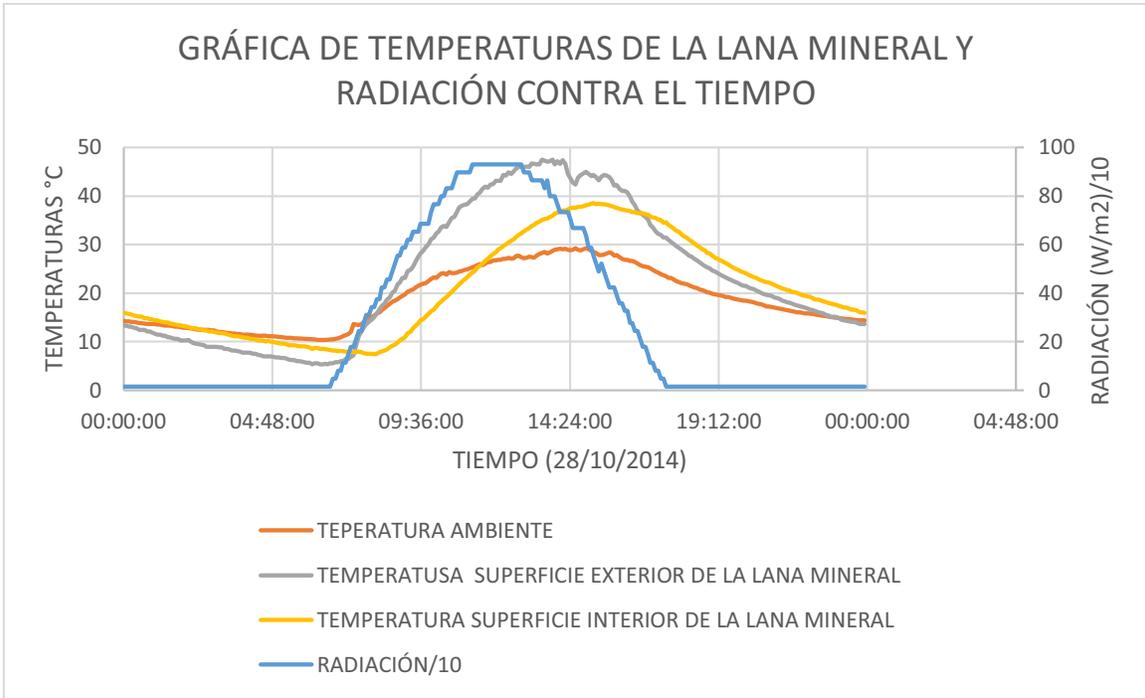
Gráfica 14 de la lana mineral del día 23/10/2014.



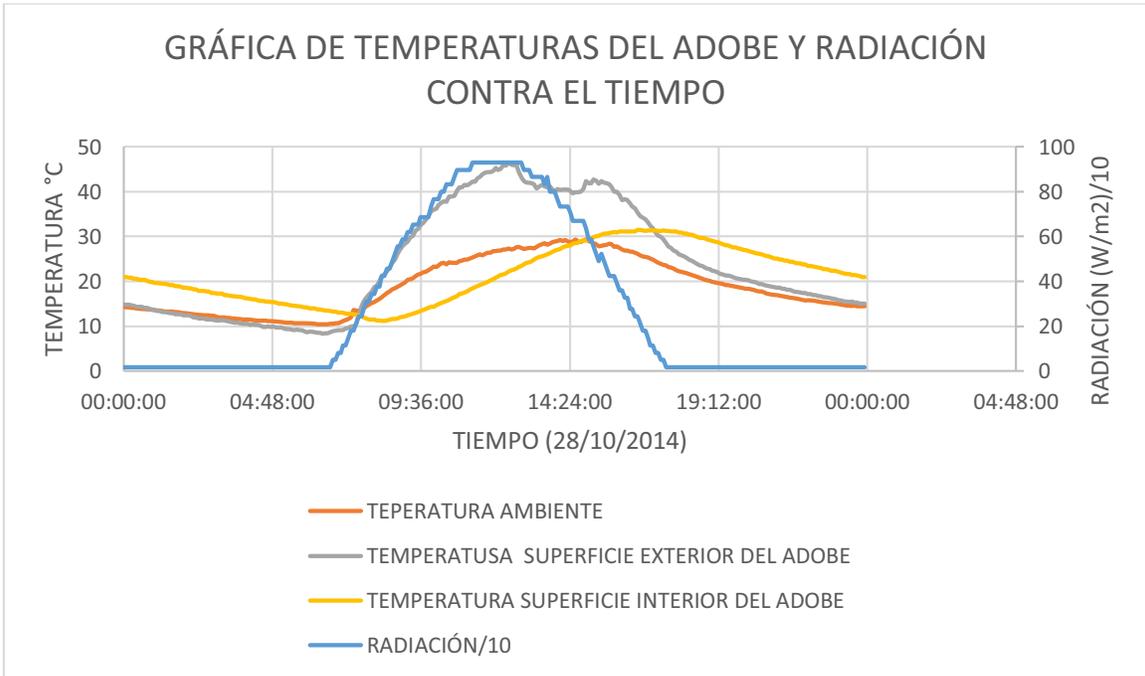
Gráfica 15 del adobe del día 23/10/2014.



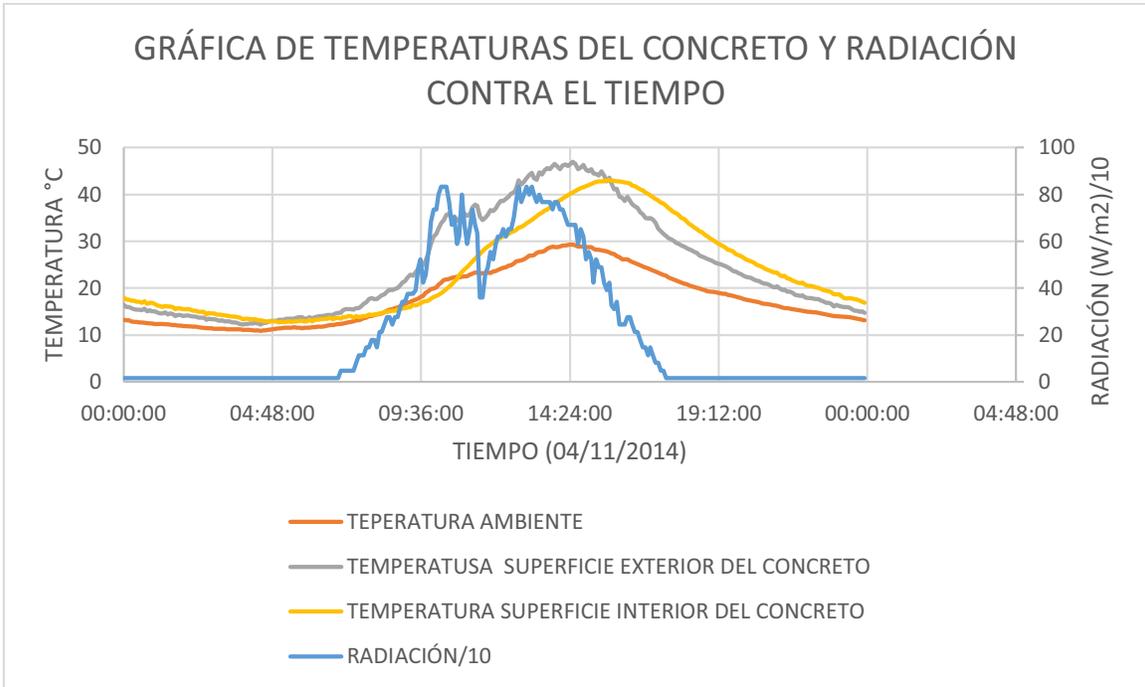
Gráfica 16 del concreto del día 28/10/2014.



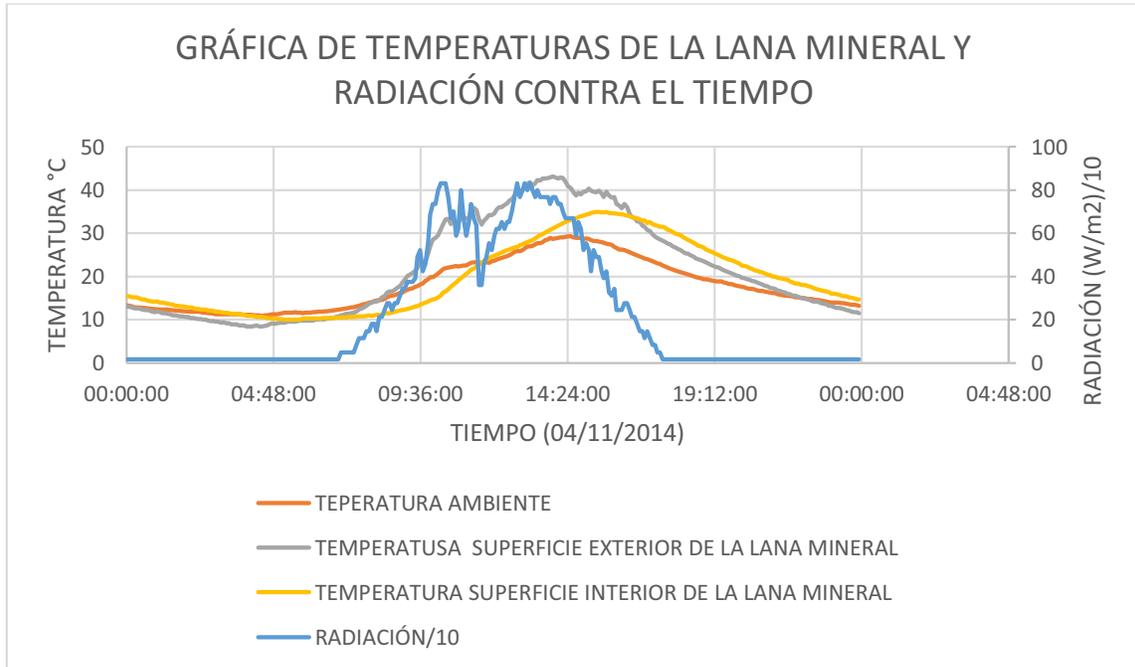
Gráfica 17 de la lana mineral del día 28/10/2014.



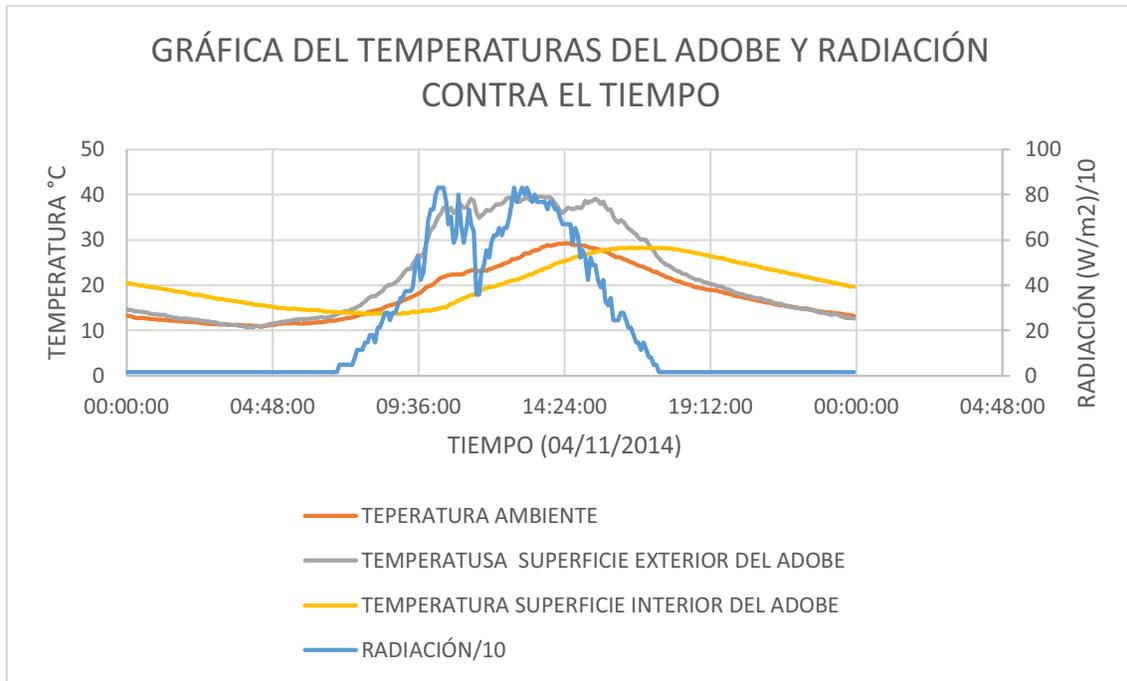
Gráfica 18 del adobe del día 28/10/2014



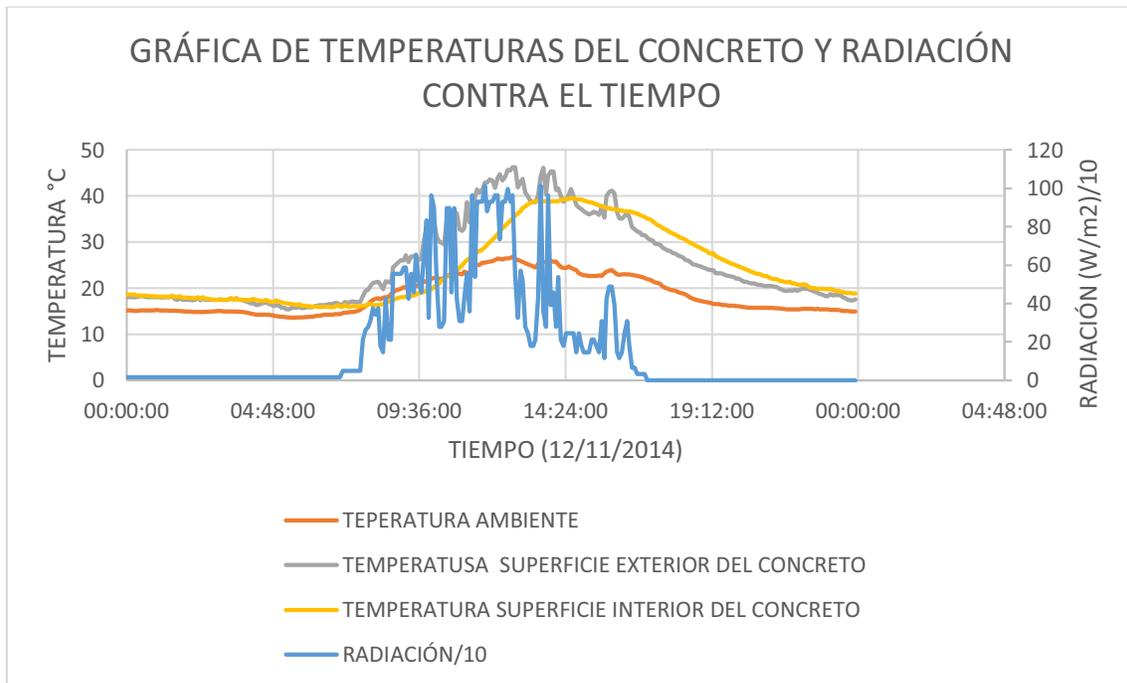
Gráfica 19 del concreto del día 04/11/2014.



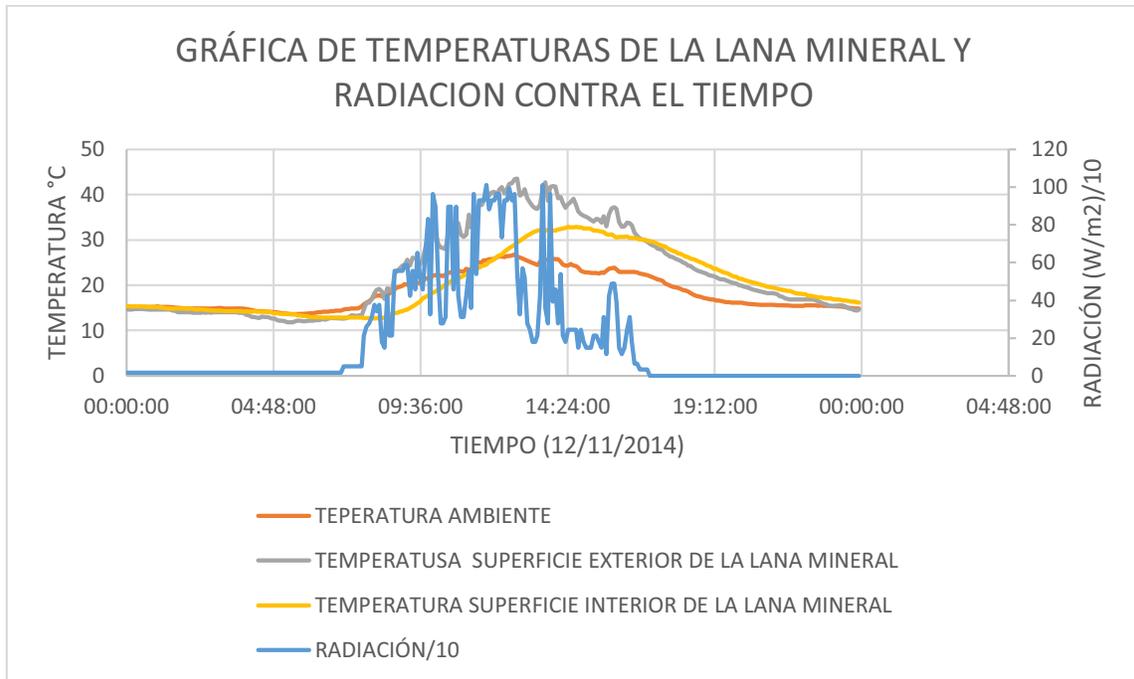
Gráfica 20 de la lana mineral del día 04/11/2014.



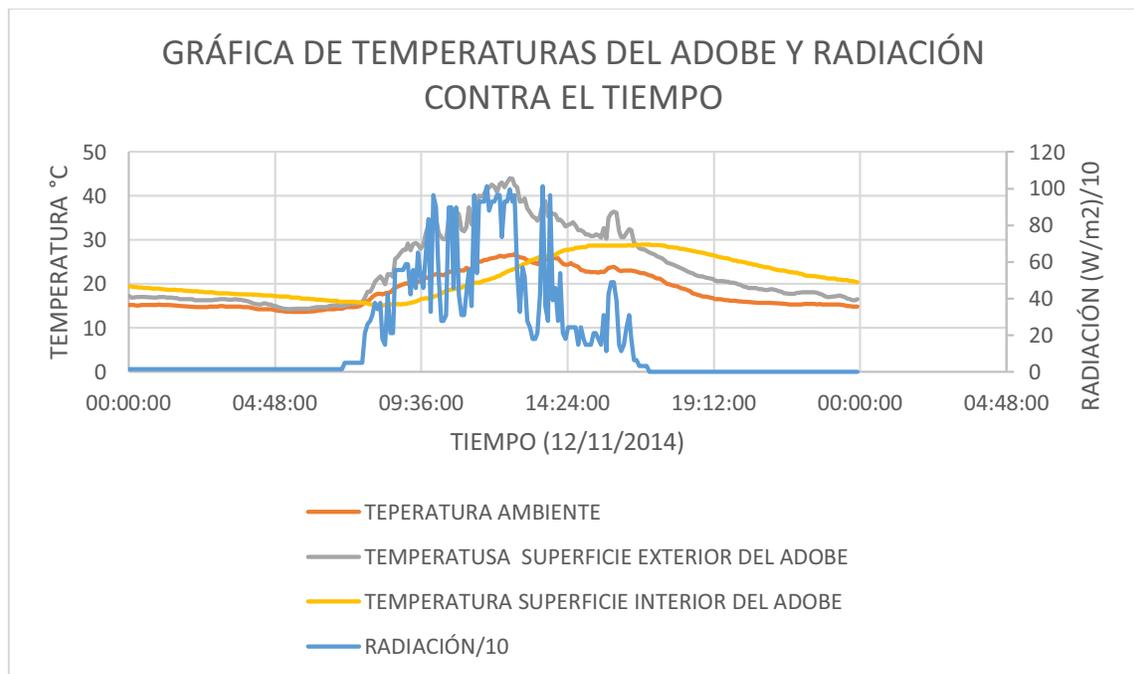
Gráfica 21 del adobe del día 04/11/2014.



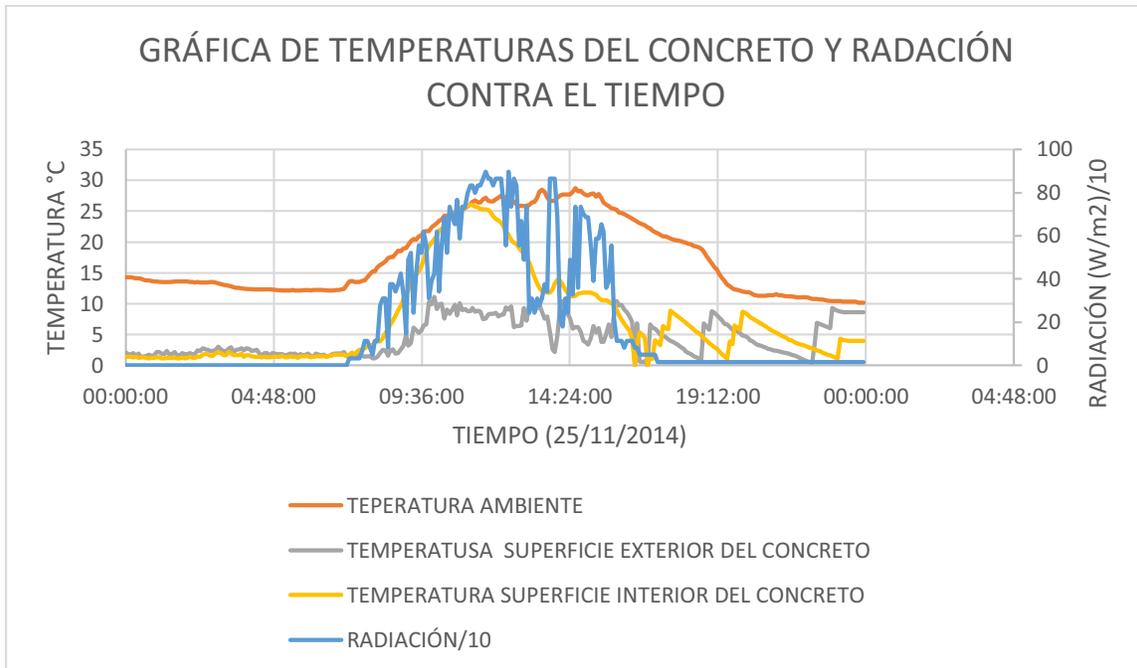
Gráfica 22 del concreto del día 12/11/2014.



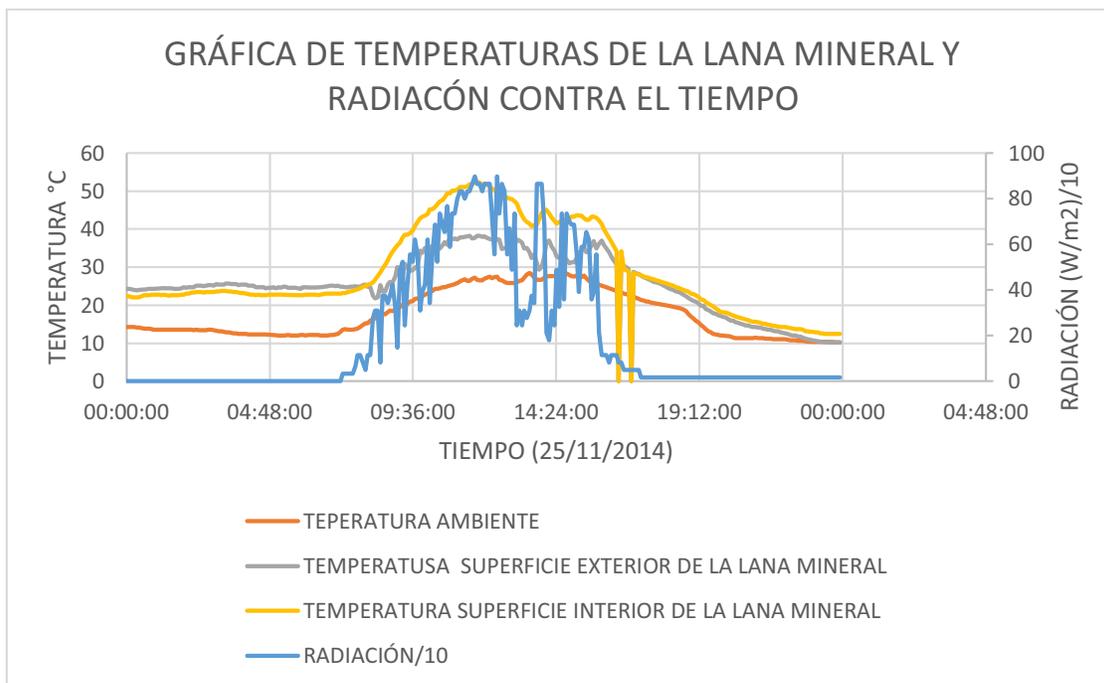
Gráfica 23 de la lana mineral del día 12/11/2014.



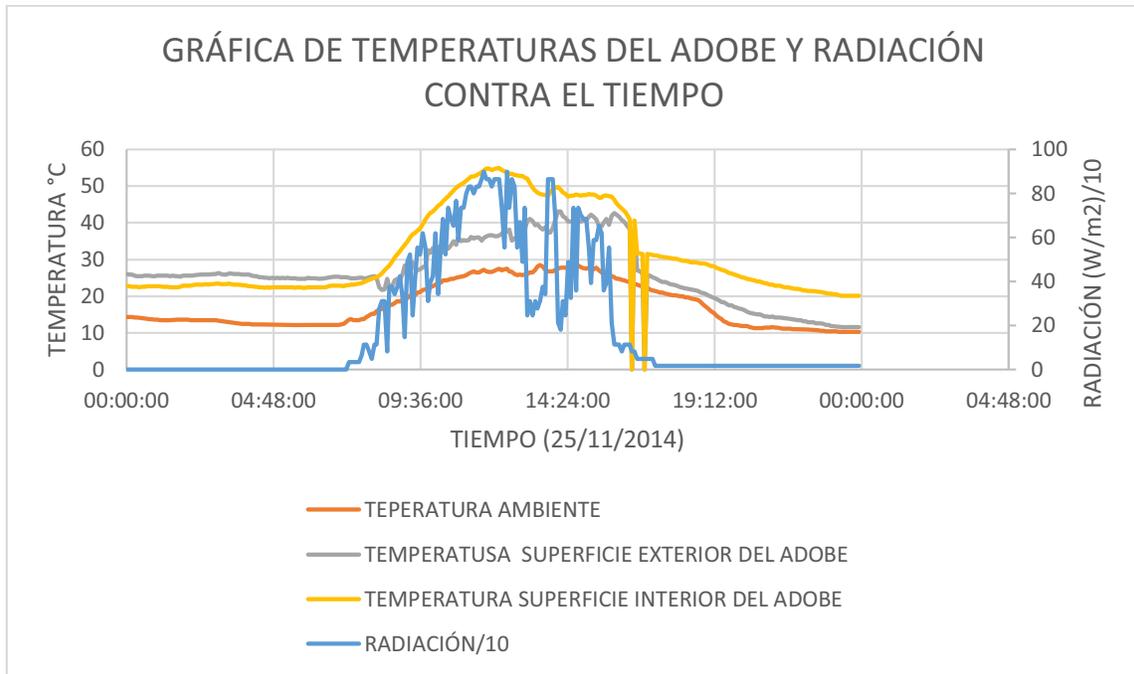
Gráfica 24 del adobe del día 12/11/2014



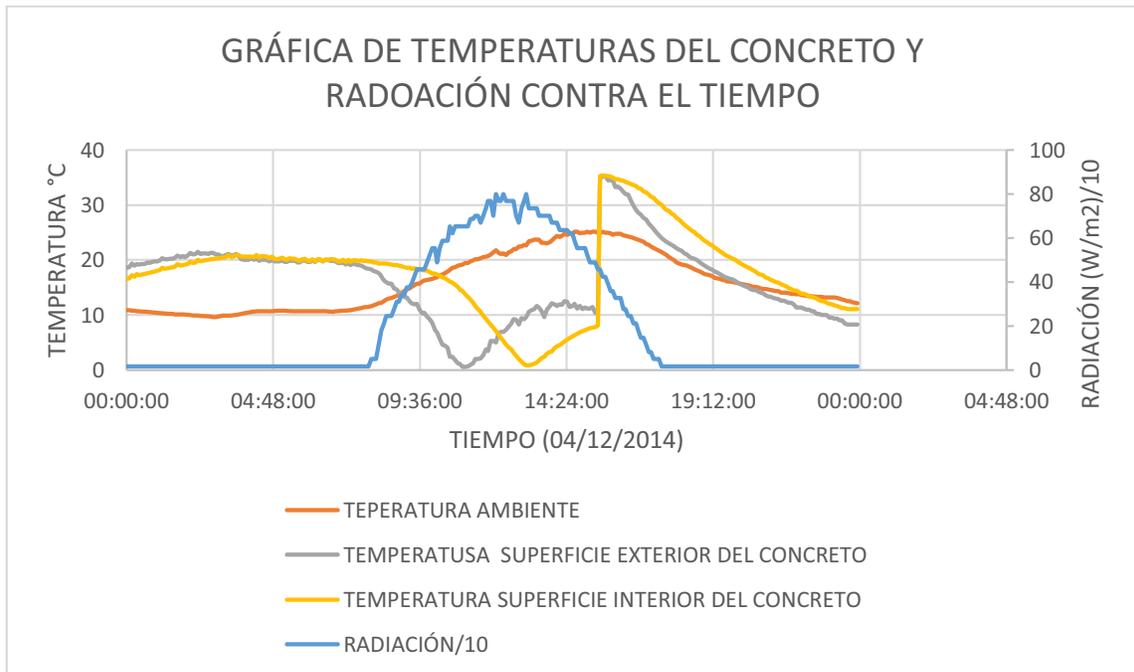
Gráfica 25 del concreto del día 25/11/2014.



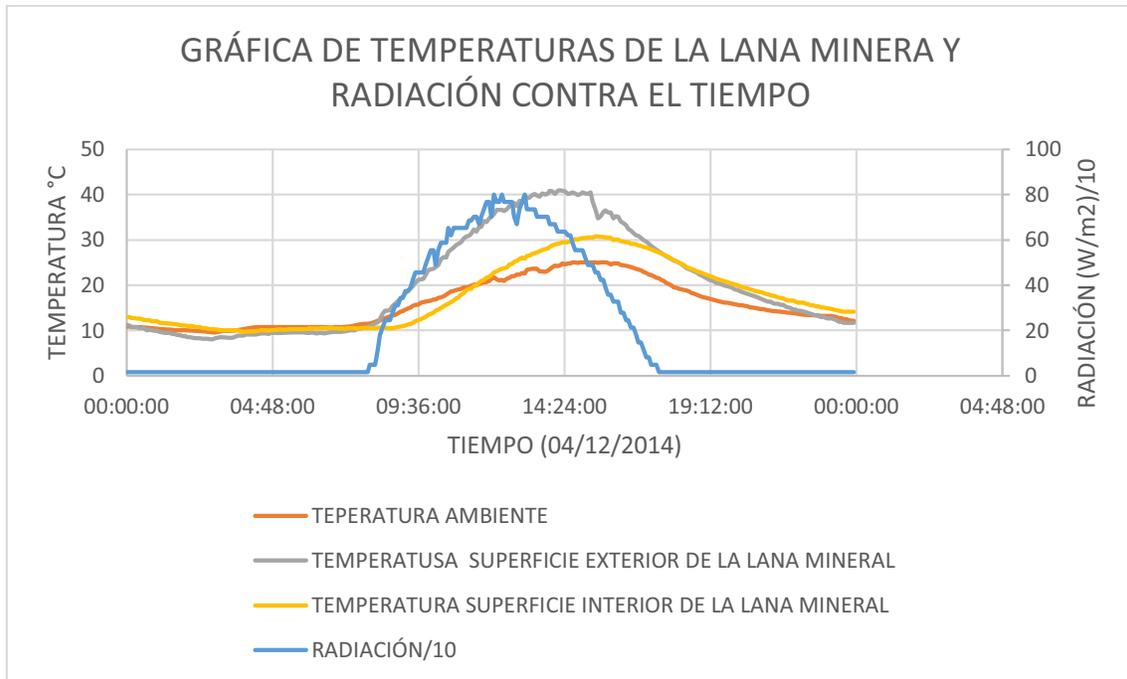
Gráfica 26 de la alana mineral del día 25/11/2014.



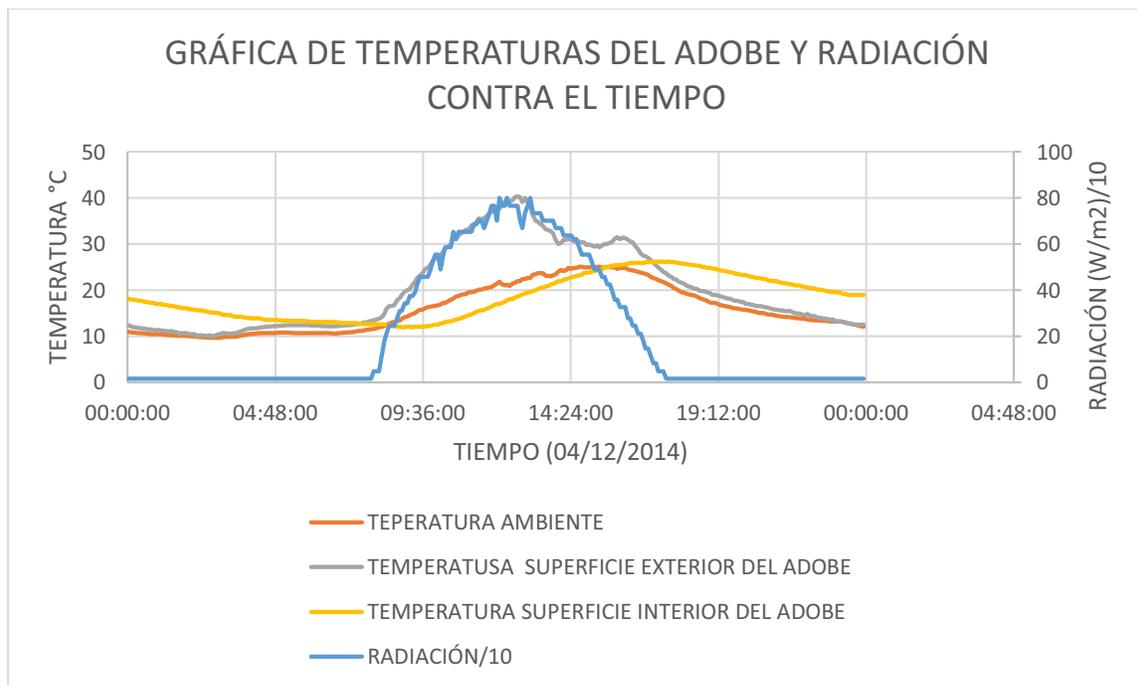
Gráfica 27 del adobe del día 25/11/2014



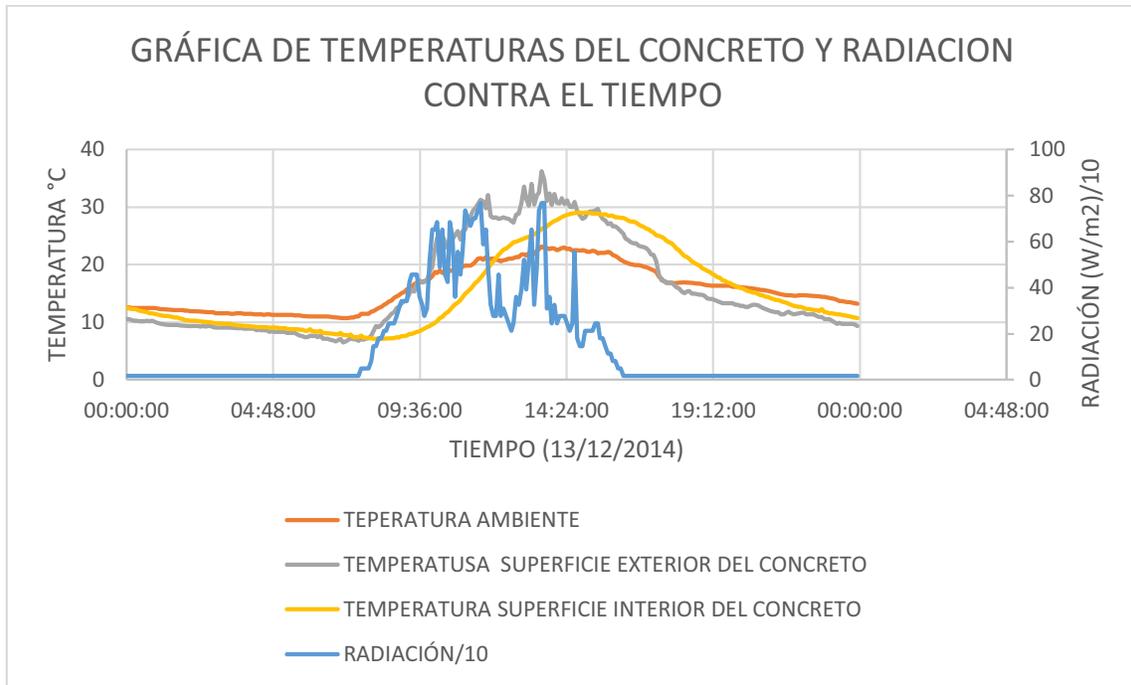
Gráfica 28 del concreto del día 04/12/2014.



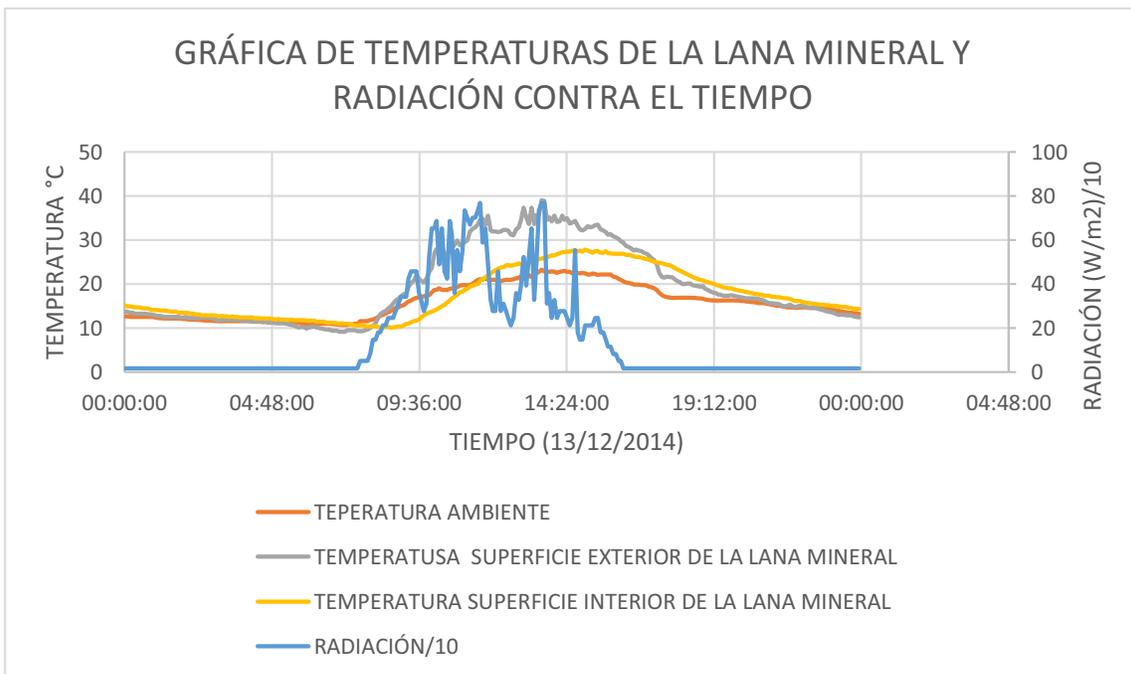
Gráfica 29 de la lana mineral del día 04/12/2014.



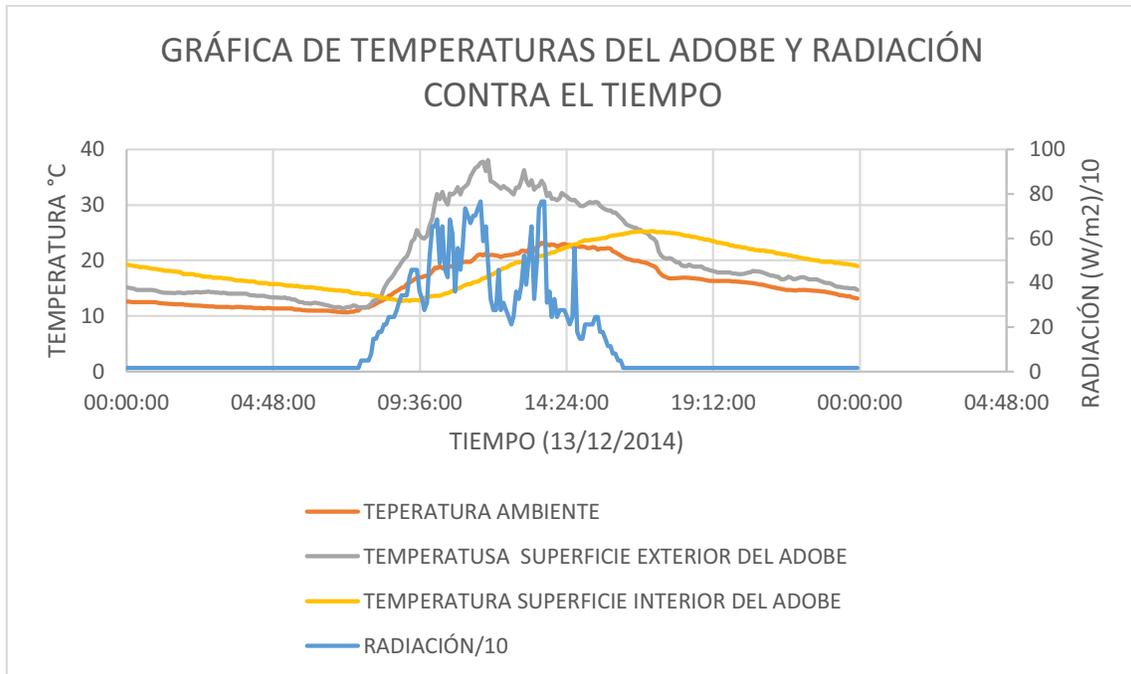
Gráfica 30 del adobe del día 04/12/2014.



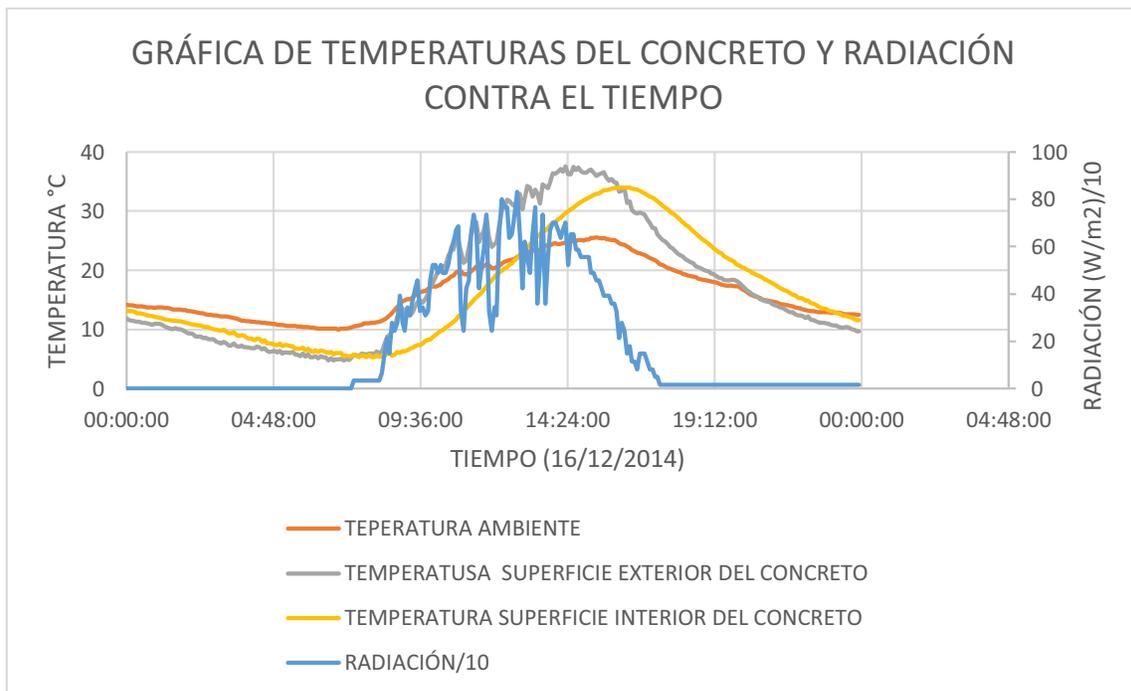
Gráfica 31 del concreto del día 13/12/2014.



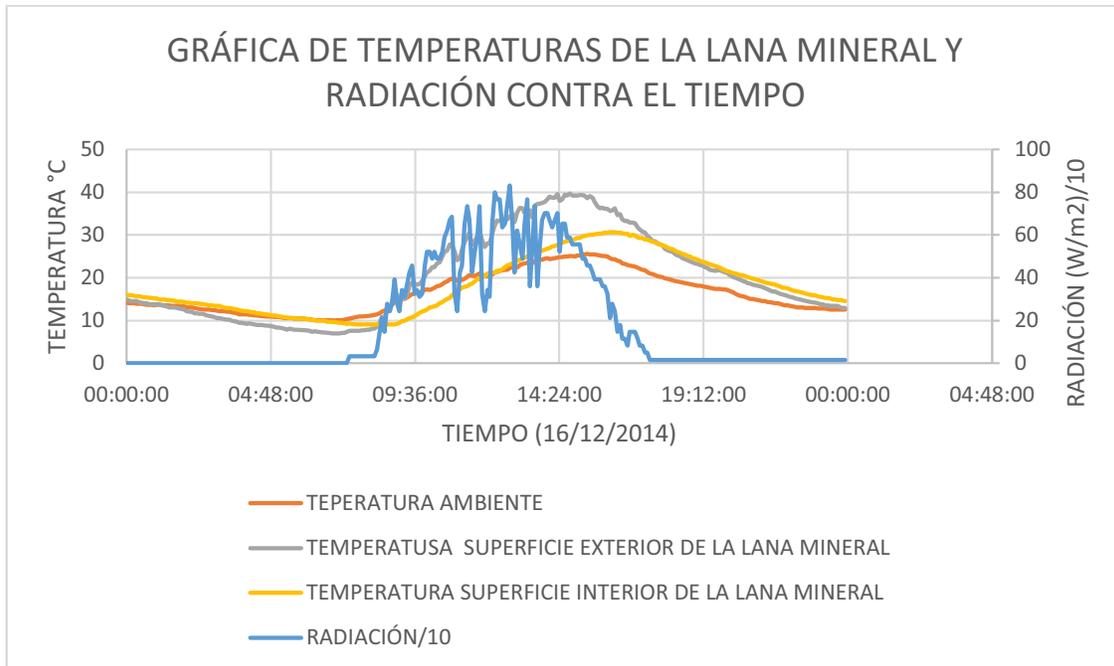
Gráfica 32 de la lana mineral del día 13/12/2014.



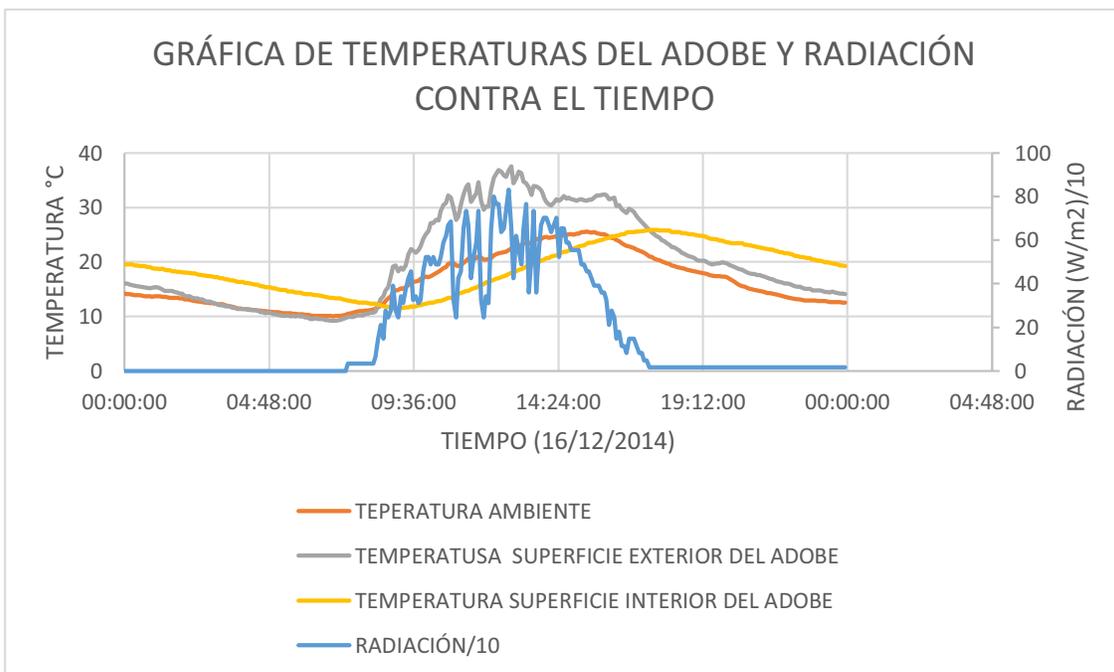
Gráfica 33 de adobe del día 13/12/2014.



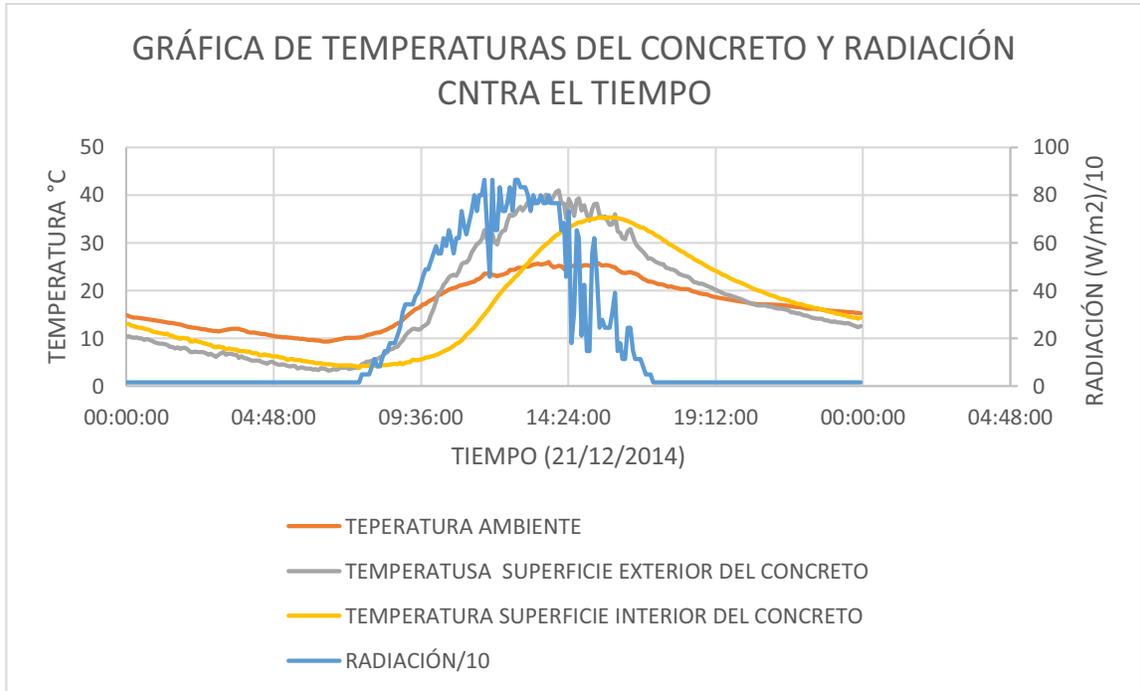
Gráfica 34 del concreto del día 16/12/2014.



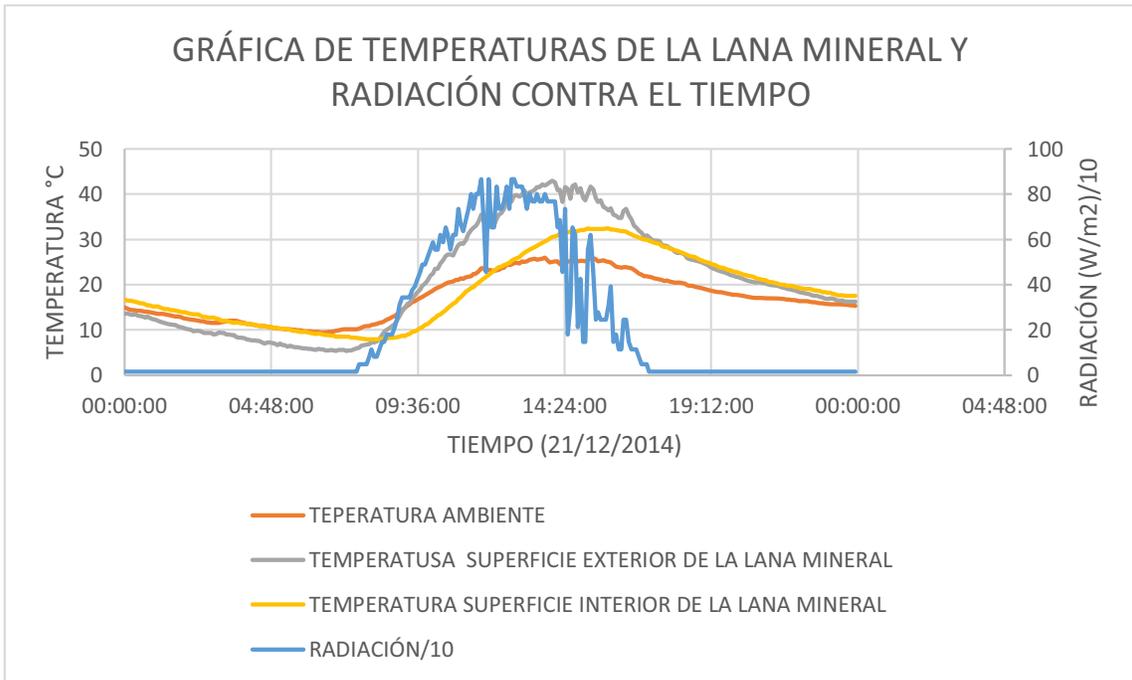
Gráfica 35 de la lana mineral del día 16/12/2014.



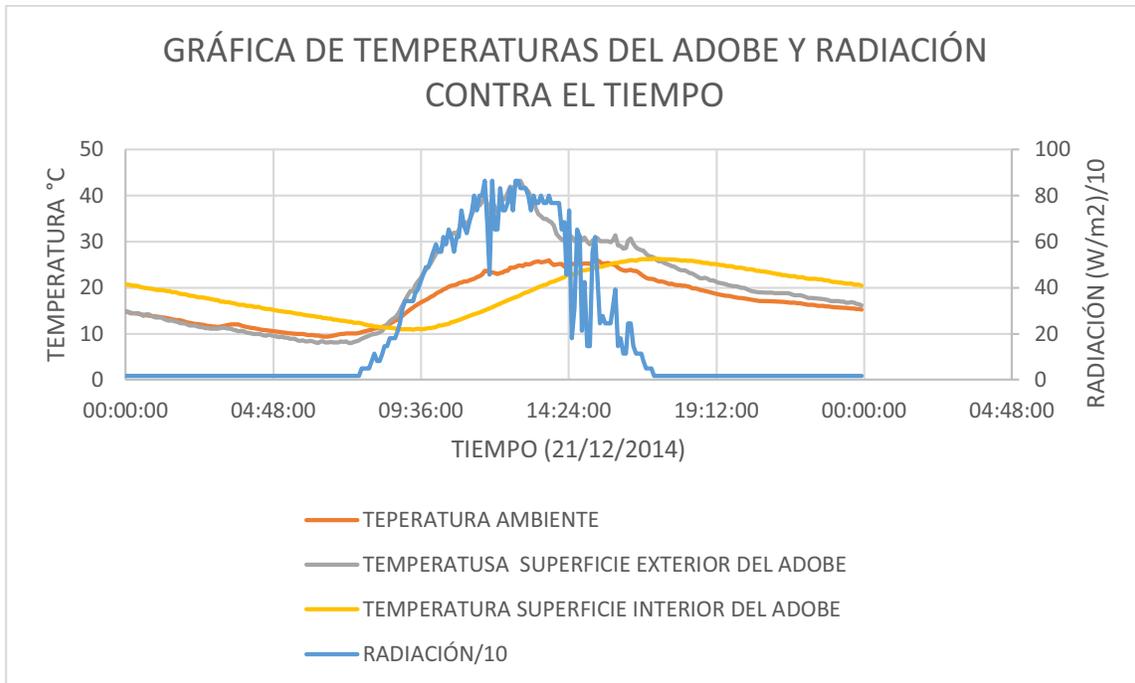
Gráfica 36 del adobe del día 16/12/2014.



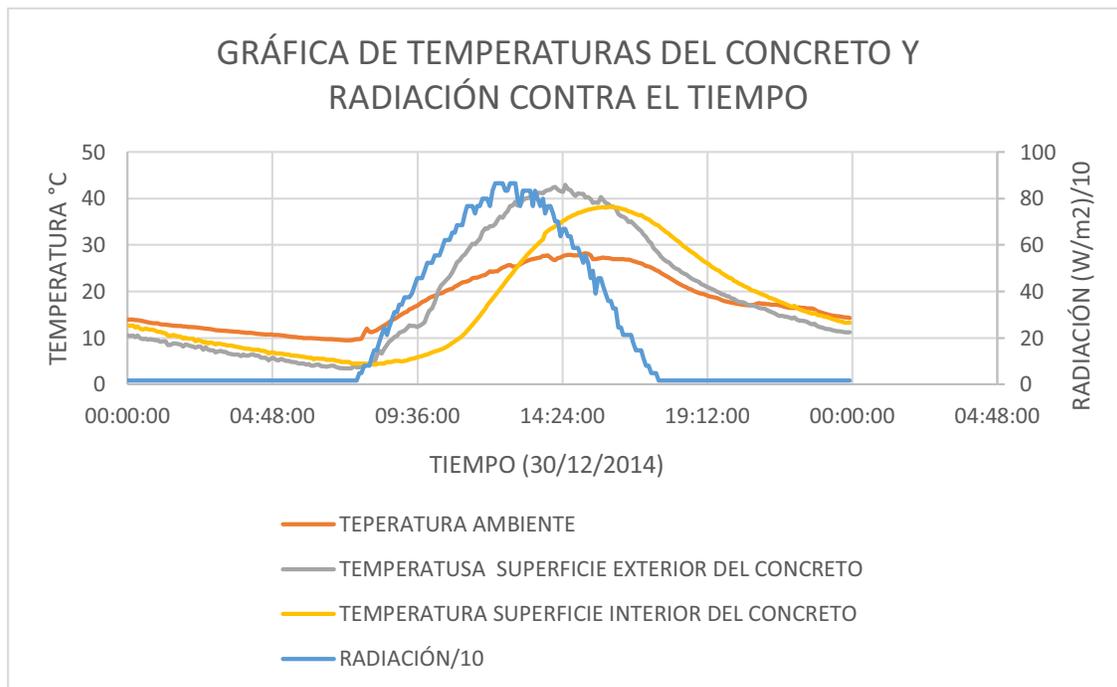
Gráfica 37 del concreto del día 21/12/2014.



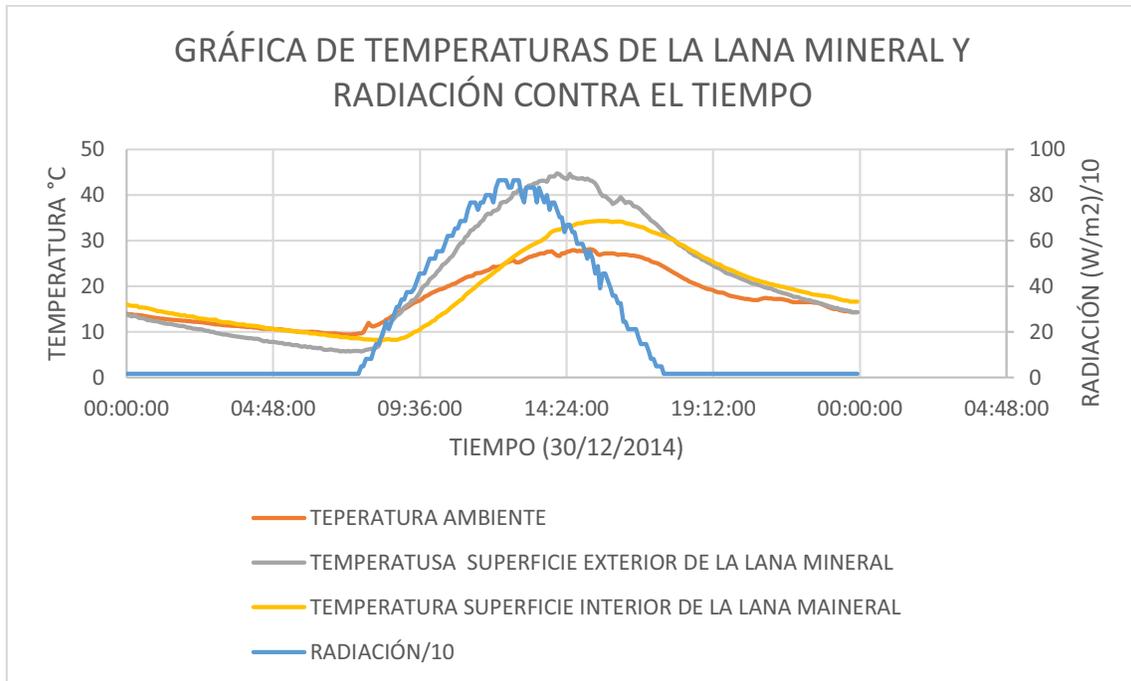
Gráfica 38 de la lana mineral del día 21/12/2014.



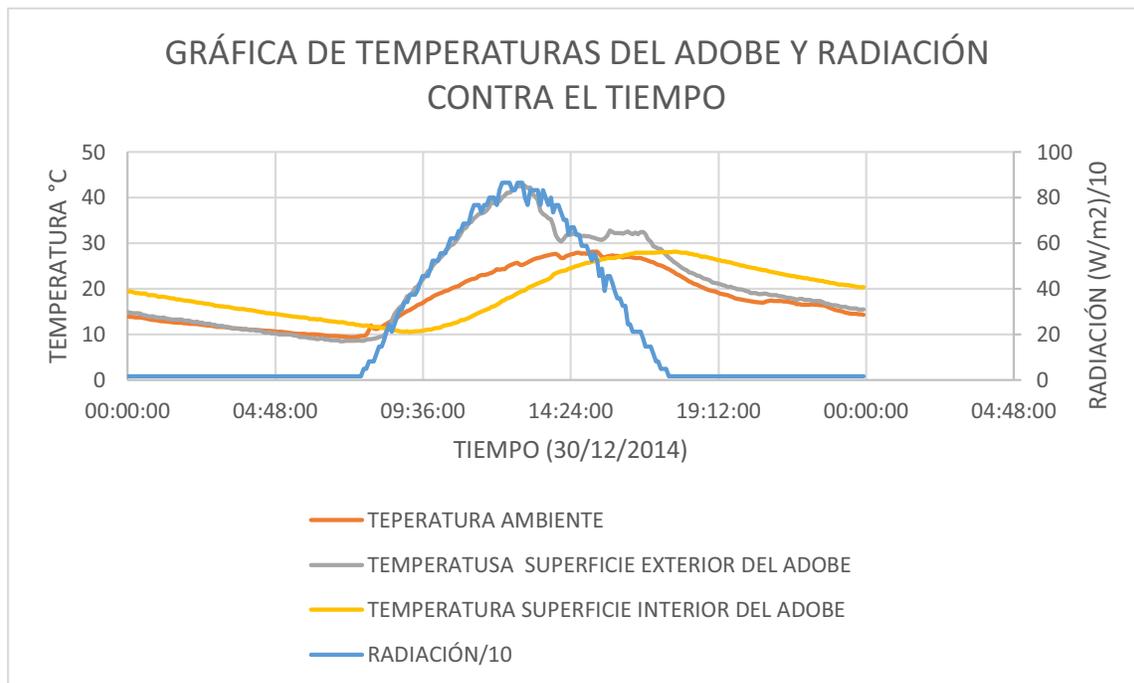
Gráfica 39 del adobe del día 21/12/2014.



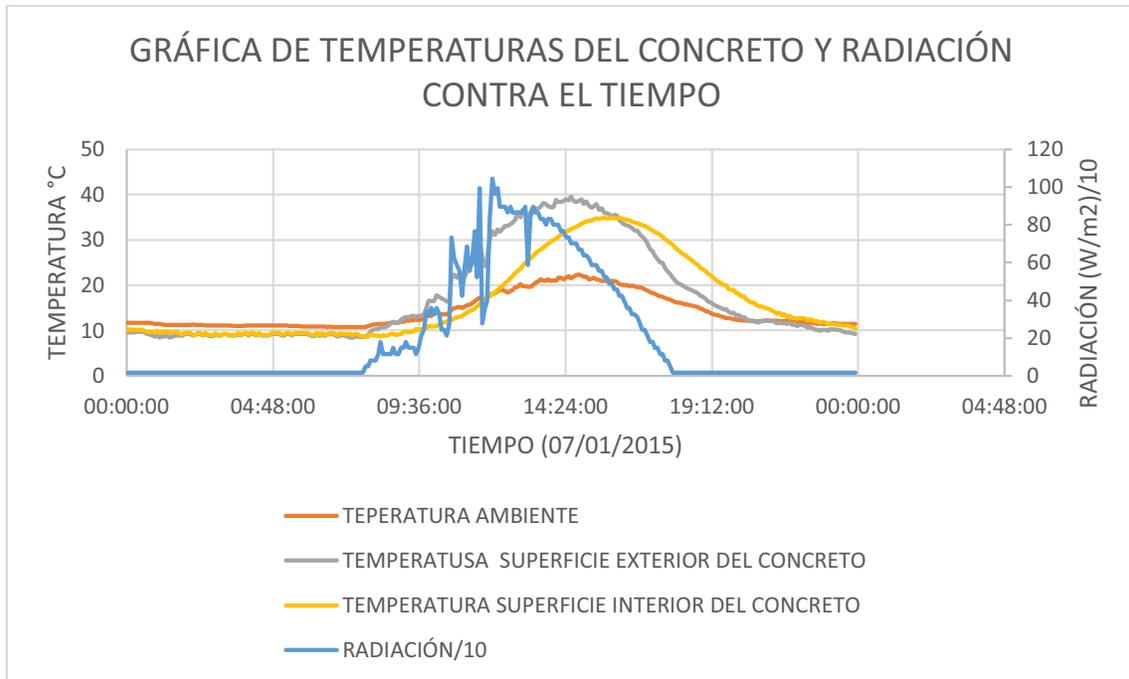
Gráfica 40 del concreto del día 30/12/2014.



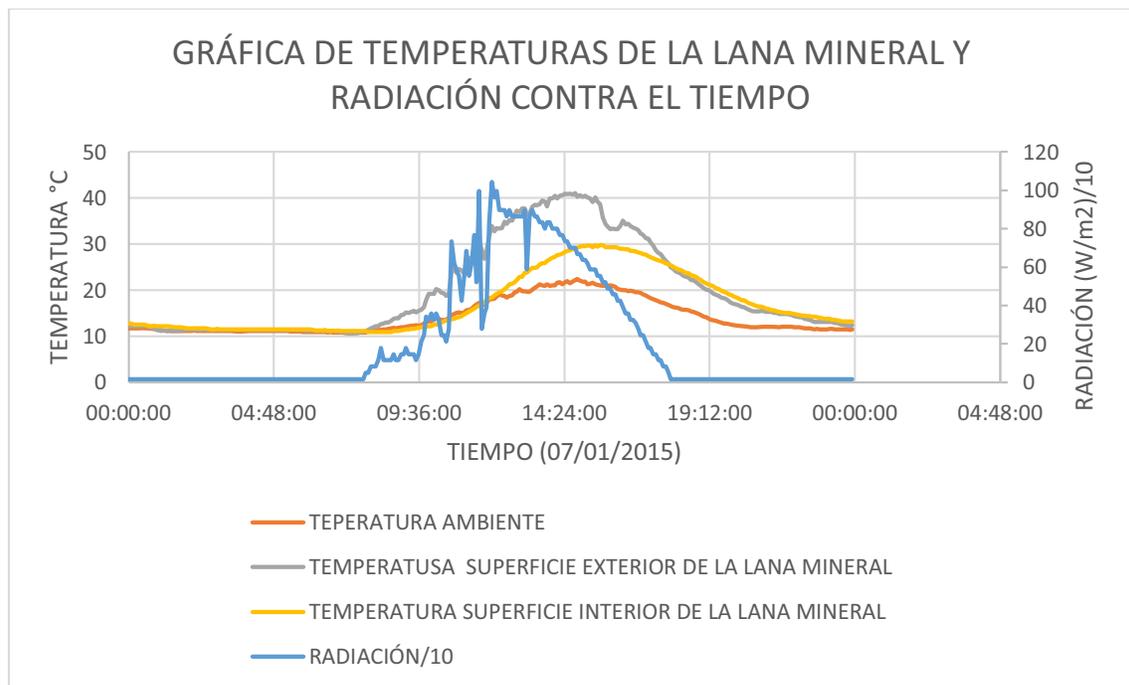
Gráfica 41 d la lana mineral del día 30/12/2014.



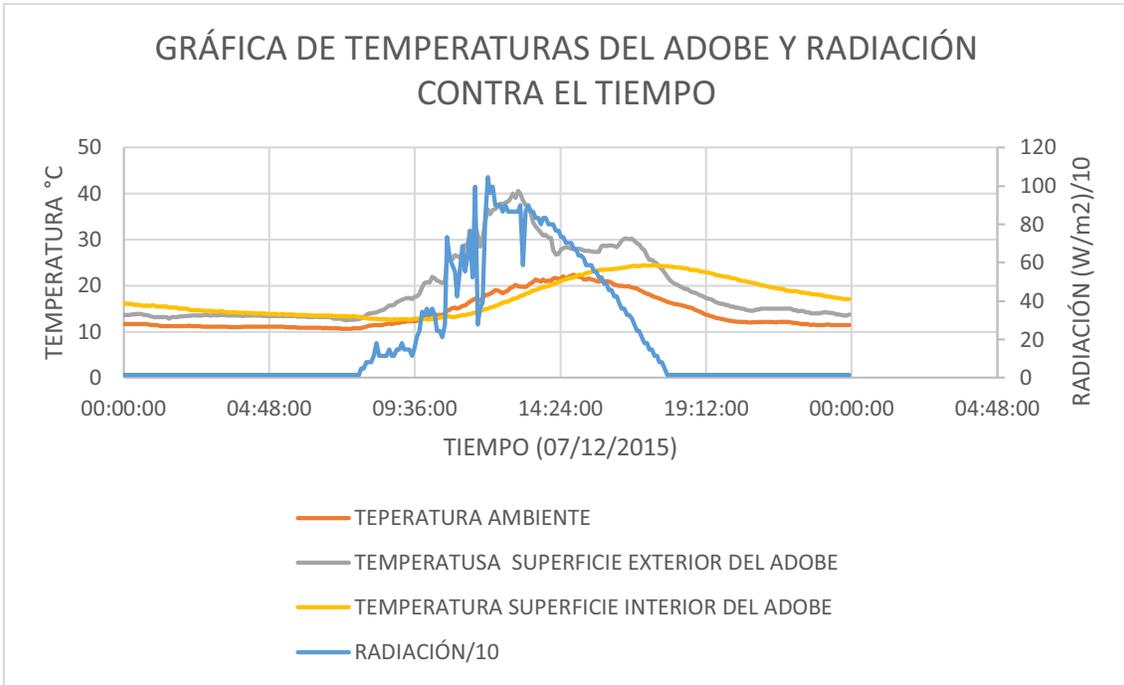
Gráfica 42 del adobe del día 30/12/2014



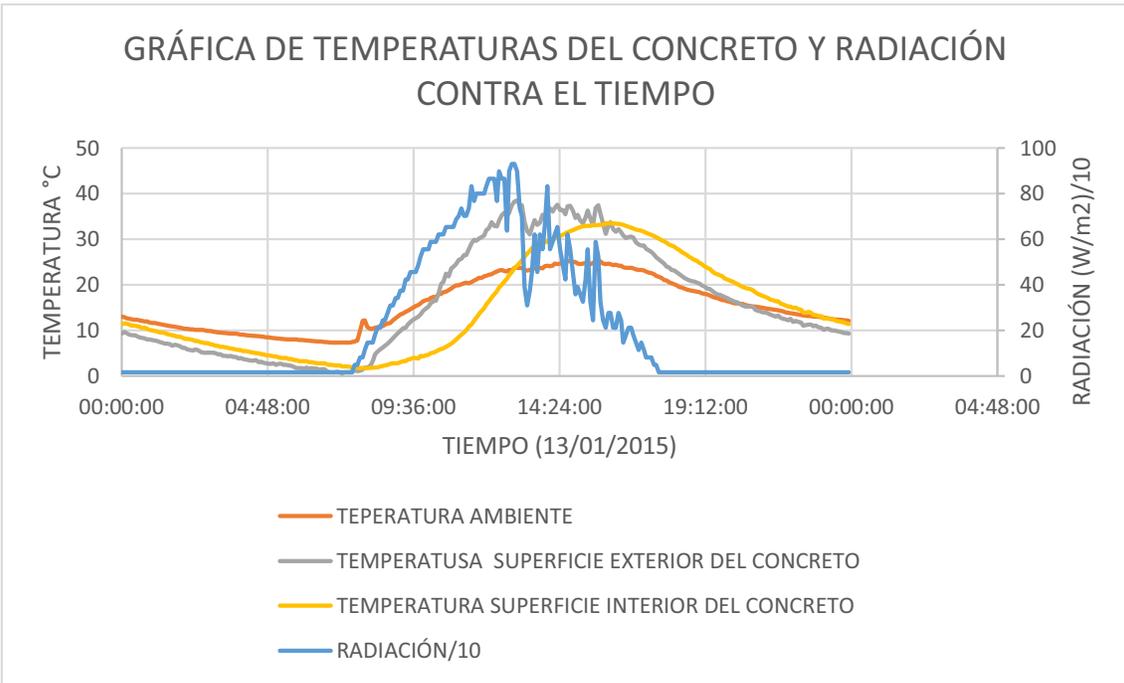
Gráfica 43 del concreto del día 07/01/2015



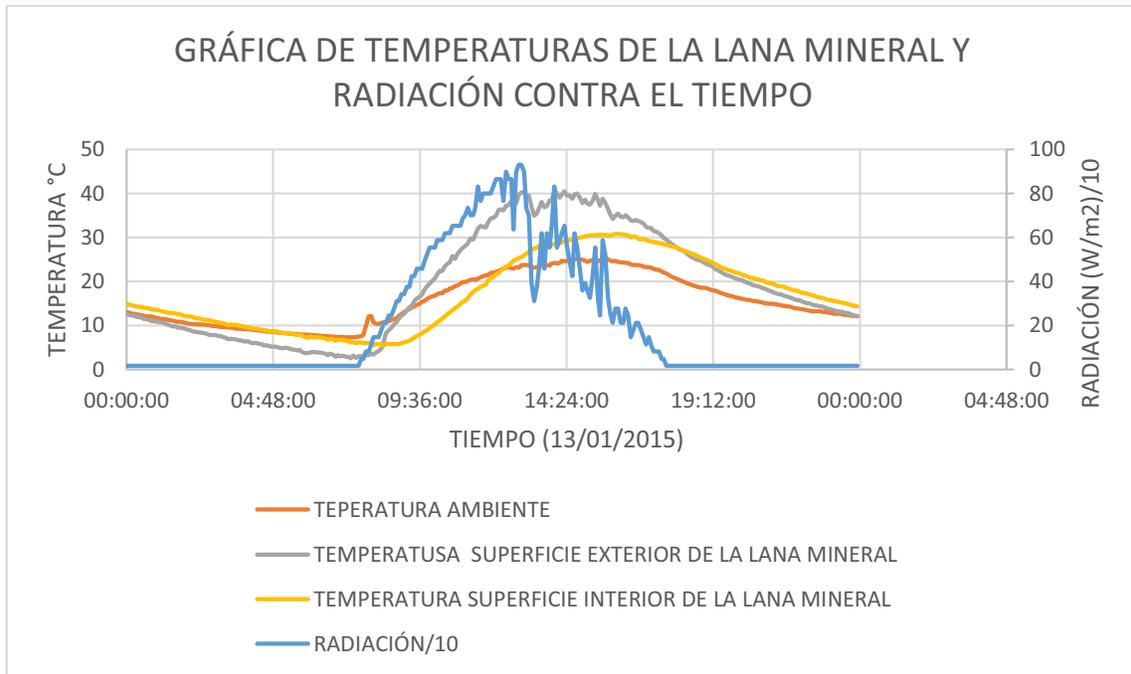
Gráfica 44 de la lana mineral del día 07/01/2015.



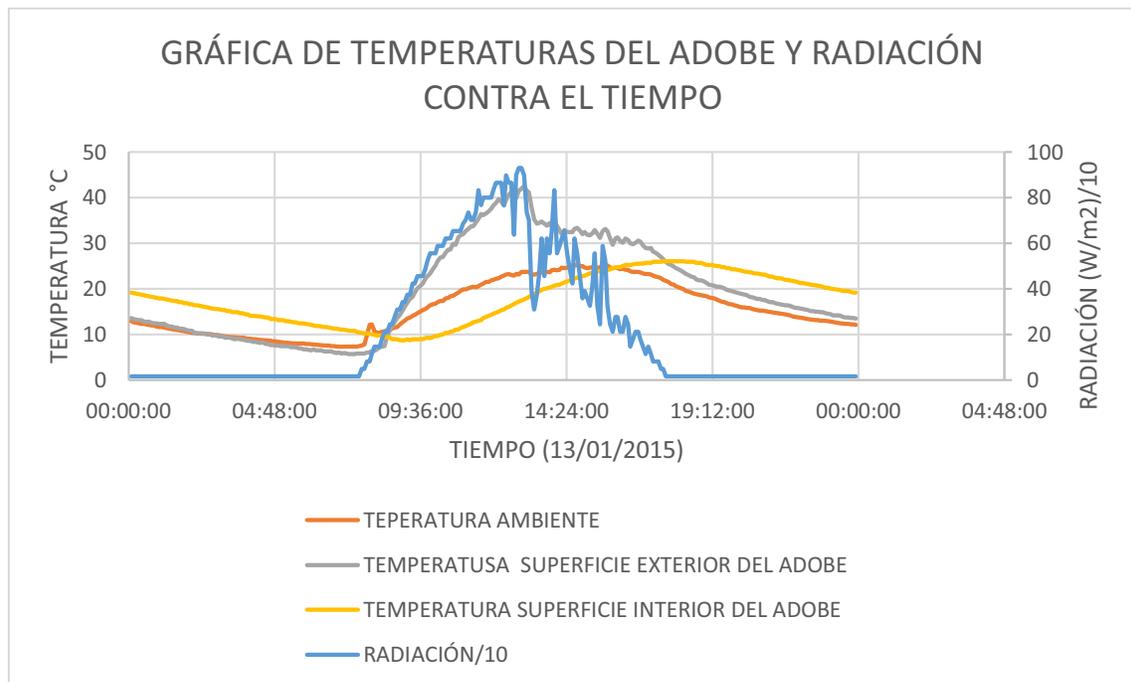
Gráfica 45 del adobe del día 07/01/2015.



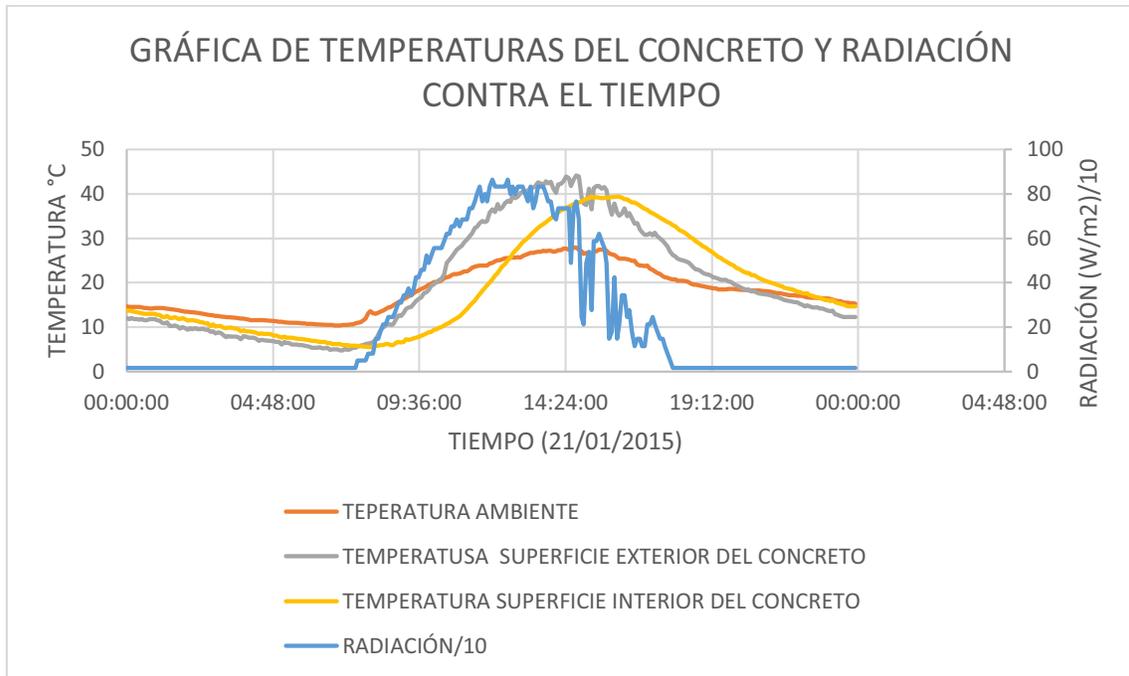
Gráfica 46 del concreto del día 13/01/2015.



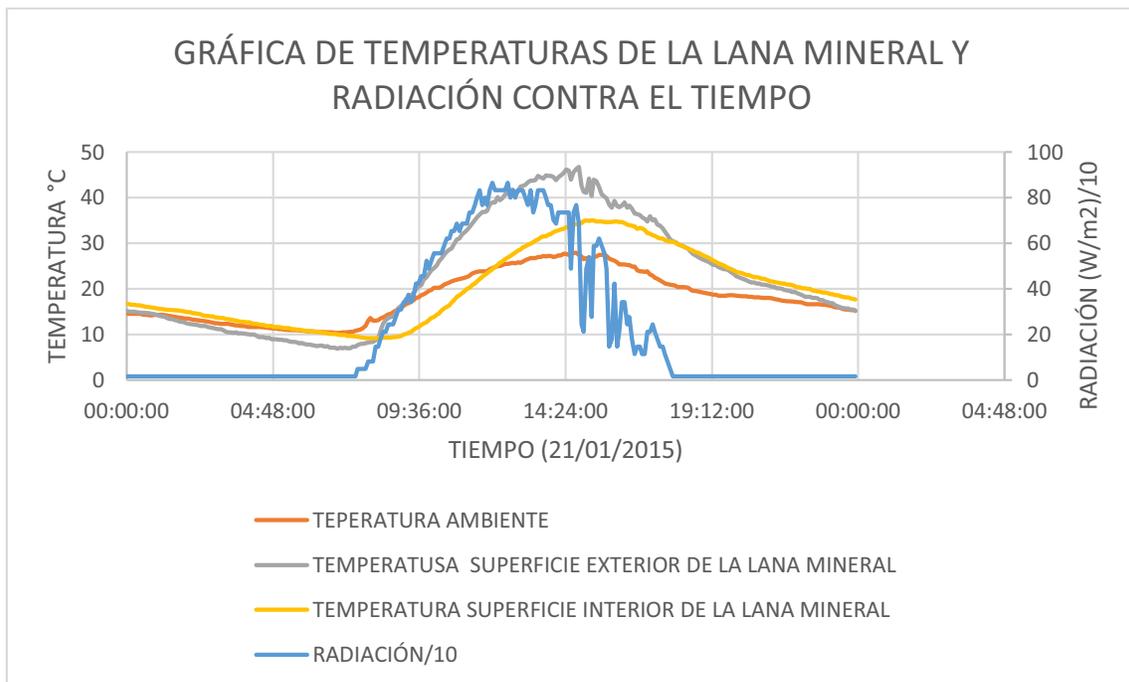
Gráfica 47 de la lana mineral del día 13/01/2015.



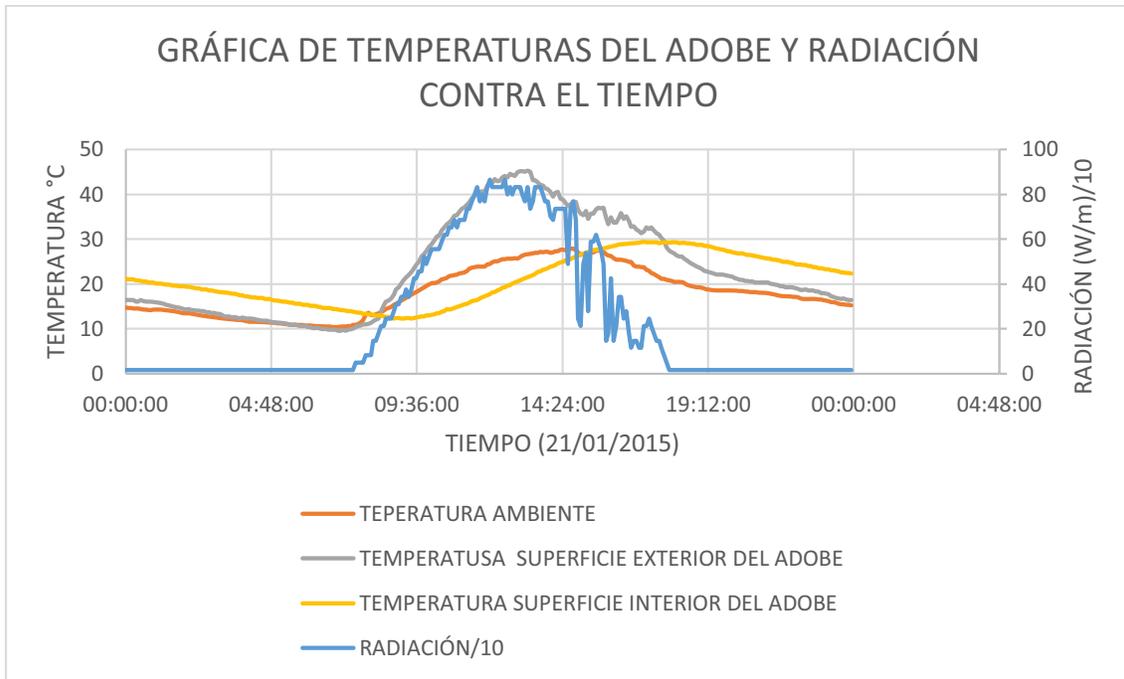
Gráfica 48 del adobe del día 13/01/2015.



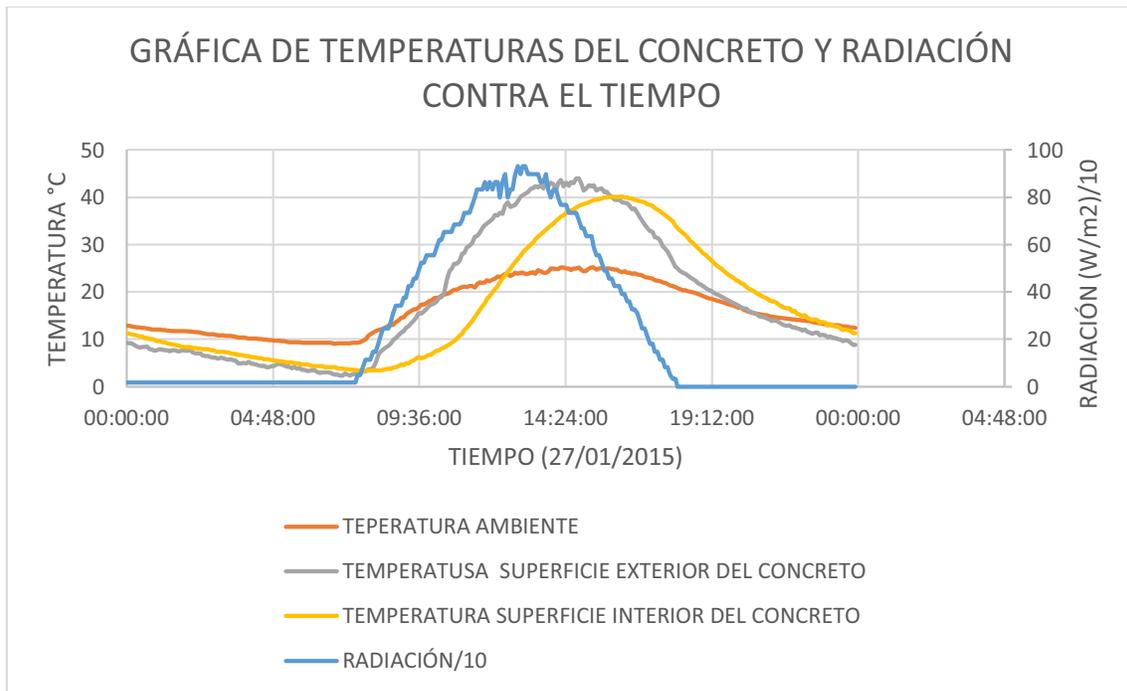
Gráfica 49 del concreto del día 21/01/2015.



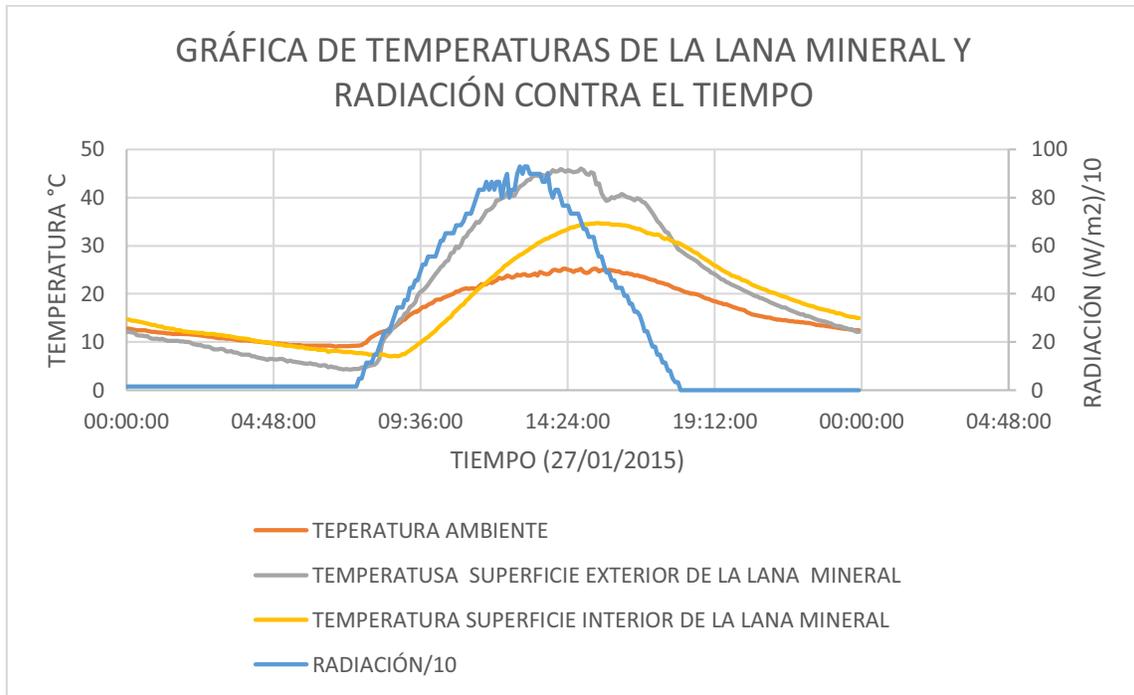
Gráfica 50 de la lana mineral del día 21/01/2015.



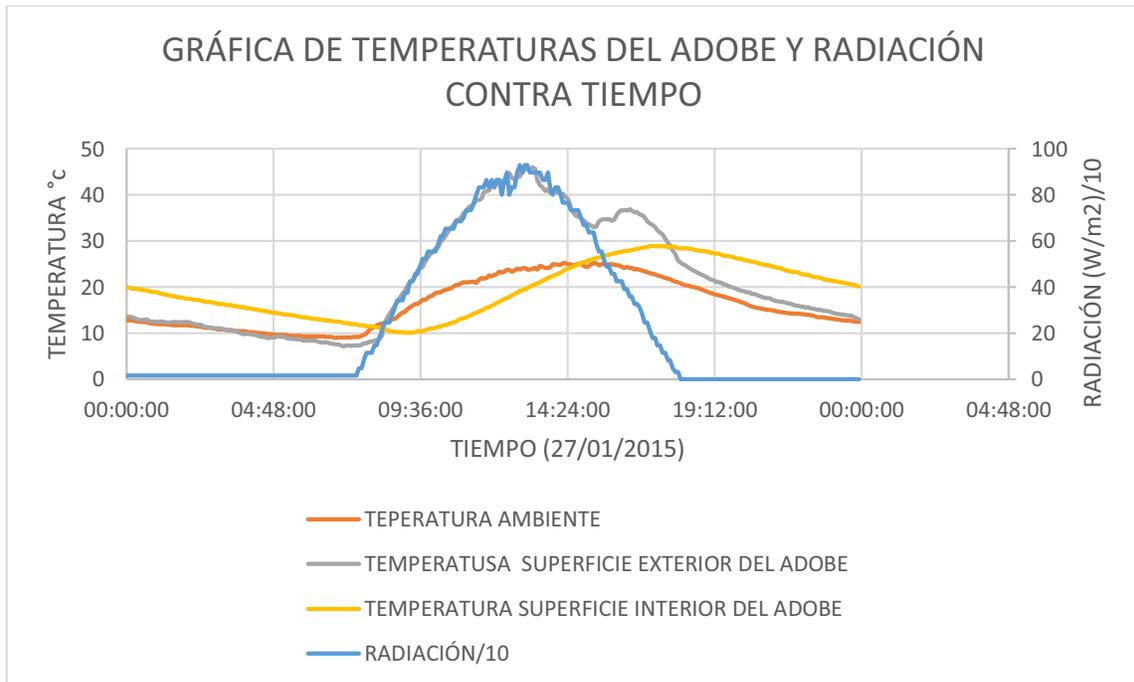
Gráfica 51 del adobe del día 21/01/2015.



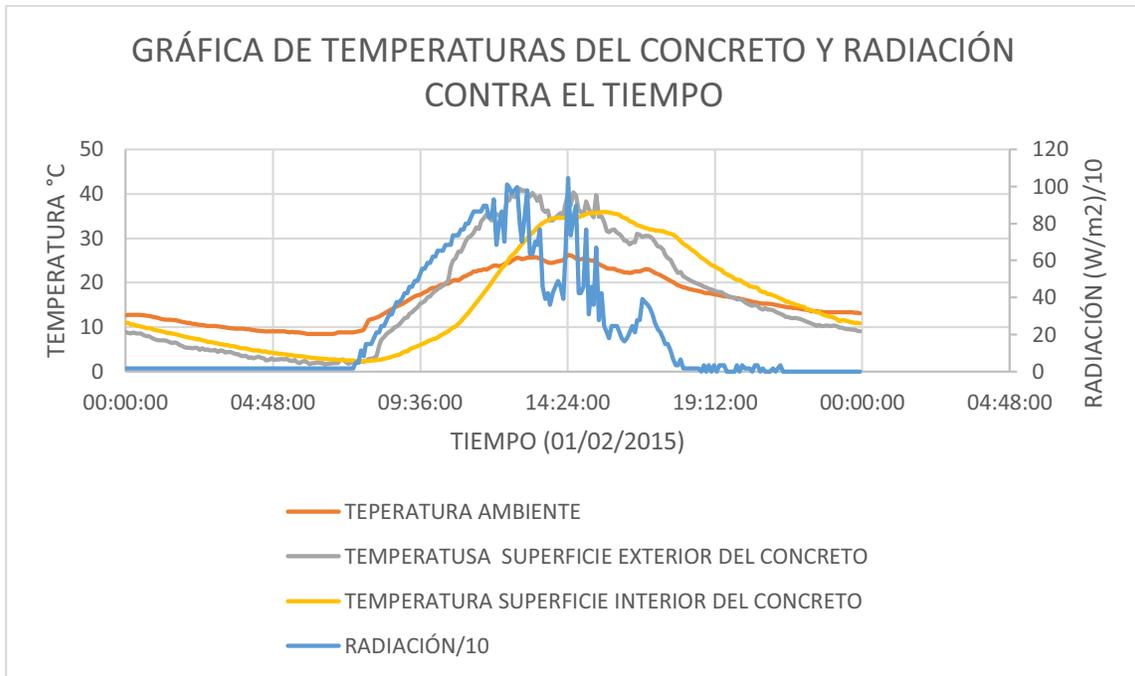
Gráfica 52 del concreto del día 27/01/2015.



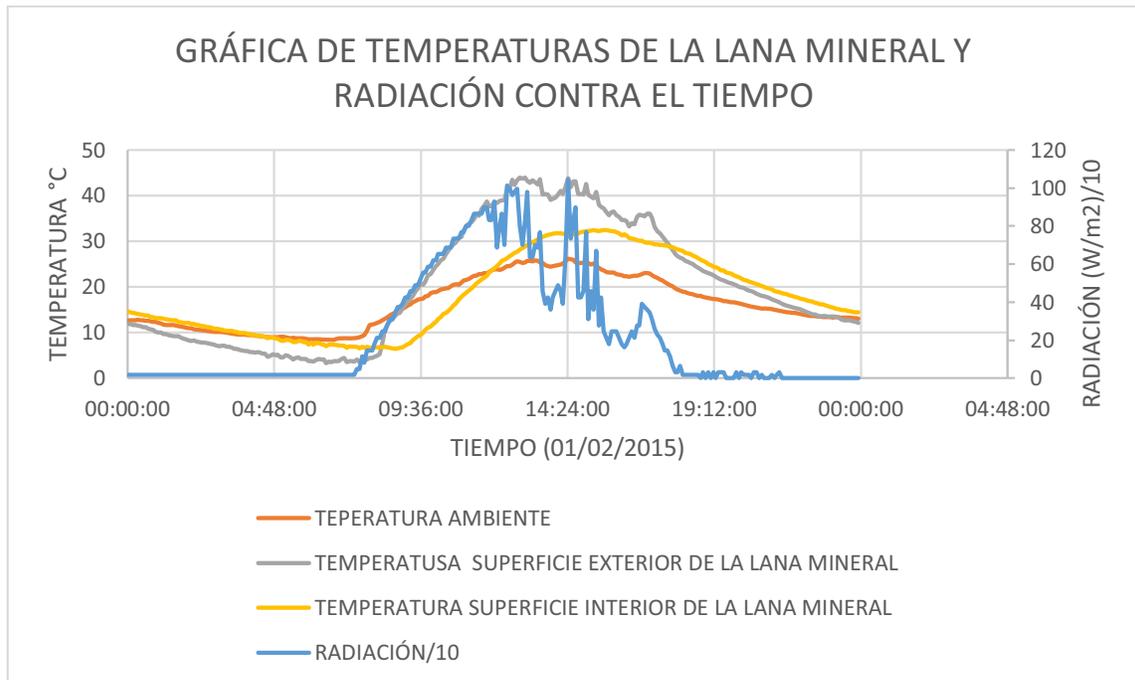
Gráfica 53 de la lana mineral del día 27/01/2015.



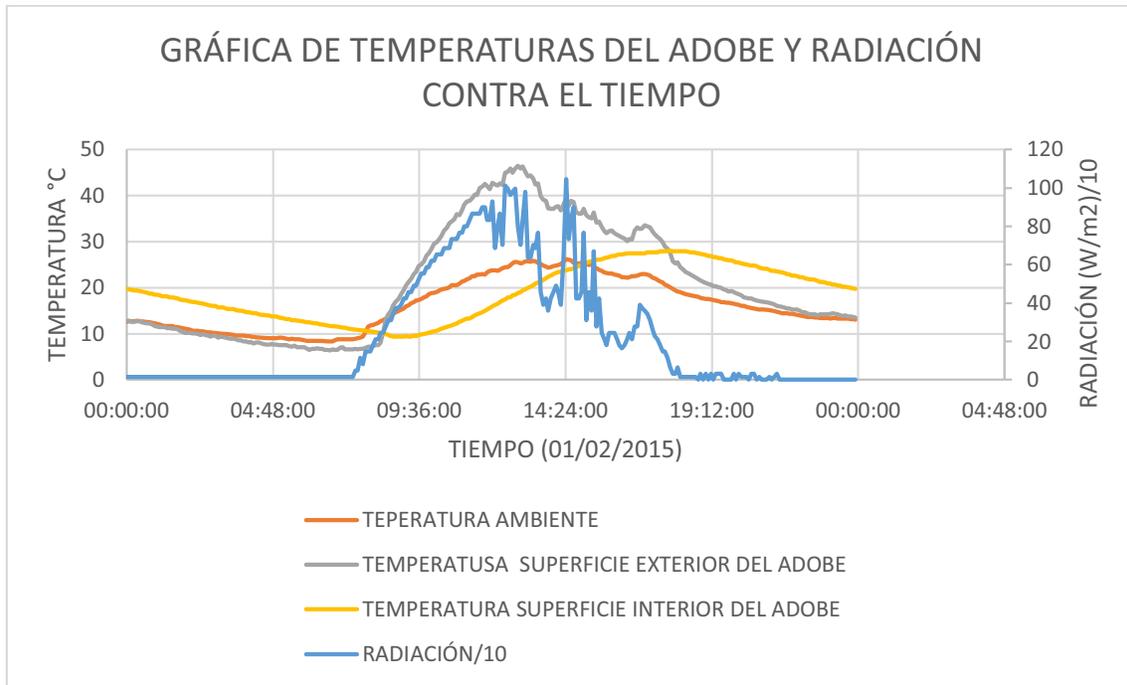
Gráfica 54 del adobe del día 27/01/2015.



Gráfica 55 del concreto del día 01/02/2015.



Gráfica 56 de la lana mineral del día 01/02/2015.



Gráfica 57 del adobe del día 01/201/2015.

Para calcular la conductividad de las losas, se necesita obtener el coeficiente convectivo, para ello nos apoyaremos en la tabla A15 del apéndice 1 del libro de Transferencia de Calor y Masa, “Cengel”

propiedades de aire a 1 atm				
T [°C]	Conductividad Térmica W/m*K	difusividad térmica α (m ²)/(s ²)	Viscosidad cinemática ν (m ²)/s	Número de Prandt
5	0.02401	0.00001880	0.00001382	0.735
10	0.02439	0.00001944	0.00001426	0.7336
15	0.02476	0.00002009	0.00001470	0.7323
20	0.02514	0.00002074	0.00001516	0.7309
25	0.02551	0.00002141	0.00001562	0.7296
30	0.02588	0.00002208	0.00001608	0.7282
35	0.02625	0.00002277	0.00001655	0.7264
40	0.02662	0.00002346	0.00001702	0.7255
45	0.02699	0.00002416	0.00001750	0.7241
50	0.02735	0.00002487	0.00001798	0.7228
60	0.02808	0.00002632	0.00001896	0.7202

Tabla número 3. Propiedades del aire a una atmosfera, sólo los valores entre 5 y 60 °C

Se graficó cada una de estas propiedades del aire contra la temperatura para hacer un ajuste de cada gráfica, obtener la ecuación de la misma y poder introducirla en las hojas de cálculo, la cual se anexará en los entregables. Las ecuaciones para calcular las propiedades del aire y así calcular la convección natural son las siguientes:

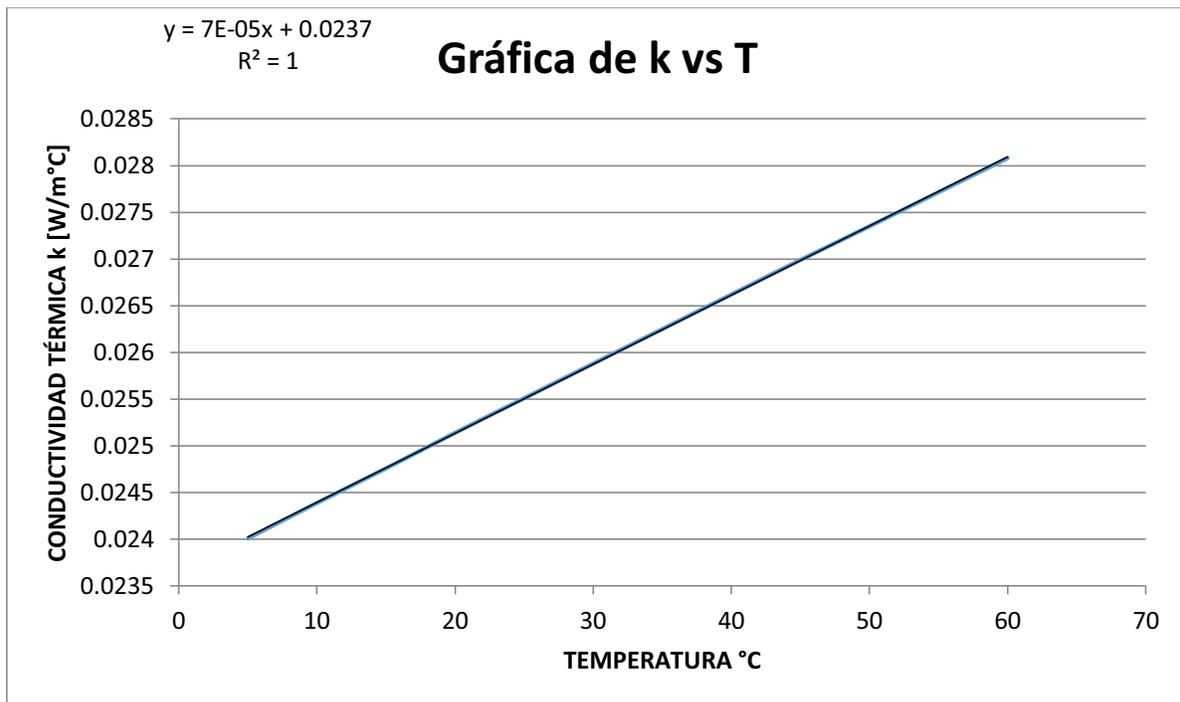
$$k = 7e^{-5}T + 0.0237 \quad ec(20)$$

$$\alpha = 1e^{-7}T + 2e^{-5} \quad ec(21)$$

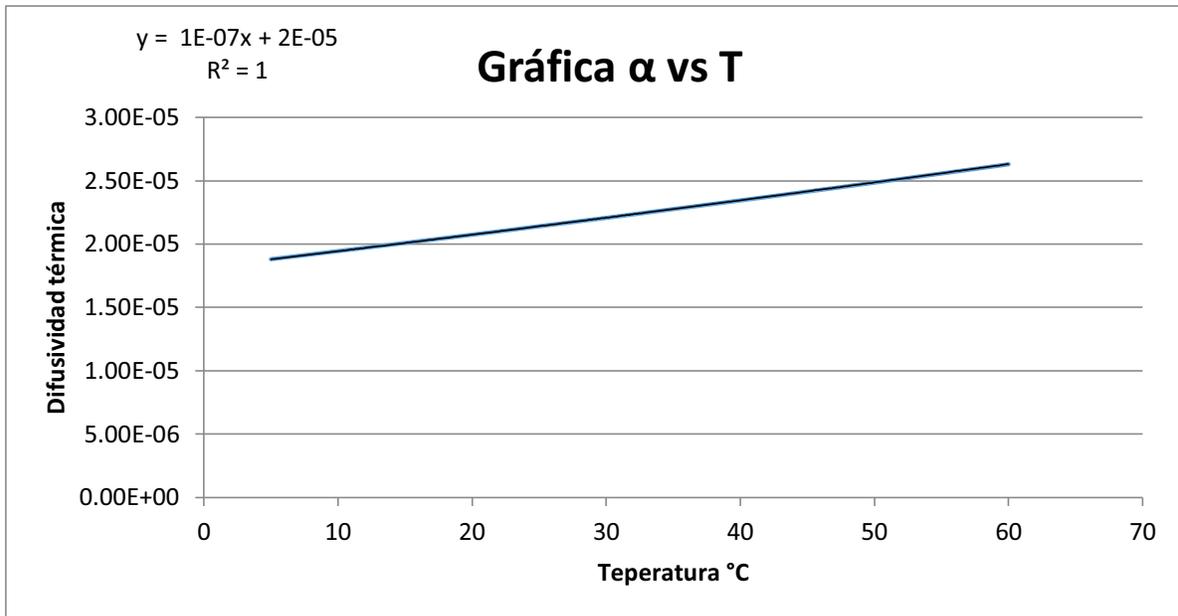
$$\nu = 5e^{-8}T + 2e^{-5} \quad ec(22)$$

$$Pr = -0.0003T + 0.7363 \quad ec(23)$$

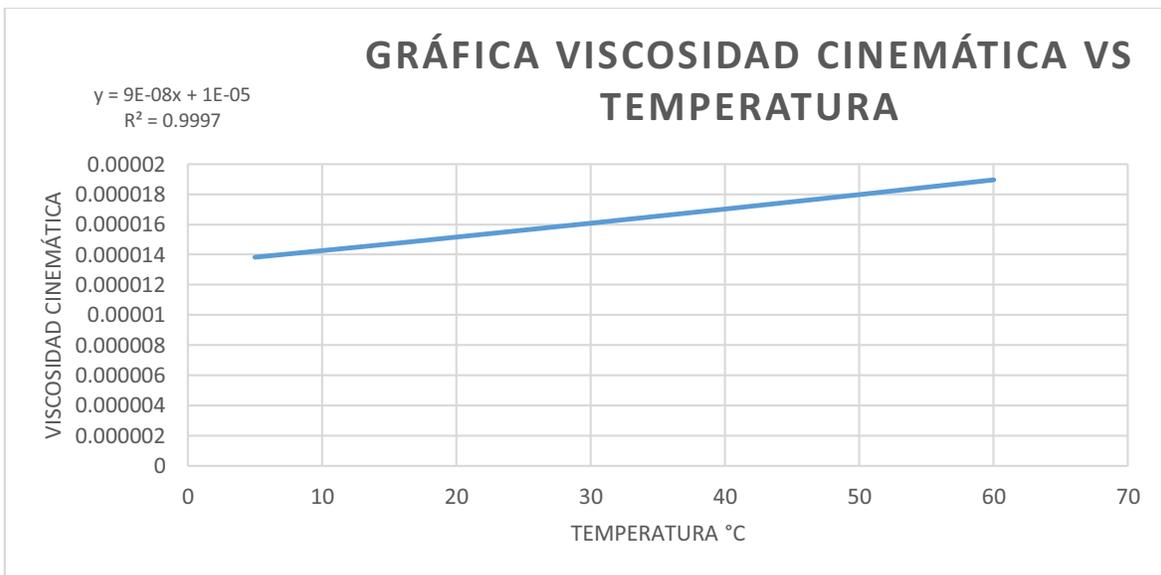
Las gráficas resultantes son las siguientes, que como podemos ver son líneas rectas.



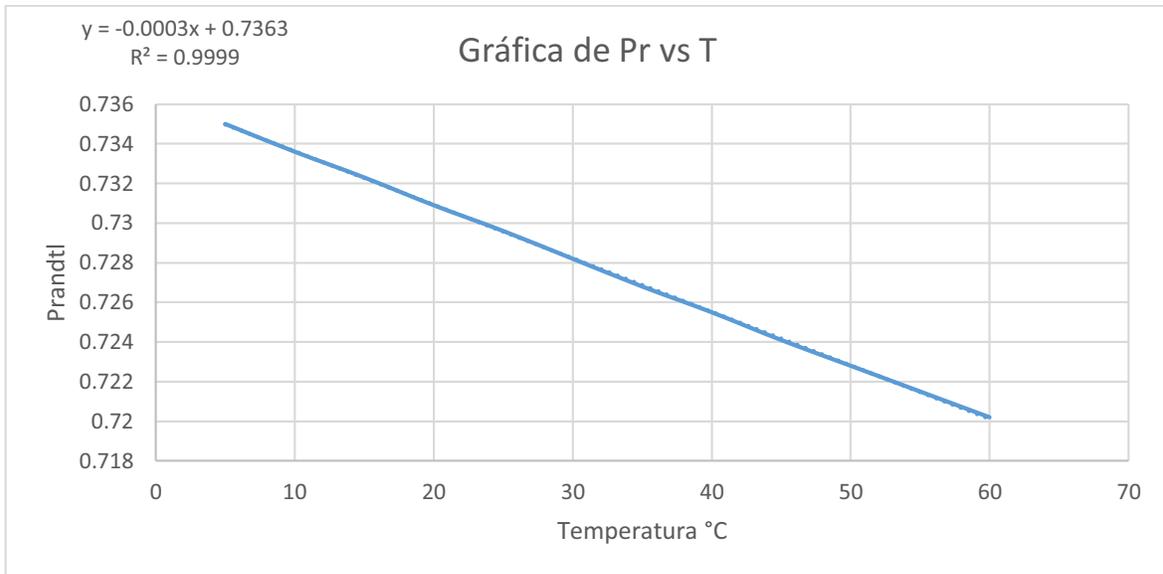
Gráfica 58 conductividad del aire contra la temperatura



Gráfica 59 difusividad térmica del aire contra la temperatura



Gráfica 60. Viscosidad cinemática contra temperatura



Gráfica 61 Prandtl vs temperatura

Al hacer los cálculos con las ecuaciones mencionadas en la sección 3.4 la constante k resulta negativa, es a causa de que no se tomó en cuenta el cambio de energía interna de cada losa, por lo tanto de la ecuación 1 despejaremos q_k y eliminando el área de todos los términos, obtenemos la siguiente ecuación:

$$q_k'' = G \propto -q_r'' - q_c'' - \frac{\Delta EI}{\Delta t} \quad ec.24$$

Se sustituye en la ecuación 9 y queda de la siguiente manera

$$k_1 = \frac{e_1}{\left[\frac{(T_1 - T_2)}{G\alpha - q_r'' - q_c'' - \frac{\Delta EI}{\Delta t}} - \frac{e_2}{k_m} \right]} \quad ec(25)$$

Al hacer los cálculos utilizando la ecuación 25 seguimos obteniendo resultados negativos por diferentes motivos, los cuales los discutiremos en la siguiente sección.

5.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Hemos analizado los resultados de la conductividad térmica de los techos de las tres habitaciones, la conductividad térmica que obtuvimos es de valores negativos, muy pequeños o muy grandes, no nos da una constante, esto es debido a factores como temperatura, humedad, velocidad del viento, nubes, entre otros.

Analizando la ecuación 25, espesor e_2 (espesor del triplay $e=0.02$ m) y k_m (conductividad del triplay 0.115 W/m°C) la división de este factor arroja un valor más alto que el de la diferencia de temperaturas entre el calor por conducción, esto ocasiona que el valor quede negativo.

También si las sumas del calor por conducción, por radiación y el cambio de energía interna, son mayor al valor de $G\alpha$, esto ocasiona que el valor sea negativo, con respecto a la diferencia de temperaturas, si el valor del T_2 es más alto que T_1 el resultado otra vez sea negativo.

El valor del coeficiente convectivo que se obtuvo fue muy bajo, esto provoca que el calor que se pierde por convección sea de igual manera bajo, como el valor de $G\alpha$ es alto y se pierde muy poco por radiación y convección, ocasiona que al momento de dividir la diferencia de las temperaturas que está en el rango de entre 10 y 20 °C, de un valor muy pequeño, de hecho es más bajo que el resultado de la división entre el espesor del triplay y el coeficiente convectivo del mismo, y al hacer la resta vuelve a quedar negativo.

Por otro lado en la sección 2.7 del libro de Transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel nos comentan que la conductividad del material varía con la temperatura, pero es moderada en muchos materiales en un rango de interés práctico, lo mencionado anteriormente nos dice que si el material está y enfriándose de una manera no controlada sería muy difícil saber el valor de la conductividad térmica de estas losas.

Una opción para saber con certeza la conductividad térmica del material con el que están fabricados estos techos, es hacer el experimento controlando los factores

como la humedad, temperaturas, calor que se le suministre a la muestra que sería la entrada de energía, las pérdidas por convección o radiación, y lograr que la muestra esté en equilibrio térmico.

5.4 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL BAMBÚ COMO PARED CILINDRICA

La conductividad térmica del bambú es de $0.12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ según Giovanna Bárbaro (2007) en su reporte "Transformación e industrialización del bambú", este es un dato que se calculó en Colombia, que seguramente fue hecho con bambú colombiano. Nosotros para este reporte se hicimos el estudio térmico del bambú con bambú mexicano.

Se hace el estudio a un cilindro de bambú con un diámetro interior de 64 mm, un diámetro exterior de 86 mm y una longitud 80 mm, como se muestra en la figura 11, donde P_1 , P_2 y P_3 indican la posición de los termopares que se localizan en la superficie interior de bambú, P_4 , P_5 y P_6 indican la posición de los termopares en la superficie exterior. Los termopares utilizados en esta prueba son tipo K calibre 24.

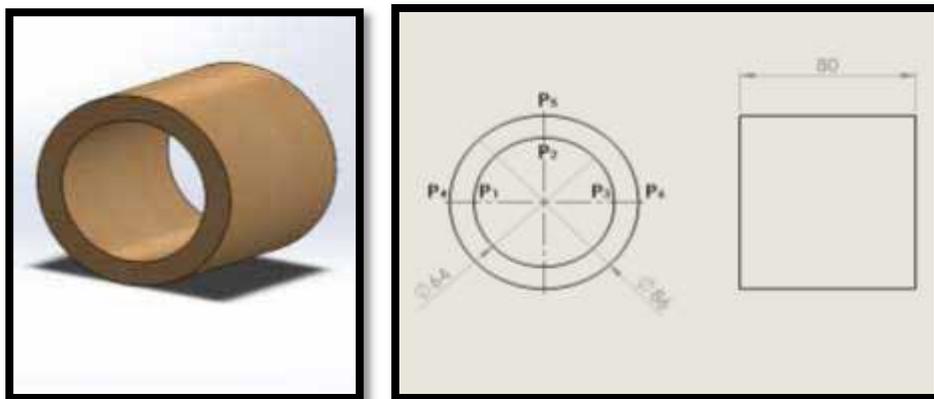


Figura 11. Bambú como pared cilíndrica

Se trató de mantener la muestra de bambú como pared cilíndrica con el mínimo de humedad posible, ya que la misma afecta la conductividad térmica.

Para calcular el coeficiente en una pared cilíndrica se necesitan ecuaciones en coordenadas cilíndricas y son las siguientes:

$$q_k = \frac{2\pi kL}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (T_1 - T_2) \quad ec\ 26$$

Donde:

L= Longitud del cilindro.

r_1 =Radio interior.

r_2 =Radio exterior.

La resistencia térmica en una pared cilíndrica es la siguiente:

$$R_k = \frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{2\pi kL} \quad ec\ 27$$

Con las mediciones que se tomaron en el bambú como pared cilíndrica se hizo una hoja de cálculo de Excel anexa a los entregables electrónicos de este trabajo, utilizando un potenciómetro el cual tiene una resistencia de 25 Ω , se hicieron cuatro pruebas con diferente voltaje, con 14 V, 11.2 V, 8.4 V y 5.6 V. En la figura 12 podemos ver la imagen de potenciómetro.



Figura 12. Imagen del potenciómetro

Se le colocan tres termopares en la superficie exterior (P₄, P₅ y P₆) y tres en la interior (P₁, P₂ y P₃) del cilindro del bambú, se rellena de lana mineral para que el calor generado por el potenciómetro salga en dirección radial, así como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Bambú conectado y equipado

La conductividad del bambú se despeja de la ecuación 28 y queda de la siguiente manera.

$$k = \frac{q_k \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L(T_1 - T_2)} \quad ec \ 28$$

Se calculó la conductividad térmica para cada prueba, los valores de temperatura que se tomaron fueron los resultantes al momento que el bambú estuvo en equilibrio térmico. Una vez ya calculada la k en las cuatro pruebas, se promedió el resultado, el cual es el siguiente:

$$k_{\text{bambú}} = 0.1727 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

En la tabla 4 podemos observar en resumen los resultados de las cuatro pruebas que se le realizaron al bambú como superficie cilíndrica.

PARA EL VOLTAJE DE 14 V							
T INT	T EXT	q	K DEL BAMBÚ		K PROMEDIO DEL BAMBÚ	0.1727	
62.43	38.7	7.84	0.1942				
PARA EL VOLTAJE DE 11.2 V							
T INT	T EXT	q	K DEL BAMBÚ				
52.87	33.37	5.0176	0.1513				
PARA VOLTAJE DE 8.4 V							
T INT	T EXT	q	K DEL BAMBÚ				
34.93	25.53	2.8224	0.1765				
PARA VOLTAJE DE 5.6							
T INT	T EXT	q	K DEL BAMBÚ				
25.5	21.13	1.2544	0.1687				

Tabla 4 resumen de los resultados del bambú como pared cilíndrica

El resultado obtenido está dentro del rango esperado con los bambús de los que se tomaron como referencia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Se ha determinado la conductividad térmica del bambú tanto como material independiente así como elemento integral de un techo. Los mejores resultados fueron obtenidos en pruebas térmicas muy controladas sobre la pared cilíndrica de un tramo de bambú. En estas pruebas se midieron temperaturas en la superficie interior y en la superficie exterior del cilindro, se aplicó un flujo de calor eléctrico en el interior del cilindro, y se aseguró que este flujo de calor sólo ocurra radialmente.

De las pruebas realizadas con los techos en la intemperie se puede asegurar que requieren de un análisis más detallado y más complejo, así como de una selección ponderada de los fenómenos que ocurren, a saber: determinar si pueden despreciarse algunos factores presente, y darle más peso a otros. De cualquier manera, los datos de campo, que fueron tomados cada 5 minutos, están cargados de información muy importante que servirá para estudios ulteriores más allá de los objetivos planteados para este proyecto. Podemos decir que se alcanzó el objetivo principal: determinación de la conductividad térmica de techos con bambú obtenida con pruebas de campo bajo radiación solar sobre el techo.

6.2 OBSERVACIONES

Los resultados de las losas son muy variados debido a que los factores que intervienen en el proceso de transferencia de calor por conducción los cuales son múltiples, además de los ambientales que son muy variables.

6.3 RECOMENDACIONES

Dentro de un proyecto siempre se desea mejoras continuas, por lo tanto recomiendo a futuros estudiantes interesados con el tema, hacer más estudios y con controles más estrictos durante las pruebas para tener resultados controlados,

La conductividad térmica del bambú varía bastante con la humedad del mismo, y por este motivo se recomienda hacer un estudio sobre la conductividad térmica del bambú en diferentes condiciones, tales como: húmedo saturado, fresco (recién cortado), totalmente seco, entre otros.

También se recomienda hacer el estudio del bambú como pared plana, es decir abriendo el cilindro y extenderlo, de tal manera que quede una pared plana y comparar los resultados con los obtenidos en este proyecto como pared cilíndrica

En cuanto al valor del calor específico (c , J/kg°C) del bambú que trabajamos, se recomienda cortar un cubo de 10 mm de lado, pesarlo, enrollarlo con resistencia eléctrica y forrado con un material aislante para analizar la cantidad de energía que se necesita para elevar un grado centígrado la muestra, con la ecuación 29.

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

ec 29

REFERENCIAS

Duffie, J. A. y Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, ed. John Wiley, New York, 1980.

Yunus A. Cengel, Transferencia de Calor y Masa Fundamentos y Aplicaciones, edMcGraw Hill, cuarta edición, 2012

Giovanna Bárbaro, "Transformación e Industrialización del Bambú", Revista Arquitectura del Paisaje, Vol. 155, 2007,

Jörg Stamm "La Evolución de los Métodos constructivos con Bambú" Arquitecturas del bambú, España, 2008.

PLASTICOOL, tabas técnicas de productos PLASTICOOL México 2013.

AUCOMEX Ficha técnica del productos AUCOMEX México 2010

ELASTON dictamen de idoneidad técnica de productos de recubrimiento, México 2013.

NOM-015-STPS-2001, Condiciones Térmicas México, 2001.

Lucia Arias, Análisis del confort térmico en viviendas, tesis de maestría, Argentina 2010.

Emilio Castejón Villeda, "Confot Térmico Método de frager para su evaluación" tesis de maestría, España, 1983