

# CARACTERIZACIÓN DEL TUNEL DE SECADO SOLAR TIPO HOHENHEIM

LINA MARÍA PARRA ALMANZA  
SANTIAGO CÁRDENAS HERRERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FLORIDABLANCA  
2019

# CARACTERIZACIÓN DE UN TUNEL DE SECADO SOLAR TIPO HOHENHEIM

LINA MARÍA PARRA ALMANZA  
SANTIAGO CARDENAS HERRERA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero(a) Mecánico(a)

Dr. Agr. Sandra Patricia Cuervo Andrade  
Directora

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FLORIDABLANCA  
2019

Nota de aceptación:

\_\_\_\_\_ JURADO

\_\_\_\_\_ JURADO

Fecha:

Quiero agradecerle a Dios y a la vida por haberme ayudado en toda mi formación, a mis padres por haber sido mi motor para seguir adelante ante cualquier problema, a mi hermana y a mi abuela por haber estado ahí en los momentos de frustración, a todos mis profesores por haberme enseñado e instruido y a mis compañeros por demostrar que la unidad hace la fuerza y a Lina por estar conmigo desde el inicio de la carrera y siempre apoyándonos.

Santiago Cárdenas Herrera

Gracias primeramente a Dios por la vida, a mis padres por apoyarme y darme la oportunidad de formarme, a mis hermanos por ayudarme a formar mi carácter, a Rodri por enseñarme el valor del compromiso con el otro, a la profe Sandra por su entrega y su paciencia y por último a Santiago, por acompañarme en estos 5 años de aprendizaje continuo y enseñarme el valor de la amistad.

Lina María Parra Almanza

## CONTENIDO

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                                                                   | <b>1</b>  |
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                                                                                  | <b>3</b>  |
| 1.1 OBJETIVOS                                                                                                         | 3         |
| 1.1.1 Objetivo general                                                                                                | 3         |
| 1.1.2 Objetivos específicos                                                                                           | 3         |
| 1.2 ALCANCE                                                                                                           | 5         |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN                                                                                                     | 5         |
| <b>2. ANTECEDENTES</b>                                                                                                | <b>6</b>  |
| <b>3. MARCO TEÓRICO</b>                                                                                               | <b>9</b>  |
| 3.1 SECADOR SOLAR                                                                                                     | 9         |
| 3.2 SECADOR SOLAR TIPO TÚNEL HOHENHEIM                                                                                | 10        |
| 3.3 VENTAJAS DEL SECADO                                                                                               | 11        |
| 3.4 SECADO AL AIRE LIBRE                                                                                              | 11        |
| <b>4 METODOLOGÍA</b>                                                                                                  | <b>13</b> |
| 4.1 PUESTA A PUNTO DE LOS TÚNELES                                                                                     | 13        |
| 4.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES                                                                                            | 14        |
| 4.2.1 Diseño experimental                                                                                             | 14        |
| 4.2.2 Instrumentos y equipos                                                                                          | 16        |
| 4.2.3 Ubicación de los instrumentos y equipos                                                                         | 17        |
| 4.2.4 Prueba de secado con producto en la cámara de secado                                                            | 18        |
| <b>5 RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>                                                                                        | <b>21</b> |
| 5.1 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA                                                                                        | 25        |
| 5.1.1 Prueba con la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente | 25        |
| 5.1.2 Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra                                  | 27        |
| 5.1.3 Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra                                   | 30        |
| 5.1.4 Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente                            | 32        |
| 5.1.5 Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra                                     | 35        |
| 5.1.6 Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente                              | 37        |

|       |                                                                                                                                                                                       |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.7 | Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente, replica1 | 40 |
| 5.1.8 | Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra                                                                                                            | 42 |
| 5.2   | ANÁLISIS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CÁMARA DE SECADO                                                                                                                                   | 45 |
| 5.2.1 | Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente                                                                                                 | 45 |
| 5.2.2 | Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra                                                                                                        | 47 |
| 5.2.3 | Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra                                                                                                         | 50 |
| 5.2.4 | Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente                                                                                                  | 52 |
| 5.2.5 | Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra                                                                                                           | 55 |
| 5.2.6 | Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente                                                                                                    | 57 |
| 5.2.7 | Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente                                                                                                     | 60 |
| 5.2.8 | Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra                                                                                                            | 62 |
| 5.3   | ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LA CÁMARA DE SECADO CON PRODUCTO.                                                                                                       | 65 |
| 5.3.1 | Temperatura                                                                                                                                                                           | 65 |
| 5.3.2 | Humedad                                                                                                                                                                               | 66 |
| 6     | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                          | 69 |
| 7     | RECOMENDACIONES                                                                                                                                                                       | 70 |
| 8     | BIBLIOGRAFÍA                                                                                                                                                                          | 71 |
| 9.    | ANEXOS                                                                                                                                                                                | 73 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Componentes del secador de túnel tipo Hohenheim .....                                                                                                                                             | 6  |
| Figura 2. Secador solar tipo túnel Hohenheim. Pasca, Cundinamarca .....                                                                                                                                     | 7  |
| Figura 3. Secador solar .....                                                                                                                                                                               | 9  |
| Figura 4. Secador solar tipo túnel Hohenheim .....                                                                                                                                                          | 11 |
| Figura 5. Actividades para cada objetivo con la metodología propuesta .....                                                                                                                                 | 13 |
| Figura 6. Paso a paso de la puesta a punto de los túneles .....                                                                                                                                             | 14 |
| Figura 7. Ubicación de los instrumentos de medición .....                                                                                                                                                   | 18 |
| Figura 8. Distribución de las bandejas .....                                                                                                                                                                | 19 |
| Figura 9. Distribución de las bandejas y los termohigrometros en la cámara de secado .....                                                                                                                  | 20 |
| Figura 10. Comportamiento de la temperatura en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 9)...                           | 25 |
| Figura 11. Comportamiento de la temperatura en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 17).                            | 26 |
| Figura 12. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 10) .....       | 28 |
| Figura 13. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 18) .....       | 29 |
| Figura 14. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 11) .....         | 30 |
| Figura 15. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 19) .....         | 31 |
| Figura 16. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 12) ..... | 33 |
| Figura 17. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 20) ..... | 34 |
| Figura 18. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 5) .....           | 35 |
| Figura 19. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 13) .....          | 36 |
| Figura 20. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 6) .....    | 38 |
| Figura 21. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 22) .....   | 39 |

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 7) .....  | 40 |
| Figura 23. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 15) ..... | 41 |
| Figura 24. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 8) .....         | 43 |
| Figura 25. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 16) .....        | 44 |
| Figura 42. Temperatura en la cámara de secado con producto vs Hora del día .....                                                                                                                         | 65 |
| Figura 43. Humedad relativa en la cámara de secado con producto vs Hora del día .....                                                                                                                    | 66 |



## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Diseño experimental fraccionado .....                                                                                                   | 15 |
| Tabla 2. Definición de parámetros.....                                                                                                           | 16 |
| Tabla 3. Instrumentos de medición utilizados para la recolección de datos.....                                                                   | 16 |
| Tabla 4. Dimensiones del túnel.....                                                                                                              | 18 |
| Tabla 5. Formato para toma de datos de la prueba de secado con producto .....                                                                    | 19 |
| Tabla 6. Resultados de temperatura y humedad en la cámara de secado de acuerdo a las combinaciones obtenidas en el diseño experimental .....     | 21 |
| Tabla 7. Resultado de la puesta a punto del secador solar tipo túnel.....                                                                        | 23 |
| Tabla 8. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente ..... | 26 |
| Tabla 9. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente ..... | 27 |
| Tabla 10. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....        | 28 |
| Tabla 11. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....        | 29 |
| Tabla 12. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra .....        | 31 |
| Tabla 13. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....        | 32 |
| Tabla 14. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....  | 33 |
| Tabla 15. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....  | 34 |
| Tabla 16. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra.....           | 36 |
| Tabla 17. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra .....          | 37 |
| Tabla 18. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.....    | 38 |
| Tabla 19. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.....    | 39 |
| Tabla 20. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente .....    | 41 |
| Tabla 21. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente .....    | 42 |
| Tabla 22. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra .....           | 43 |
| Tabla 23. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra .....           | 44 |
| Tabla 24. Datos de Temperatura en la cámara de secado con producto.....                                                                          | 65 |
| Tabla 25. Datos de Humedad relativa en la cámara de secado.....                                                                                  | 66 |
| Tabla 26. Peso del producto de la bandeja 1 .....                                                                                                | 67 |
| Tabla 27. Peso del producto de la bandeja 2 .....                                                                                                | 67 |

Tabla 28. Peso del producto de la bandeja 3 ..... 68

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo A. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente .....  | 73 |
| Anexo B. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....          | 74 |
| Anexo C. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra.....           | 75 |
| Anexo D. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....    | 76 |
| Anexo E. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra.....             | 77 |
| Anexo F. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente .....     | 78 |
| Anexo G. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....       | 79 |
| Anexo H. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra.....              | 81 |
| Anexo I. Datos obtenidos replica 2, combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente ..... | 82 |
| Anexo J. Datos obtenidos replica 2, combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....         | 83 |
| Anexo K. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra.....           | 84 |
| Anexo L. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....    | 85 |
| Anexo M. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra.....             | 86 |
| Anexo N. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente .....     | 87 |
| Anexo O. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....       | 88 |
| Anexo P. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra.....              | 89 |
| Anexo Q. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente .....  | 90 |
| Anexo R. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.....          | 91 |
| Anexo S. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra.....           | 92 |
| Anexo T. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.....    | 94 |
| Anexo U. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra.....             | 95 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo V. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente ..... | 96 |
| Anexo W. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente .....  | 97 |
| Anexo X. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra .....         | 98 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo      | Término                                               |
|--------------|-------------------------------------------------------|
| TH           | Termohigrómetro                                       |
| T1           | Termocupla 1                                          |
| T2           | Termocupla 2                                          |
| T3           | Termocupla 3                                          |
| T4           | Termocupla 4                                          |
| T5           | Termocupla 5                                          |
| T6           | Termocupla 6                                          |
| T7           | Termocupla 7                                          |
| T8           | Termocupla 8                                          |
| T9           | Termocupla 9                                          |
| Tamb         | Temperatura ambiente                                  |
| Tmin         | Temperatura mínima                                    |
| Tmax         | Temperatura máxima                                    |
| Tprom        | Temperatura promedio                                  |
| Tin_camara   | Temperatura en la entrada de la cámara de secado      |
| Tout_camara  | Temperatura en la salida de la cámara de secado       |
| Rhin         | Humedad relativa en la entrada de la cámara de secado |
| Rhout        | Humedad relativa en la salida de la cámara de secado  |
| Rhin_camara  | Humedad relativa en la entrada de la cámara de secado |
| Rhout_camara | Humedad relativa en la salida de la cámara de secado  |
| Rh_prom_amb  | Humedad relativa promedio del ambiente                |
| RHmin        | Humedad relativa mínima                               |
| RHmax        | Humedad relativa máxima                               |
| RHprom       | Humedad relativa promedio en la cámara de secado      |

## **RESUMEN**

### **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** CARACTERIZACIÓN DEL TÚNEL DE SECADO SOLAR TIPO HOHENHEIM

**AUTOR(ES):** Santiago Cardenas Herrera  
Lina Maria Parra Almanza

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### **RESUMEN**

La tecnología del secado ha crecido considerablemente, sin embargo, debido al costo del proceso, pocos tienen acceso a esta tecnología ya que demanda un alto consumo energético. Como alternativa ante esta problemática se encuentra el secado solar, que aprovecha la radiación del sol para la obtención de energía eléctrica y energía térmica. Los túneles de secado funcionan basados en este principio y aunque muchas veces es complejo controlar la temperatura y la humedad dentro de la cámara de secado, sí se puede llegar a saber de qué manera el túnel funciona mejor combinando diferentes parámetros de construcción. El siguiente trabajo de grado es un estudio realizado del comportamiento que presenta la temperatura y la humedad dentro de un túnel de secado solar tipo Hohenheim. De acuerdo a las combinaciones obtenidas del diseño factorial fraccionado se hizo la respectiva toma de datos. Del análisis de los resultados se observó que las condiciones climáticas, la aparición de nubes y el viento afectan notablemente los resultados obtenidos. Además de esto, las variables estudiadas, cambiaban de una prueba a otra dependiendo de la combinación correspondiente.

### **PALABRAS CLAVE:**

secador, solar, deshidratador, Hohenheim, tunel

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **ABSTRACT**

### **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** Characterization of a Hohenheim solar tunnel dryer

**AUTHOR(S):** Santiago Cardenas Herrera  
Lina María Parra Almanza

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Sandra Patricia Cuervo Andrade

### **ABSTRACT**

Drying technology has grown considerably, but the energy cost of the process is too high just a few people can use it. One of the alternatives for this problem is the solar drying, this use sun's radiation to obtain electrical energy and thermal energy. The drying tunnel work based on this principle and is hard control the temperature and humidity in the drying chamber, but we can predict how work better mixing different parameters. The next undergraduate work it is a study of temperature and humidity behavior inside a Hohenheim type solar drying tunnel. According to the combinations in the fractional factorial design and the data collection was made using it. In the analysis of result was obtained that the weather, the clouds and the wind affect the results obtained. The variables studied change from one proof to another proof.

### **KEYWORDS:**

dryer, solar, dehydrator, Hohenheim, tunnel

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

La deshidratación de alimentos es una técnica utilizada desde hace cientos de años para la conservación de los alimentos. Nuestros antepasados aprovechaban la radiación solar para secar frutas, granos, carnes, vegetales y hasta pieles de animales con el fin de tener provisión en épocas de invierno. Cabe resaltar que una de las primeras fuentes de energía usadas por el hombre fue la energía solar hasta la aparición del fuego. Con el paso del tiempo, el hombre se preocupó por buscar una mejor forma de conservar los alimentos, entonces surgieron los primeros equipos de secado, sin embargo, estos no eran muy eficientes puesto que su principal fuente de energía eran combustibles fósiles que terminaban contaminando el producto deshidratado. En la segunda mitad del siglo XIX se inicia lo que hoy conocemos como revolución industrial, una época llena de cambios y reestructuraciones que impactaron no solo en la economía sino también en la invención y el desarrollo de nuevos equipos. Fue en esta época en la que se desarrollaron secadores mejorados que permitían variar algunos factores existentes en las condiciones de secado. Hoy en día la tecnología del secado sigue evolucionando y constituye una parte importante de la industria en el mundo.

Por conveniencia se ha dividido el secado en dos: secado natural, cuando se refiere a la acción de secar mediante la influencia del sol, aunque ello implique el uso de algún tipo de secador solar, y el secado artificial para referirse al secado mediante el uso de energía secundaria.

Se entiende por deshidratación o secado artificial a la eliminación parcial o total del agua de un producto que se encuentra al final en estado sólido por medio de energía secundaria. La operación se lleva a cabo bajo condiciones de control conducentes a lograr un producto de la mejor calidad sensorial y nutricional posible.<sup>1</sup>

El secado solar no es del todo eficiente puesto que al ser al aire libre el producto tiene a contaminarse con polvo y demás partículas presentes en el ambiente. Sin embargo, tiene una ventaja significativa y es el tipo de energía que utiliza para la obtención del calor. Esta energía es limpia, renovable y no puede ser monopolizada y aunque presenta complicaciones porque depende del tiempo y de las condiciones climáticas, todo puede ser controlado utilizando un acumulador y controladores de temperatura. En general, este tipo de fuente para el secado es apropiado cuando se requieren pequeñas demandas de energía.

En la clasificación de los túneles solares se encuentra el secador solar tipo túnel Hohenheim. El secador solar tipo túnel Hohenheim fue desarrollado en Alemania en la universidad de Hohenheim a mitades de 1980. Este secador ha tenido gran éxito en los países de zonas tropicales debido a que en estos países se cuenta con una

---

<sup>1</sup> FRANCOIS, Boucher. Tecnología alimentaria y agroindustrial rural. 1 ed. Cali, 1991. Pag 82.



disponibilidad de luz mayor comparado con las zonas que está ubicadas en los polos Ártico y Antártico. Además de esto, el túnel tiene una construcción fácil y versátil por lo que es una opción viable a la hora de pensar en secar variedades de productos agrícolas en dichas zonas.<sup>2</sup>

Actualmente en algunas regiones de Colombia se sigue secando productos como el café y el cacao de una manera muy artesanal, extendiendo el producto sobre el piso en un espacio que esté en contacto con el sol una buena parte del día. Sin embargo, entidades como la Universidad de Los Andes, Universidad Nacional de Colombia y La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga le han apostado al estudio y la implementación de secadores solares tipo túnel Hohenheim, con el fin de optimizar el proceso de secado y mejorar las condiciones del mismo.

Este proyecto se encuentra enfocado en la caracterización de un secador solar tipo túnel Hohenheim ubicado en la ciudad de Bucaramanga, Santander, en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana. El proyecto surge tras la necesidad de conocer el comportamiento de la temperatura y la humedad en un secador solar tipo túnel Hohenheim cuando se varían parámetros como: colector, cubierta, geometría y flujo de aire.

El proyecto está dividido en 3 etapas, la primera de construcción, la segunda de medición y la tercera de análisis. En la primera etapa se lleva a cabo la puesta a punto de los túneles, para la segunda etapa, Usando dos túneles en simultáneo y combinando dichos parámetros entre sí, se medirá la temperatura y la humedad en diferentes puntos de la cámara de secado y finalmente en la tercera etapa se analizarán los resultados con el fin de saber cuál combinación se adapta más a las condiciones de secado de cada producto y así disminuir los efectos negativos del proceso.

---

<sup>2</sup> CUERVO, Sandra. Quality oriented drying of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.): Tesis de doctorado Witzenhausen, Alemania: Universität Kassel. 2011

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas la tecnología del secado ha crecido considerablemente, sin embargo, pocos tienen acceso a esta tecnología y se debe en gran parte a que demanda un alto consumo de energía, lo que se refleja en costos de energía elevados, que solo las grandes empresas pueden pagar. Una de las alternativas del secado convencional es el secado solar, que aprovecha la radiación del sol para la obtención de energía eléctrica y energía térmica. El problema de esta alternativa es que no se puede controlar la temperatura ni la humedad dentro de la cámara de secado, pero sí se puede llegar a saber de qué manera el túnel funciona mejor combinando diferentes parámetros de construcción. Por otra parte, la principal ventaja de este tipo de secado es que es prácticamente gratis puesto que la fuente principal de energía es el sol. Además de esto, la tecnología empleada para la construcción del túnel de secado solar es sencilla y los productos que se logran secar son productos de mejor calidad comparados con los productos que se obtienen en el secado natural.

Este proyecto surge tras la necesidad de conocer el comportamiento de la temperatura en un secador solar tipo túnel Hohenheim cuando se varían parámetros como: colector, cubierta, geometría y flujo de aire, usando dos túneles en simultáneo y combinando dichos parámetros entre sí, se medirá la temperatura y la humedad en diferentes puntos de la cámara de secado y se analizará con el fin de saber cuál combinación se adapta más a las condiciones de secado de cada producto y así disminuir los efectos negativos del proceso.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo general

Caracterizar el funcionamiento de un secador solar tipo Hohenheim considerando el efecto del tipo de colector, el tipo de cubierta, la geometría de la cubierta y el flujo de aire de secado, sobre la temperatura y humedad en la cámara de secado, para seleccionar las condiciones de operación al secar un producto específico.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- Acondicionar los túneles de secado para permitir la variación de los siguientes parámetros: tipos de colector (Plano, ondulado) geometría de la cubierta (triangular o a dos aguas, semicírculo o de arco), tipo de cubierta (plástico negro y plástico transparente) y flujo de aire de secado (mediante ventilador) y adicionalmente la medición de temperatura y humedad en la cámara de secado como variables de respuesta.

**Resultado:** Dos túneles de secado en los cuales se pueden variar los siguientes parámetros: tipos de colector, geometría de la cubierta, tipo de cubierta y flujo de aire de secado y adicionalmente se puede realizar la medición de temperatura y humedad en la cámara de secado como variables de respuesta.

**Indicador:** Dos túneles adaptados, cada uno con dos tipos de colectores (uno plano y otro ondulado), dos tipos de geometría de cubierta (dos aguas y semicircular), y dos tipos de cubierta (plástico negro y plástico transparente) y con ventiladores alimentados por colector fotovoltaico, así mismo la instrumentación para medir temperatura y humedad en la cámara de secado.

- Realizar pruebas experimentales en los túneles combinando los diferentes parámetros de acuerdo con un diseño experimental en donde los factores de entrada son; tipo de colector, geometría de la cubierta tipo de cubierta y flujo de aire de secado y las variables de respuesta son la temperatura y humedad en la cámara de secado.

**Resultado:** Datos de comportamiento de la temperatura a lo largo del túnel y humedad en la cámara de secado para las diferentes combinaciones de parámetros según el diseño experimental.

**Indicador:** Curvas de comportamiento de la temperatura y humedad en la cámara de secado para las diferentes combinaciones de parámetros según el diseño experimental.

- Realizar el proceso de secado para un producto prueba, seleccionando los parámetros de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de caracterización.

**Resultado:** Proceso de secado realizado en producto seleccionado.

**Indicador:** Curvas de comportamiento de secado del producto (tiempo vs pérdida de humedad)

## 1.2 ALCANCE

Con este proyecto se quiere mostrar una alternativa de secado que existe ya hace casi 3 décadas pero que aún sigue oculta para muchas personas. Como ya se mencionaba anteriormente, esta alternativa de secado tiene ciertas ventajas. La principal ventaja de este tipo de secado es que es prácticamente gratis puesto que la fuente principal de energía es el sol, lo que quiere decir que es un proyecto amigable con el medio ambiente porque utiliza fuentes de energía renovables.

De este proyecto se espera primeramente cumplir con el objetivo general que es reconocer cuál combinación produce la mejor condición de trabajo para el proceso de secado en el TUNEL DE SECADO SOLAR TIPO HOHENHEIM. También se espera que impacte a la comunidad de manera que la gente vea que se puede aportar mucho teniendo poco, entendiendo el concepto básico del secado solar.

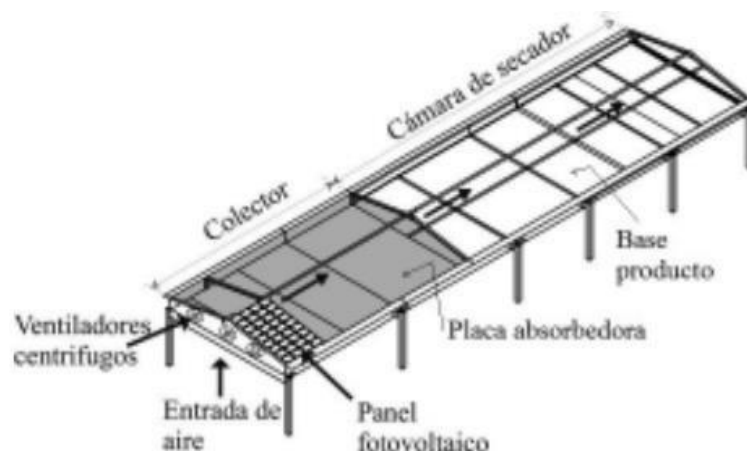
## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto busca demostrar el efecto que tiene la combinación de diferentes parámetros (colector, cubierta, geometría y flujo de aire), sobre la temperatura y la humedad en la cámara de secado de un túnel de secado solar. Usando 2 túneles de secado simultáneamente se harán las mediciones, con esto se consigue un registro de datos de la temperatura y la humedad en diferentes puntos de la cámara de secado, los cuales ayudan a seleccionar la combinación que mejor favorece el proceso de secado.

## 2. ANTECEDENTES

El antecedente más importante en la historia de los secadores solares tipo túnel Hohenheim es sin duda su creación a mediados de 1980 en Stuttgart, Alemania, en la Universidad de Hohenheim. De allí su nombre.

Figura 1. Componentes del secador de túnel tipo Hohenheim



**Fuente:** Pedro Julián García Guarín, Sonia Lucía Rincón Prat, Sandra Patricia Cuervo Andrade.

Con el paso del tiempo muchos Institutos y Universidades se han enfocado en el desarrollo y la optimización de dicho túnel. Universidades como la Universidad de Los Andes, Universidad Nacional de Colombia y La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga le han apostado al estudio y la implementación de secadores solares tipo túnel Hohenheim, con el fin de optimizar el proceso de secado y mejorar las condiciones del mismo.

La Universidad de los Andes, en el año 2010, en el marco del programa de “Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética” (OPEN) y en convenio con el la Cámara de comercio y el Banco Interamericano de Desarrollo llevó a cabo un proyecto usando energías limpias para la producción de almidón de achira en el municipio de Pasca, Boyacá. Se trataba de un secador solar tipo túnel Hohenheim hecho de madera que tenía la capacidad de funcionar por convección natural o por convección forzada gracias a que tenía una chimenea que provocaba el flujo natural del aire y además tenía acoplado dos ventiladores alimentados por baterías que suministraban aire hacia el interior del túnel cuando se requería trabajar con circulación de aire forzado.

Figura 2. Secador solar tipo túnel Hohenheim. Pasca, Cundinamarca.



**Fuente:** Edwin Fernando Gómez Hernández

Dos años después, en el año 2012, Edwin Fernando Gómez Hernández, de la misma Universidad, optando por el título de Ingeniero Mecánico, se encargó de realizar la caracterización de dicho túnel.

La metodología utilizada para la caracterización del túnel partía de 3 experimentos independientes en los que se variaba el tipo de flujo y la cubierta en conjunto con la geometría. El primer experimento se llevó a cabo con flujo de aire natural, es decir, convección natural. El segundo, se llevó a cabo utilizando ventiladores, es decir convección forzada. Y el último experimento se llevó a cabo cambiando la cubierta por una de vidrio y cambiando la geometría adicionándole al túnel una chimenea. En cada experimento se analizaban las tres variables más importantes en el proceso de secado: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.

Los resultados no fueron muy favorables pues al realizar los experimentos en diferentes días no se contaba con condiciones ambientales replicables. Dado lo anterior no se cumplió el objetivo de la caracterización que era determinar el modo de operación óptimo para ese tipo de colector en esa región del país.<sup>3</sup>

Otro proyecto, también de la Universidad de los Andes, relacionado con secadores solares tipo túnel Hohenheim, se llevó a cabo en el año 2013. Esta vez se trató del “diseño, construcción y caracterización de un secador solar de túnel tipo Hohenheim de convección forzada”. El objetivo general de este proyecto era hacer una comparación cuantitativa entre un secador solar tipo Hohenheim de convección forzada y uno de convección natural. Para lograr este objetivo se trazaron tres objetivos específicos. El primero era diseñar y construir el túnel que se ubicó paralelo que ya existía en Pasca, Boyacá. El segundo era la caracterización simultánea de ambos túneles, tanto el de convección forzada como el de convección natural. Y el

---

<sup>3</sup> GOMEZ, Edwin. Caracterización del proceso de secado de almidón de sagú en un secador solar tipo túnel Hohenheim: Tesis de Pregrado Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes, 2012.

tercero, evaluar económicamente las implementaciones de variantes de secador solar tipo Hohenheim en el proceso de secado.

Después de hacer el análisis de los resultados se concluyó que el proceso de secado con convección forzada presenta la misma tasa de secado que el proceso de secado con convección natural. Sin embargo, dice el autor, es posible que la tasa del secado con convección forzada aumente si se promueve el flujo a interior del túnel de secado.<sup>4</sup>

En el año 2011, la Dr. Agr. Sandra Patricia Cuervo Andrade en su proyecto de Doctorado buscaba resolver los problemas asociados al secado del toronjil (*Melissa officinalis*). Uno de sus objetivos era analizar el efecto de los parámetros de secado de un secador solar tipo túnel, sobre la calidad del producto.

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizó un secador solar tipo túnel Hohenheim al cual se le instalaron unos ventiladores para hacer fluir el aire a lo largo del colector, donde se calienta, antes de ingresar al área de secado. La superficie del colector se pintó de negro para absorber la radiación solar. El colector se cubrió con una lámina plástica transparente de plástico estabilizado ultravioleta para simular luz y una de plástico negro para simular sombra. El área de secado del túnel solar consistía en una malla metálica y una malla plástica donde se ponía el producto. Con el fin de controlar la velocidad del aire de secado, la velocidad de rotación de los ventiladores se ajustó mediante un potenciómetro y la electricidad se suministró desde la red convencional. Tanto el colector como el túnel de secado estaban instalados en subestructuras de bloques de concreto.

En los resultados se encontró que el factor que más influye en el tiempo de secado es el tipo de cubierta seguido por la carga de secado. El que menos influye en el tiempo de secado es la velocidad de secado. Para el cambio de color, los factores que afecta en mayor manera el resultado son el tipo de cubierta y la velocidad de secado del aire. Y por último, en el caso del contenido de aceite esencial, los factores de mayor importancia a menor importancia son, respectivamente, carga de secado, tipo de recubrimiento y velocidad de secado al aire.

En general, se concluyó que el uso del túnel solar no es muy conveniente para el secado del toronjil (*Melissa officinalis* L.) puesto que no fue posible llegar a las condiciones de temperatura y humedad óptimas recomendadas para obtener características de calidad aceptables.

---

<sup>4</sup> PORRAS, Juan. Diseño, construcción y caracterización experimental de un secador solar de túnel tipo Hohenheim de convección forzada: Tesis de pregrado Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes, 2013.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 SECADOR SOLAR

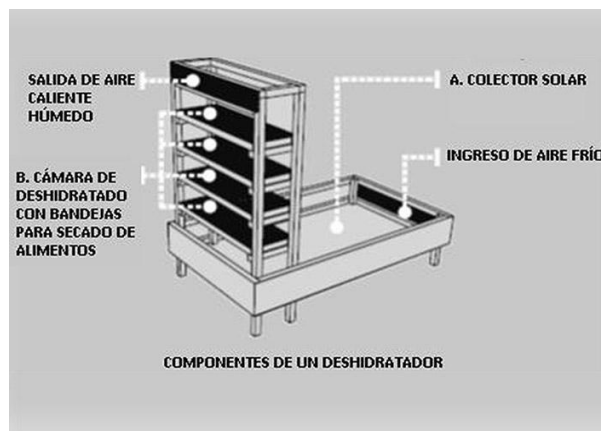
Los secadores solares son una combinación de dos partes, un colector donde la radiación calienta el aire y es dirigido hacia la segunda parte del deshidratador, la cámara de secado que es la parte donde se ubica el producto para que se deshidrate mientras el flujo de aire caliente va pasando.

Existen 2 tipos de Secadores, el secador solar indirecto, Es un tipo de secador que tiene al colector y a la cámara de secado separados, el aire se calienta en el colector y normalmente este tipo de secadores utiliza circulación forzada mediante ventiladores para mover el aire del colector y así retirar la humedad de la cámara de secado.

Otro tipo sería el secador directo, es decir, en este tipo la cámara de secado está unida al colector, en este tipo la radiación también incide directamente en la cámara de secado, no únicamente en el colector, por lo que las temperaturas en este tipo son más altas.

En los secadores solares el flujo de aire es una variable importante debido a que si no hay flujo de aire no se va a eliminar la humedad del productor y no se llevara a cabo el proceso correctamente, sino que se creara una cámara en la que se tenga alta humedad y alta temperatura y los alimentos se dañaran, por eso existen 2 formas de conseguir un flujo de aire adecuado.

Figura 3.Secador solar



**Fuente:** Gonzales Castillo, Edgar Javier. Secador solar de alimentos. 1 ed. Zapopan, Jalisco. 2008. p14.



### 3.2 SECADOR SOLAR TIPO TÚNEL HOHENHEIM

El secador solar tipo túnel Hohenheim fue desarrollado en Stuttgart, Alemania en el Instituto de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Hohenheim a mitades de 1980. Este secador ha tenido gran éxito en los países de zonas tropicales debido a que en estos países se cuenta con una disponibilidad de luz mayor comparado con las zonas que está ubicadas en los polos Ártico y Antártico. Además de esto, el túnel tiene una construcción fácil y versátil por lo que es una opción viable a la hora de pensar en secar variedades de productos agrícolas en dichas zonas.<sup>5</sup>

El flujo dentro del túnel puede darse por convección natural o por convección forzada:

**Circulación forzada:** El flujo de aire es producido por un ventilador que es accionado por una fuente de electricidad, normalmente se utilizan paneles solares para que no haya gastos de consumo eléctrico, y gracias a esto es más fácil el control en el proceso de secado.

**Circulación por convección natural:** El flujo de aire se mueve por el diferencial de temperatura entre las diferentes partes del túnel, este tipo de circulación es más difícil de usarse en sistemas de gran tamaño.

Cuando en el túnel se utiliza la circulación forzada a este se le acoplan unos ventiladores en la parte del colector solar conectados a paneles fotovoltaicos con el fin de que la generación de energía de los paneles mueva los ventiladores y este produzca la corriente de aire deseada. La conexión en directo de los ventiladores al panel fotovoltaico se realiza para los periodos de alta radiación en los que la temperatura al interior del túnel también aumenta, pero los paneles al recibir mayor radiación aumentan la potencia eléctrica lo que genera un aumento en la velocidad de giro de los ventiladores por lo que aumenta el flujo de aire al interior del túnel y así estabiliza la temperatura, la cual se busca mantener homogénea en toda la cámara de secado.

La deshidratación solar no es un método nuevo, y se basa en la extracción del agua que hay en el interior de los alimentos mediante el uso de calor constante durante un periodo de tiempo determinado, todos los alimentos varían unos con otros respecto a la temperatura máxima que puede usarse, se considera uno de los mejores métodos para la conservación de los productos debido a que este método conserva notablemente las propiedades nutritivas y los aromas de estos.

---

<sup>5</sup> GARCIA, Julián; RINCÓN, Lucía; CUERVO, Patricia. Implementación del secador solar de túnel tipo Hohenheim en productos agrícolas. En: PUENTE Revista Científica. Vol. 10, no 1 del 2016. p 7-19.

Figura 4. Secador solar tipo túnel Hohenheim



**Fuente:** Autor

### 3.3 VENTAJAS DEL SECADO

- Alto tiempo de conservación debido a la menor cantidad de agua que tienen los alimentos por lo que reduce el crecimiento de bacterias.
- Se pueden mantener las propiedades nutricionales de los alimentos por un periodo de tiempo mayor al normal.
- Gracias al secado se puede conseguir productos que ya han pasado el tiempo de cosecha.
- Reducción de riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares por la contaminación del producto.

Existen 2 formas de secar los productos, Secado solar al aire libre o mediante el uso de un secador solar.

### 3.4 SECADO AL AIRE LIBRE

Este método es el más simple y es como se empezó a realizar el secado, solo se utilizan las condiciones climatológicas del momento y se busca que la humedad del producto sea eliminada con el flujo natural del viento.

Este método se puede realizar de diferentes formas y las más comunes es, colgando el producto que se quiere secar y dejarlo en un lugar donde haya un buen flujo de aire y luz solar directa.

La otra forma de secar al aire libre es extendiendo el producto sobre el suelo en un lugar despejado donde reciba la luz solar directa y se pueda tener fácil acceso para después de cierto tiempo darle la vuelta al producto para que se seque uniformemente.

Una gran desventaja de este método es que cuando cae la noche y baja la temperatura la humedad ambiente empieza a subir por lo que hay que recoger los alimentos que se estén secando y almacenarlos para que no recojan humedad nuevamente.

Otro problema de secar al aire libre es que los productos están desprotegidos y no hay nada que pueda impedir cuando las condiciones del medio ambiente sean de lluvia o cuando haya altas ráfagas de aire que puedan hacer volar a los productos, e inclusive cuando haya aves que quieran llevárselos, así como también existe el riesgo de insectos y hongos, es un método que tiene altos riesgos para la calidad del producto y la salud del consumidor, por lo que se define como un método poco higiénico.

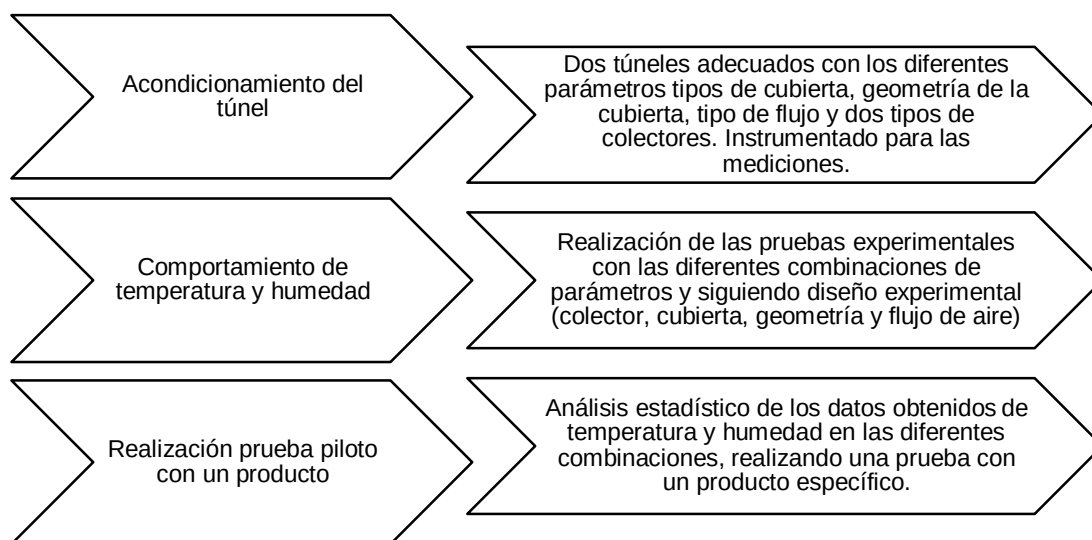
## 4 METODOLOGÍA

Con el fin de lograr los objetivos trazados se divide el trabajo en 3 etapas importantes. La primera etapa es la puesta a punto de los túneles, la segunda etapa en la que se lleva a cabo las pruebas experimentales y la tercera es el análisis de los resultados obtenidos.

Para poder trabajar con dos túneles en simultáneo es necesaria la ejecución de una prueba piloto que garantice las mismas condiciones dentro de los dos túneles de secado solar.

A continuación, se presenta un esquema con las actividades para cada objetivo con la metodología propuesta

Figura 5. Actividades para cada objetivo con la metodología propuesta

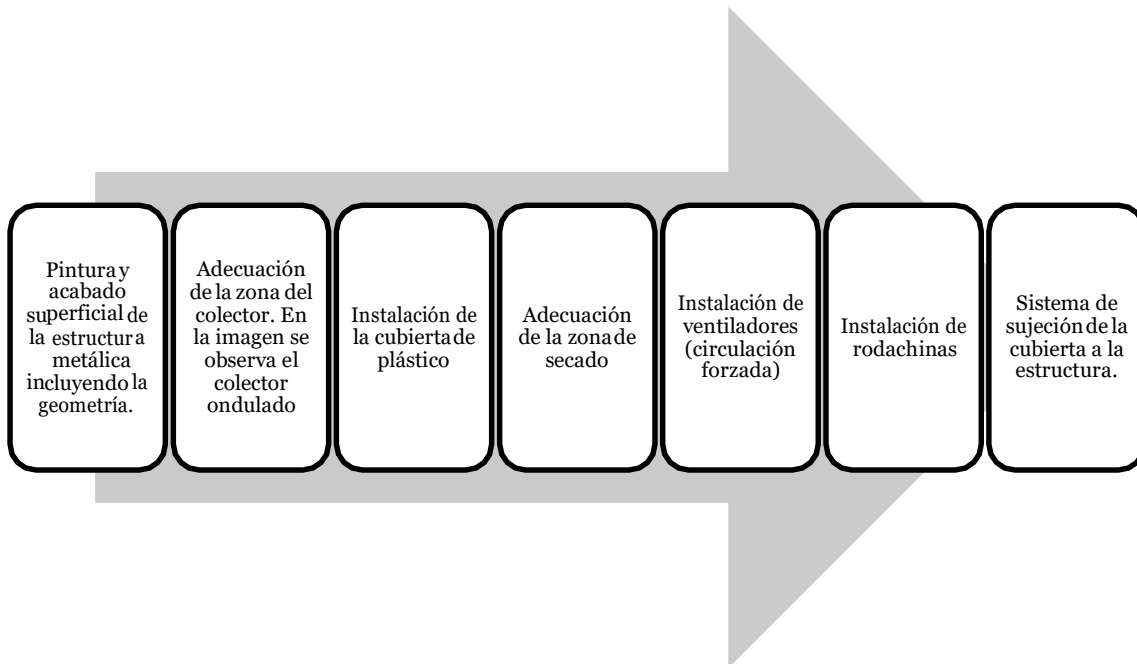


**Fuente:** Autor

### 4.1 PUESTA A PUNTO DE LOS TÚNELES

A continuación, se presenta un gráfico donde se muestra cada etapa de la adecuación de los túneles. Cabe resaltar que con los dos se hizo el mismo procedimiento.

Figura 6. Paso a paso de la puesta a punto de los túneles



**Fuente:** Autor

## 4.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES

De acuerdo al diseño experimental se varían los 4 parámetros definidos, colector, geometría, cubierta y flujo de aire.

### 4.2.1 Diseño experimental

Debido a la cantidad de variables a modificar, el mejor método de análisis estadístico para la combinación de parámetros, basados en la teoría estudiada es el método conocido como diseño factorial fraccionado.

Un diseño fraccionado es un diseño en el cual los investigadores solo realizan un subconjunto seleccionado o "fracción" de las corridas experimentales incluidas en el diseño factorial completo. Los diseños factoriales fraccionados son una opción adecuada cuando los recursos son limitados o el número de factores incluidos en el diseño es grande, porque utilizan menos corridas que los diseños factoriales completos.

Un diseño factorial fraccionado utiliza un subconjunto de un diseño factorial completo, por lo que parte de los efectos principales y las interacciones de 2 factores se confunden y no se pueden separar de los efectos de otras interacciones de orden superior. Por lo general, los investigadores están dispuestos a presuponer que los

efectos de orden superior son insignificantes para obtener información sobre los efectos principales y las interacciones de orden bajo con menos corridas.<sup>6</sup>

Con ayuda de un programa de computadora libre (MiniTab®) se ejecutó la combinación de parámetros. El programa arrojó 8 pruebas, cada una con 3 repeticiones, para un total de 24 pruebas. En la siguiente tabla se encuentra el resultado arrojado por el programa.

Tabla 1. Diseño experimental fraccionado

| PRUEBA | Colector | Cubierta | Geometría | Flujo de aire |
|--------|----------|----------|-----------|---------------|
| 1      | -1       | -1       | -1        | -1            |
| 2      | +1       | -1       | -1        | +1            |
| 3      | -1       | +1       | -1        | +1            |
| 4      | +1       | +1       | -1        | -1            |
| 5      | -1       | -1       | +1        | +1            |
| 6      | +1       | -1       | +1        | -1            |
| 7      | -1       | +1       | +1        | -1            |
| 8      | +1       | +1       | +1        | +1            |
| 9      | -1       | -1       | -1        | -1            |
| 10     | +1       | -1       | -1        | +1            |
| 11     | -1       | +1       | -1        | +1            |
| 12     | +1       | +1       | -1        | -1            |
| 13     | -1       | -1       | +1        | +1            |
| 14     | +1       | -1       | +1        | -1            |
| 15     | -1       | +1       | +1        | -1            |
| 16     | +1       | +1       | +1        | +1            |
| 17     | -1       | -1       | -1        | -1            |
| 18     | +1       | -1       | -1        | +1            |
| 19     | -1       | +1       | -1        | +1            |
| 20     | +1       | +1       | -1        | -1            |
| 21     | -1       | -1       | +1        | +1            |
| 22     | +1       | -1       | +1        | -1            |
| 23     | -1       | +1       | +1        | -1            |
| 24     | +1       | +1       | +1        | +1            |

**Fuente:** Autor

Para facilitar el manejo de la información se presentan las variables correspondientes a cada parámetro del diseño.

<sup>6</sup> Soporte de Minitab®-Diseños factoriales y factoriales fraccionados. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/factorial-and-fractional-factorial-designs/#what-is-a-full-factorial-and-fractional-factorial-design>

Tabla 2. Definición de parámetros

|               |    |                  |
|---------------|----|------------------|
| Colector      | -1 | Ondulado         |
|               | +1 | Plano            |
| Flujo de aire | -1 | Sin ventiladores |
|               | +1 | Con ventiladores |
| Geometría     | -1 | Semicircular     |
|               | +1 | A dos aguas      |
| Cubierta      | -1 | Transparente     |
|               | +1 | Negra            |

**Fuente:** Autor

Se trabajarán dos tipos de colector, uno plano y otro ondulado para variar el área de contacto. En el caso del flujo de aire, se ponen ventiladores para provocar una convección forzada y se retiran para provocar una convección natural. En el caso de la geometría se trabajarán dos tipos: una semicircular y otra a dos aguas. Y finalmente para la cubierta se varía entre plástico transparente para simular exposición a la luz y plástico negro para simular sombra.

#### 4.2.2 Instrumentos y equipos

Para la recolección de dato se utilizan los siguientes instrumentos de medición:

Tabla 3. Instrumentos de medición utilizados para la recolección de datos

| INSTRUMENTO                 | RESOLUCIÓN                                               | FUNCIÓN                                                                                                                                                                             | VARIABLE MEDIDA                |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Agilent 34970 A             | 22 BITS con precisión de DCV básica a un año del 0,004 % | Se encarga de realizar la comunicación entre el computador y el datalogger estableciendo el tiempo de recepción y el monitoreo de la temperatura gracias a unas termocuplas tipo K. | Temperatura                    |
| Anemómetro de hilo caliente | 0.01m/s                                                  | Entrega información en tiempo real, no                                                                                                                                              | Velocidad del flujo del viento |

|                                  |                                             |                                                                                                                                      |                               |
|----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                  |                                             | almacena datos.                                                                                                                      |                               |
| Termohigrómetro<br>UNI-T UT3300B | Temperatura:<br>0.1°C<br>Humedad:<br>0.1%RH | Se encarga de almacenar datos con una frecuencia determinada que después pueden descargarse en un computador con ayuda del software. | Temperatura, Humedad relativa |

**Fuente:** Autor

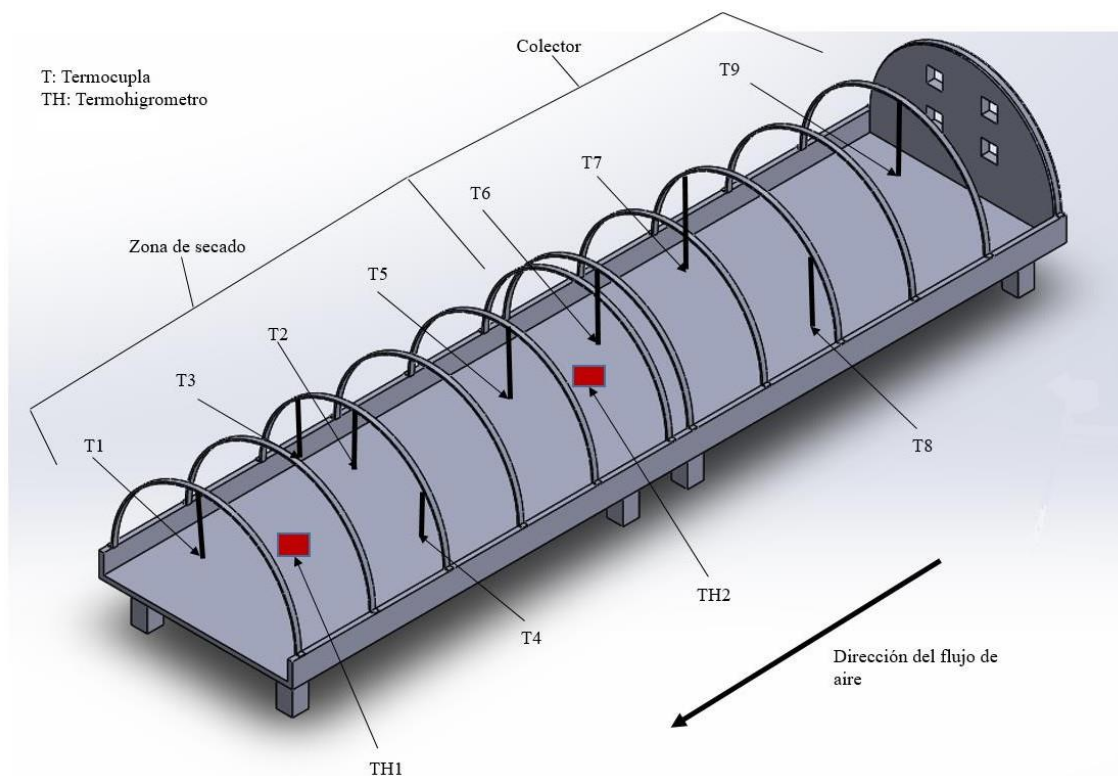
Todos los instrumentos se configuraron para tomar datos cada 10 segundos, excepto el anemómetro que entregaba datos en tiempo real por lo que la recolección se hizo cada 2 horas.

#### 4.2.3 Ubicación de los instrumentos y equipos

En la figura 6. Se puede evidenciar la ubicación de los sensores de temperatura (termocupla tipo k), los sensores de humedad (termohigrómetro), y el sensor de radiación (piranómetro). Cabe aclarar que las termocuplas se ubicaron justo en la mitad del túnel a 0.05 m de la base y se separaron una de la otra a una distancia de 1 m, excepto las termocuplas T5-T6 las cuales se separaron a una distancia de 0.5 cm. Las termocuplas que están a los extremos del túnel se ubicaron a 10 cm de las paredes del túnel. Los termohigrómetros se pusieron sobre su misma base en la zona de secado, uno en la entrada y otro en la salida. El piranómetro se ubicó en medio de los dos túneles en una parte alta para evitar la sombra.



Figura 7. Ubicación de los instrumentos de medición



**Fuente:** Autor

Tabla 4. Dimensiones del túnel.

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Longitud del túnel                    | 5 m    |
| Ancho del túnel                       | 1.20 m |
| Altura del túnel medida desde la base | 0.8 m  |
| Altura del piso hasta la base         | 0.9 m  |
| Longitud de la Zona de secado         | 2.5 m  |
| Longitud del colector                 | 2.5 m  |

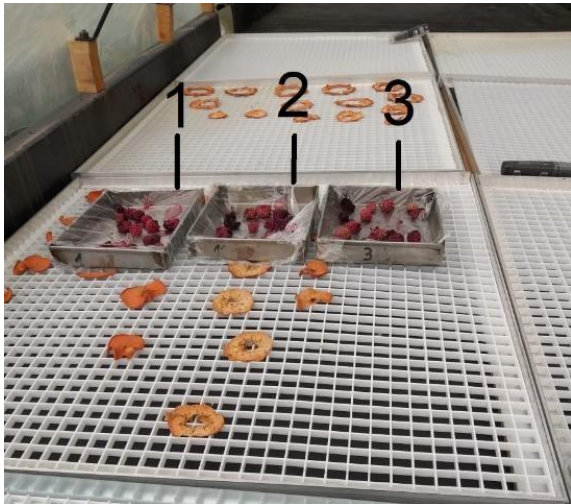
**Fuente:** Autor

#### 4.2.4 Prueba de secado con producto en la cámara de secado

La prueba de producto se utilizó bandejas pequeñas metálicas para así facilitar la manipulación del producto cuando se pesará y así ver la pérdida de agua, cada bandeja tiene un peso de 235g estando vacías, y se llenó de producto hasta que pesaran 285g, la distribución de las bandejas se encuentra en la Figura 8 y la

ubicación de los termohigrometros y las bandejas a lo largo de la cámara de secado se encuentra en la Figura 9.

Figura 8. Distribución de las bandejas



**Fuente:** Autor

El producto que se utilizó fue Mora con un grado de maduración 3 y el porcentaje de agua para este grado de maduración es de  $85.05\% \pm 0.99$ .

Cuando se realiza el pesaje de las bandejas se retira una, se lleva a la balanza que se encuentra al lado de la cámara de secado, se pesa y se devuelve a la cámara en la misma posición y se prosigue con las bandejas siguientes.

El pesaje se realizó cada 15 minutos en la primera hora de toma de datos y después se realizaba cada 1 hora hasta la finalización de la toma de datos, los datos se tabularon en el formato de la tabla 6.

Tabla 5. Formato para toma de datos de la prueba de secado con producto

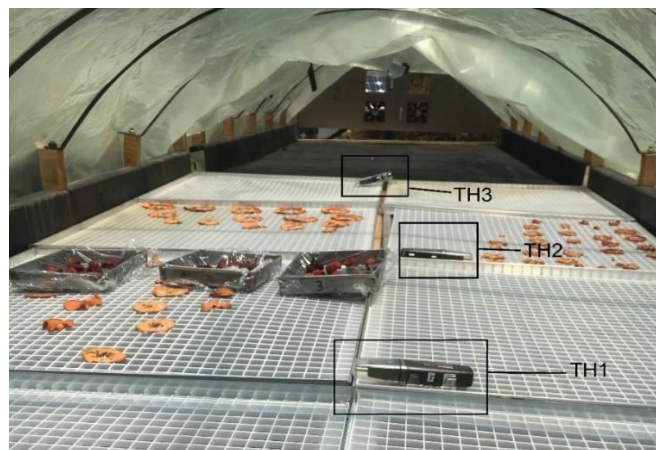
| Bandeja 1 |                |                      |                   |
|-----------|----------------|----------------------|-------------------|
| Hora      | Peso total (g) | peso sin bandeja (g) | peso del agua (g) |
| 9:43      |                |                      |                   |
| 9:58      |                |                      |                   |
| 10:13     |                |                      |                   |
| 10:28     |                |                      |                   |
| 10:43     |                |                      |                   |
| 11:43     |                |                      |                   |
| 12:43     |                |                      |                   |
| 13:43     |                |                      |                   |
| 14:43     |                |                      |                   |
| 15:43     |                |                      |                   |
| 16:43     |                |                      |                   |

**Fuente:** Autor

Para la medición de las variables humedad y temperatura a lo largo de la cámara de secado se utilizaron 4 termohigrometros, los cuales se distribuyeron de forma que quedaran 3 en la cámara de secado y 1 fuera del túnel para tener datos del ambiente.

La combinación utilizada para la prueba con producto fue de, colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente, se escogió esta combinación porque con ella se alcanzó el punto de humedad relativa más bajo de entre todas las combinaciones y la temperatura que alcanzaba estaba cerca de 60 °C.

Figura 9. Distribución de las bandejas y los termohigrometros en la cámara de secado



**Fuente:** Autor

## 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 6. Resultados de temperatura y humedad en la cámara de secado de acuerdo a las combinaciones obtenidas en el diseño experimental.

|               |    |                  |
|---------------|----|------------------|
| Colector      | -1 | Ondulado         |
|               | +1 | Plano            |
| Flujo de aire | -1 | Sin ventiladores |
|               | +1 | Con ventiladores |
| Geometría     | -1 | Semicircular     |
|               | +1 | A dos aguas      |
| Cubierta      | -1 | Transparente     |
|               | +1 | Negra            |

| PRUEBA | Colector | Cubierta | Geometría | Flujo de aire | Tiempo [h] | T2[°C] | T1-T5*[°C] | Tamb[°C] | Rhin_camara [%RH] | Rhout_camara [%RH] |
|--------|----------|----------|-----------|---------------|------------|--------|------------|----------|-------------------|--------------------|
| 1      | -1       | -1       | -1        | -1            | 10:00      | 38.5   | 8.5        |          | 28.6              | 21.5               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 49.2   | 6.2        |          | 17.7              | 17.8               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 36.8   | 0.2        |          | 30.4              | 30.2               |
| 2      | 1        | -1       | -1        | 1             | 10:00      | 34.3   | 1.4        |          | 43.3              | 42.6               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 39.8   | 0.8        |          | 35.1              | 33.9               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 32     | 0.5        |          | 49.3              | 44.9               |
| 3      | -1       | 1        | -1        | 1             | 10:00      | 41.5   | 2.2        |          | 37.9              | 32.5               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 44.8   | 0.9        |          | 29.3              | 26.5               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 31     | 0.5        |          | 50.6              | 44.8               |
| 4      | 1        | 1        | -1        | -1            | 10:00      | 44.5   | 6.2        |          | 22.5              | 20.8               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 48.4   | 0.8        |          | 16.6              | 14.7               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 32.2   | 1.2        |          | 40.7              | 33.9               |
| 5      | -1       | -1       | 1         | 1             | 10:00      | 31.9   | 5.2        | 32.2     | 56.4              | 48.5               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 41.6   | 1.7        | 31.7     | 37                | 35.8               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 28.3   | 1.4        | 27.8     | 61.4              | 58.1               |
| 6      | 1        | -1       | 1         | -1            | 10:00      | 46.5   | 10.8       | 32.2     | 20.5              | 26.8               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 58.5   | 12.9       | 31.7     | 15.1              | 15                 |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 31.3   | 2.2        | 27.8     | 46.4              | 41.9               |
| 7      | -1       | 1        | 1         | -1            | 10:00      | 37.3   | 0          | 29.1     | 31.5              | 24.5               |
|        |          |          |           |               | 12:00      | 47.7   | 1          | 31.8     | 20.9              | 16.3               |
|        |          |          |           |               | 04:00      | 34.2   | 2.1        | 33.1     | 28.2              | 24.1               |

|    |    |    |    |    |       |      |      |      |      |      |
|----|----|----|----|----|-------|------|------|------|------|------|
| 8  | 1  | 1  | 1  | 1  | 10:00 | 33.2 | 0.7  | 29.1 | 43.6 | 41.3 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 40.9 | 5.7  | 31.8 | 32.3 | 33.6 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 33.4 | 0.9  | 33.1 | 41.9 | 41.7 |
| 9  | -1 | -1 | -1 | -1 | 10:00 | 45.2 | 2.2  | 27.6 | 28.7 | 26   |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 48.6 | 6.1  | 34.3 | 23.6 | 21.5 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 34.1 | 0.9  | 35.6 | 36   | 27.5 |
| 10 | 1  | -1 | -1 | 1  | 10:00 | 33.1 | 0.4  | 27.6 | 50.4 | 50.6 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 36.7 | 1.8  | 34.3 | 40.4 | 40.8 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 32.8 | 0.8  | 35.6 | 49.3 | 47.1 |
| 11 | -1 | 1  | -1 | 1  | 10:00 | 32.7 | 4.3  | 30.1 | 43.9 | 43.1 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 45.2 | 5.9  | 37.9 | 25.1 | 33.7 |
|    |    |    |    |    | 02:00 | 34.2 | 0.4  | 34.7 | 27.4 | 27.9 |
| 12 | 1  | 1  | -1 | -1 | 10:00 | 38.6 | 0.3  | 30.1 | 33.6 | 31.6 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 40.1 | 2.3  | 37.9 | 15.8 | 19.5 |
|    |    |    |    |    | 02:00 | 40.4 | 0.6  | 34.7 | 20.4 | 19.5 |
| 13 | -1 | -1 | 1  | 1  | 10:00 | 28.7 | 0.3  | 32.1 | 56.4 | 48.5 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 47.7 | 1    | 31.8 | 37   | 35.8 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 35   | 0.4  | 32.2 | 61.4 | 58.1 |
| 14 | 1  | -1 | 1  | -1 | 10:00 | 29   | 0.7  | 32.1 | 20.5 | 26.8 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 40.9 | 5.7  | 31.8 | 15.1 | 15   |
|    |    |    |    |    | 04:40 | 26.6 | 0.7  | 26.2 | 39.8 | 36.2 |
| 15 | -1 | 1  | 1  | -1 | 10:00 | 41.8 | 10   | 30.3 | 40.5 | 37.9 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 34.9 | 10.4 | 34.7 | 31.3 | 28.6 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 29.4 | 0.6  | 34.6 | 48.2 | 42.8 |
| 16 | 1  | 1  | 1  | 1  | 10:00 | 45.5 | 1.3  | 30.3 | 25.6 | 25.1 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 53.2 | 10.9 | 34.7 | 15.4 | 15.7 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 36.1 | 1.9  | 34.6 | 29.2 | 24.9 |
| 17 | -1 | -1 | -1 | -1 | 10:00 | 57.5 | 0.3  | 43.8 | 50.2 | 56.9 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 59.2 | 3.5  | 46.7 | 34.7 | 43.4 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 32.4 | 0.5  | 34.5 | 35.6 | 39   |
| 18 | 1  | -1 | -1 | 1  | 10:00 | 51.2 | 5.3  | 43.8 | 36   | 38.8 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 54.7 | 1    | 46.7 | 29.8 | 31.5 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 34   | 1    | 34.5 | 56.6 | 53.3 |
| 19 | -1 | 1  | -1 | 1  | 10:00 | 35.4 | 0.2  | 29.9 | 44.1 | 41.6 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 45.4 | 5.7  | 35.3 | 32.3 | 31.3 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 35.5 | 0.4  | 34.2 | 39.6 | 36.4 |
| 20 | 1  | 1  | -1 | -1 | 10:00 | 42.1 | 0.2  | 29.9 | 31.9 | 28   |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 52.3 | 5.5  | 48   | 20.1 | 18.8 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 42   | 2.3  | 34.2 | 26   | 23.9 |
| 21 | -1 | -1 | 1  | 1  | 10:00 | 29.5 | 1.5  | 26.9 | 50.4 | 48.8 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 41.1 | 0.7  | 31.2 | 33.9 | 32.6 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 30.7 | 0.6  | 27.7 | 52.8 | 50.6 |
| 22 | 1  | -1 | 1  | -1 | 10:00 | 36.5 | 5.4  | 26.9 | 52.7 | 58.2 |
|    |    |    |    |    | 12:00 | 40.4 | 2.2  | 31.2 | 21.8 | 26.9 |
|    |    |    |    |    | 04:00 | 28.8 | 1.3  | 27.7 | 41.6 | 47.4 |

|    |    |   |   |    |       |      |     |      |      |      |
|----|----|---|---|----|-------|------|-----|------|------|------|
| 23 | -1 | 1 | 1 | -1 | 10:00 | 39.8 | 0.1 | 26.2 | 32.3 | 27.3 |
|    |    |   |   |    | 12:00 | 51.4 | 1.1 | 28.9 | 19.6 | 15.8 |
|    |    |   |   |    | 02:00 | 34.5 | 5.9 | 27.7 | 44.1 | 43.4 |
| 24 | 1  | 1 | 1 | 1  | 10:00 | 34.8 | 0.5 | 26.2 | 41.8 | 41.4 |
|    |    |   |   |    | 12:00 | 43.5 | 3.1 | 28.9 | 27.9 | 27.3 |
|    |    |   |   |    | 02:00 | 31.8 | 3.4 | 27.7 | 62.9 | 61.4 |

T2\*: Termocupla ubicada en la mitad de la cámara de secado

T1-T5\*\*: Diferencia de temperatura entre la salida y la entrada de la cámara de secado

**Fuente:** Autor

Uno de los objetivos específicos era acondicionar los túneles para poder llevar a cabo las pruebas experimentales. Como resultado de este objetivo se obtuvieron dos túneles de secado en los cuales se pueden variar los siguientes parámetros: tipos de colector, geometría de la cubierta, tipo de cubierta y flujo de aire de secado y adicionalmente se puede realizar la medición de temperatura y humedad en la cámara de secado como variables de respuesta.

A continuación, se muestra un registro fotográfico con los resultados obtenidos:

Tabla 7. Resultado de la puesta a punto del secador solar tipo túnel

|                                                                                      |                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Pintura y acabado superficial de la estructura metálica incluyendo la geometría.  |  |
| 2. Adecuación de la zona del colector. En la imagen se observa el colector ondulado. |  |

|                                                        |                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. Instalación de la cubierta de plástico              |    |
| 4. Adecuación de la zona de secado                     |    |
| 5. Instalación de ventiladores (circulación forzada)   |  |
| 6. Instalación de rodachinas                           |  |
| 7. Sistema de sujeción de la cubierta a la estructura. |  |

**Fuente:** Autor



Las pruebas experimentales en los túneles se realizaron combinando los diferentes parámetros de acuerdo con el diseño experimental. Como resultado se obtuvieron datos de comportamiento de la temperatura a lo largo del túnel y datos del comportamiento de la humedad en la cámara de secado.

Las tablas que se muestran a continuación revelan los datos obtenidos en cada una de las réplicas de las pruebas. Todas las tablas son de fuente: autor.

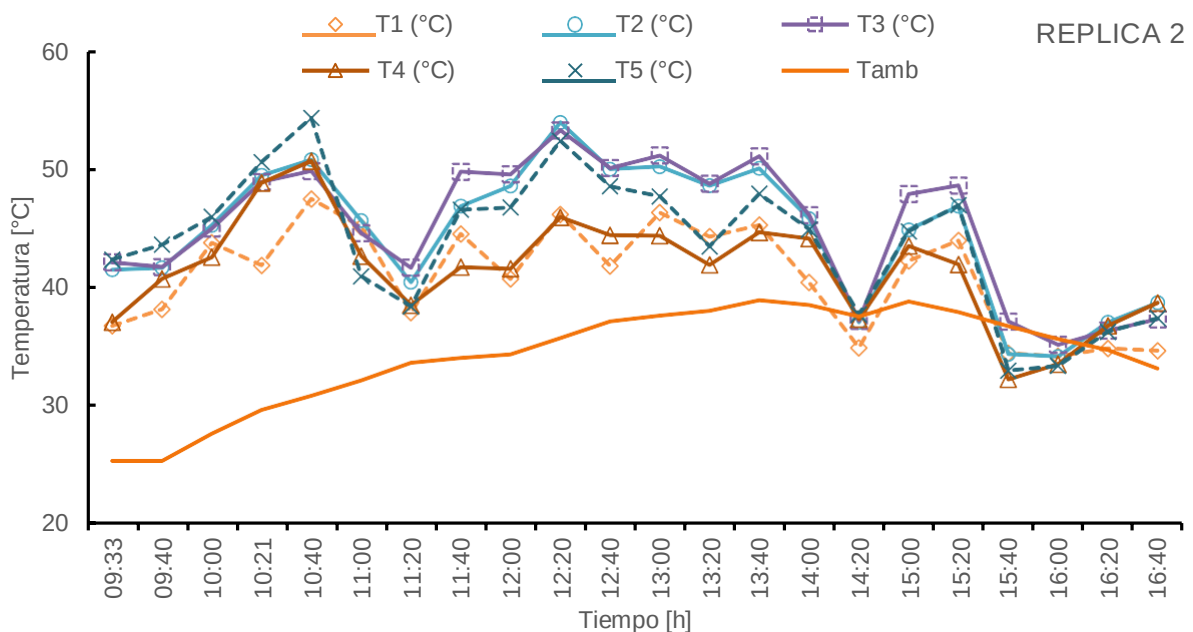
## 5.1 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

Los resultados con los que se realizó el siguiente análisis se encuentran al final del documento en los anexos.

### 5.1.1 Prueba con la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

Para esta combinación se analiza la réplica 2 y la réplica 3. La réplica 1 no se tuvo en cuenta ya que los resultados obtenidos presentaron datos atípicos, obteniendo resultados diferentes a los esperados.

Figura 10. Comportamiento de la temperatura en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 9).



Fuente: Autor

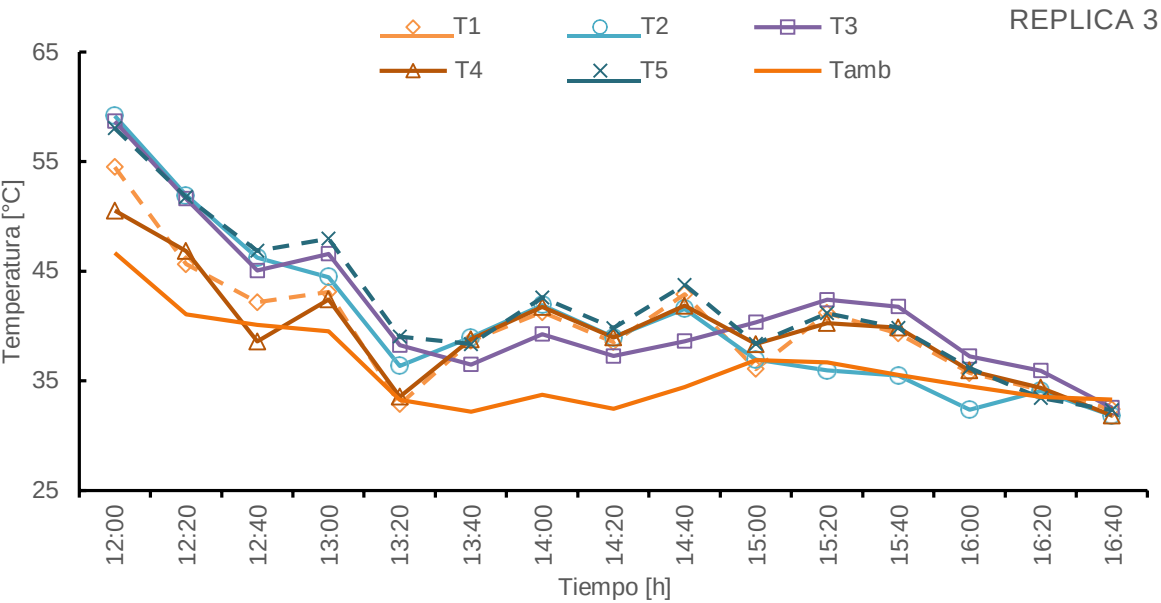


Tabla 8. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| T max                         | 54.35 |
| T min                         | 29.61 |
| T prom                        | 40.26 |
| Temperatura ambiente promedio | 34.9  |
| Gradiente mínimo              | 5.29  |
| Gradiente máximo              | 19.45 |
| Desviación estándar           | 6.95  |

Fuente: Autor

Figura 11. Comportamiento de la temperatura en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 17).



Fuente: Autor

Tabla 9. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 58.04 |
| Tmin                          | 26.83 |
| Tprom                         | 35.25 |
| Temperatura ambiente promedio | 39.38 |
| Gradiente mínimo              | 12.55 |
| Gradiente máximo              | 18.66 |
| Desviación estándar           | 7.64  |

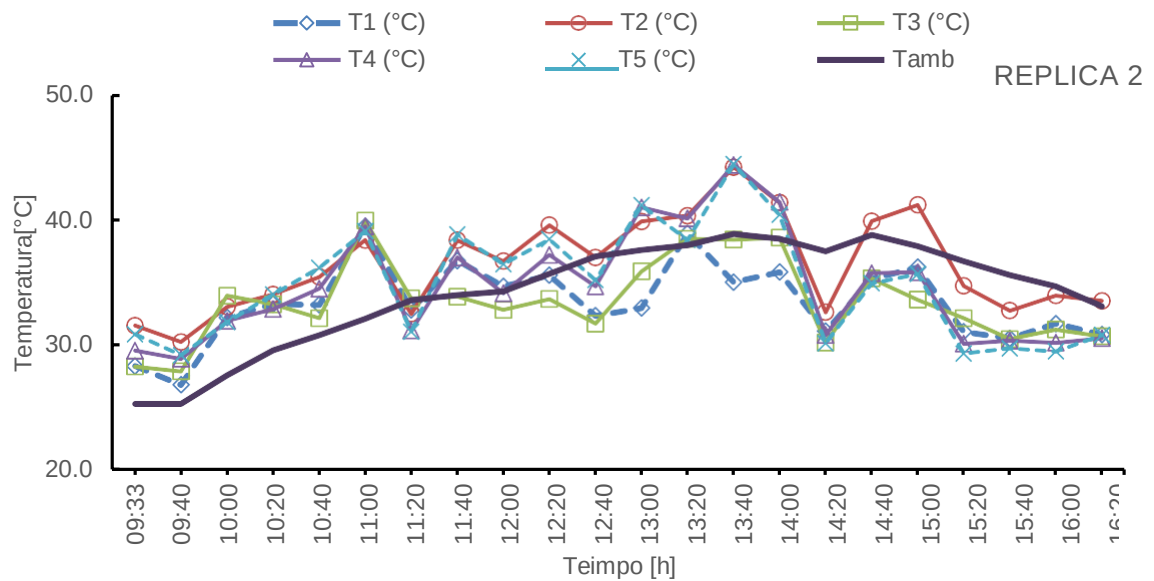
**Fuente:** Autor

Figuras 10 y 11 se puede resaltar, que los valores de temperatura obtenidos en ambas réplicas son muy cercanos. Por otra parte, la desviación en ambas réplicas deja ver que los valores obtenidos dentro de la cámara no están tan alejados de la temperatura ambiente fuera del túnel.

#### 5.1.2 Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

Al igual que en la combinación anterior, solo se analiza la réplica 2 y la réplica 3. La réplica 1 no se pudo analizar debido a que presenta valores atípicos y una tendencia diferente a las otras dos réplicas analizadas.

Figura 12. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 10).



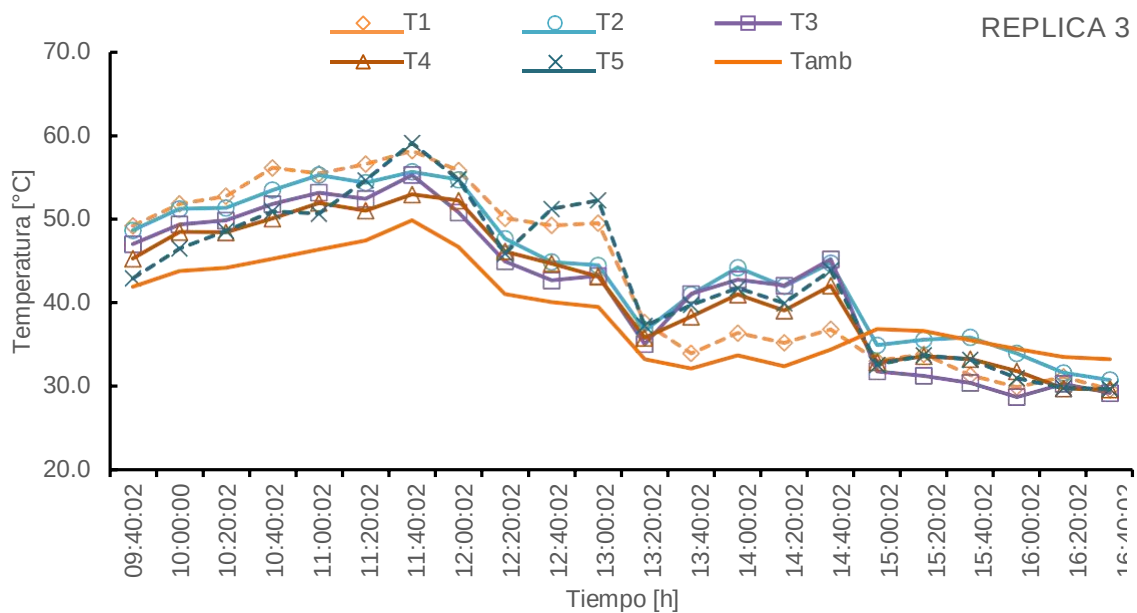
**Fuente:** Autor

Tabla 10. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 44.5  |
| Tmin                          | 26.83 |
| Tprom                         | 35.25 |
| Temperatura ambiente promedio | 34.35 |
| Gradiente mínimo              | 7.52  |
| Gradiente máximo              | 10.15 |
| Desviación estándar           | 6.30  |

**Fuente:** Autor

Figura 13. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 18).



**Fuente:** Autor

Tabla 11. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 59.13 |
| Tmin                          | 29.57 |
| Tprom                         | 41.79 |
| Temperatura ambiente promedio | 39.38 |
| Gradiente mínimo              | 9.12  |
| Gradiente máximo              | 19.72 |
| Desviación estándar           | 7.01  |

**Fuente:** Autor

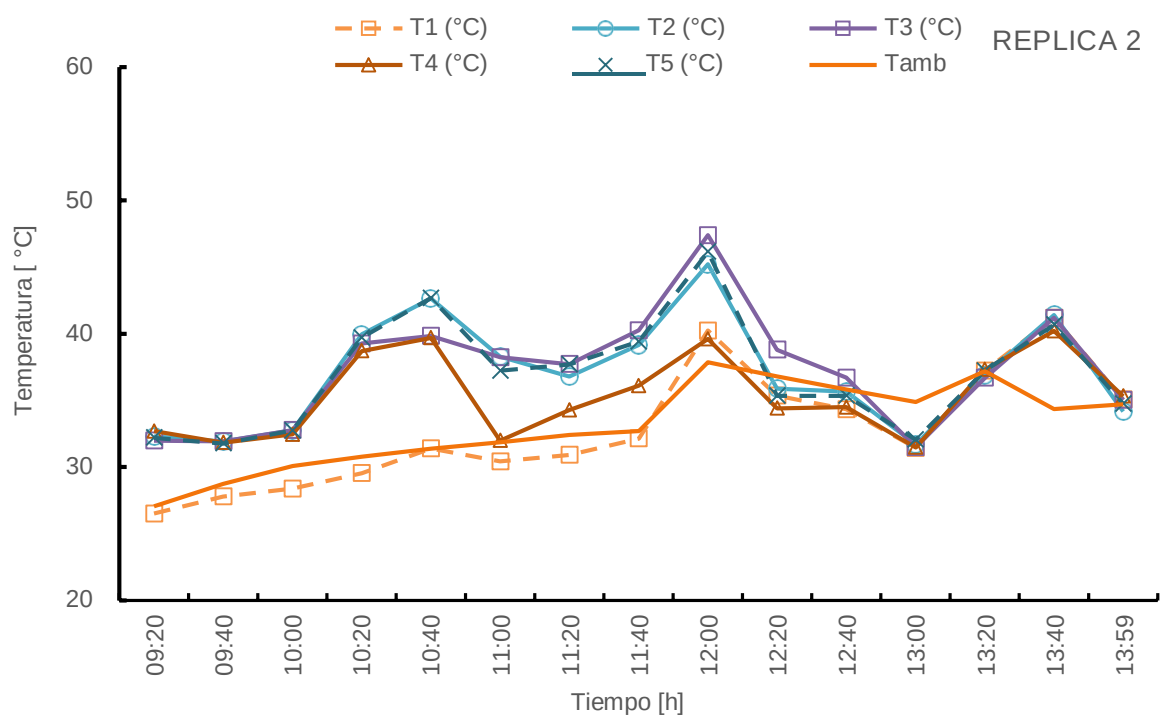
En la réplica 2 la temperatura máxima fue de 52°C, en la réplica 3 fue de 48.50°C. Por otra parte, se puede ver como los valores alcanzados por las termocupas de la réplica 2 se acercan más a los valores de temperatura ambiente. En la réplica 3 lo máximo que se alejaron los valores de temperatura en la cámara de la temperatura ambiente fue 19.72°C y lo más cerca que estuvieron de la temperatura ambiente fue 9.12°C,

mientras que en la réplica 2, lo máximo que se alejaron los valores de temperatura en la cámara de la temperatura ambiente fue  $10.15^{\circ}\text{C}$  y lo más cerca que estuvieron de la temperatura ambiente fue  $7.52^{\circ}\text{C}$

### 5.1.3 Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

Para este análisis se tienen en cuenta las réplicas 2 y 3. La réplica 1 no fue incluida debido a que presentaba valores muy atípicos.

Figura 14. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 11).



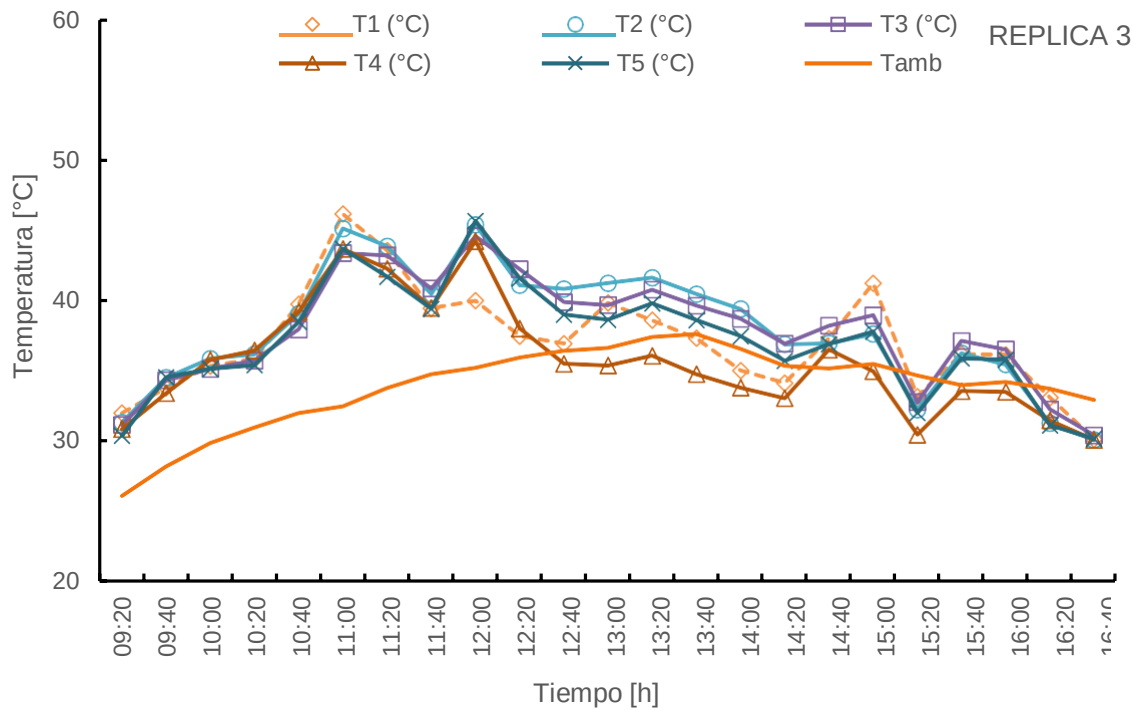
Fuente: Autor

Tabla 12. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 46.14 |
| Tmin                          | 26.50 |
| Tprom                         | 35.27 |
| Temperatura ambiente promedio | 33.11 |
| Gradiente mínimo              | 6.61  |
| Gradiente máximo              | 13.03 |
| Desviación estándar           | 4.73  |

Fuente: Autor

Figura 15. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 19).



Fuente: Autor

Tabla 13. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 46.52 |
| Tmin                          | 26.93 |
| Tprom                         | 36.36 |
| Temperatura ambiente promedio | 33.92 |
| Gradiente mínimo              | 6.99  |
| Gradiente máximo              | 12.6  |
| Desviación estándar           | 4.12  |

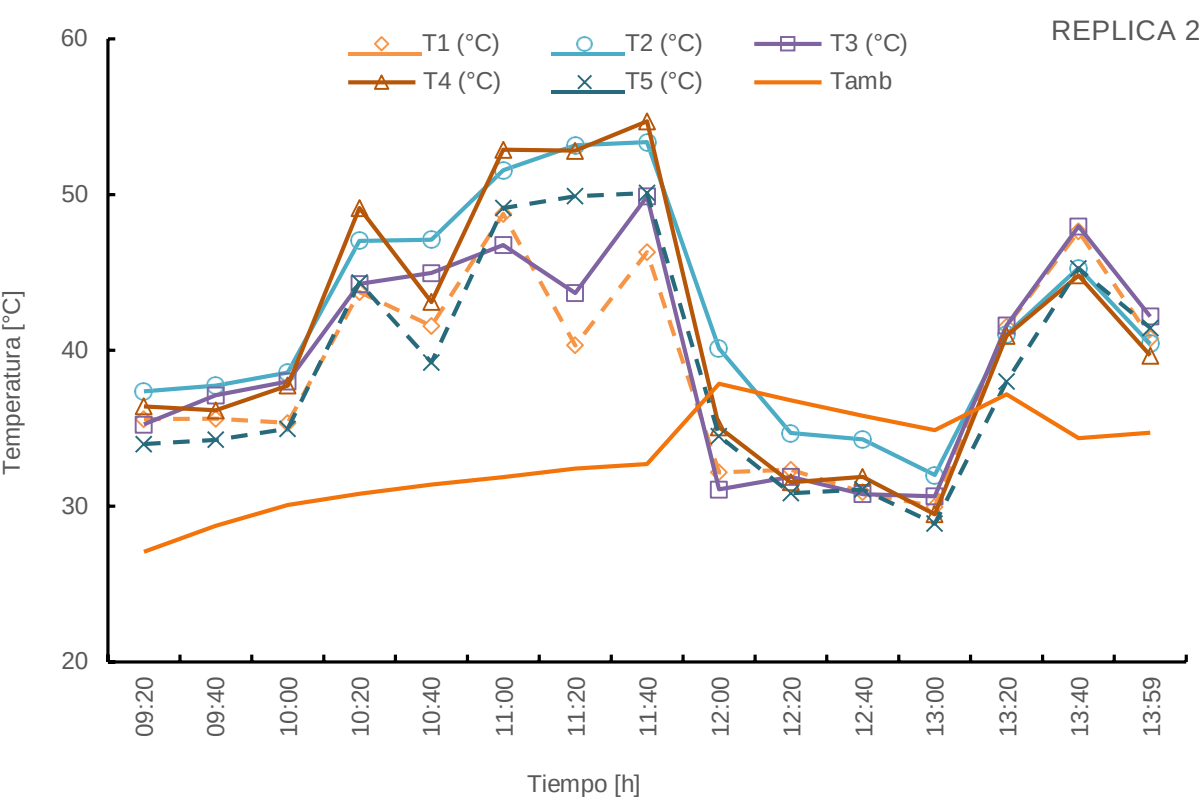
**Fuente:** Autor

En ambas réplicas los picos altos de temperatura se dan al medio día. Los valores alcanzados dentro del túnel de la réplica 2 y la réplica 3 presentan una desviación muy cercana, lo que refleja también la homogeneidad de los resultados obtenidos.

#### 5.1.4 Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

En este análisis se tienen en cuenta las réplicas 2 y 3. Al igual que en las combinaciones anteriores, la réplica uno no pudo ser tomada en cuenta porque los resultados arrojados son atípicos y no tienen sentido.

Figura 16. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 12)



Fuente: Autor

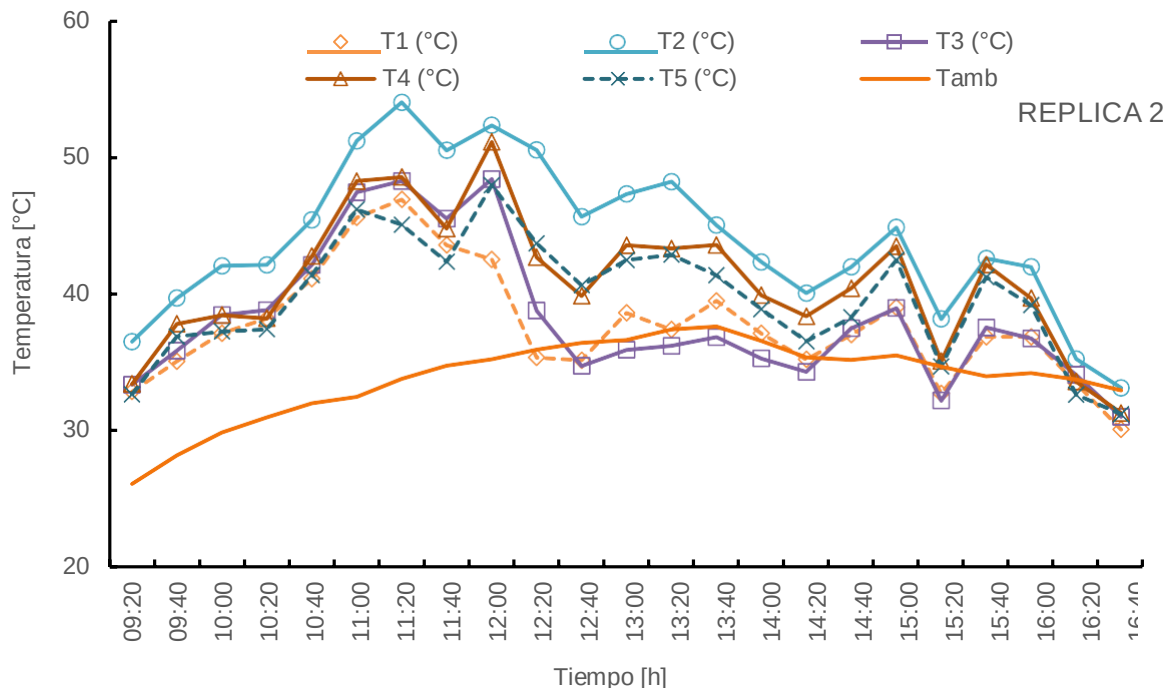
Tabla 14. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 54.70 |
| Tmin                          | 28.23 |
| Tprom                         | 37.75 |
| Temperatura ambiente promedio | 33.11 |
| Gradiente mínimo              | 4.88  |
| Gradiente máximo              | 21.59 |
| Desviación estándar           | 6.58  |

Fuente: Autor



Figura 17. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 20)



**Fuente:** Autor

Tabla 15. Valores de temperatura para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 54.00 |
| Tmin                          | 27.00 |
| Tprom                         | 37.70 |
| Temperatura ambiente promedio | 33.92 |
| Gradiente mínimo              | 6.92  |
| Gradiente máximo              | 20.08 |
| Desviación estándar           | 4.86  |

**Fuente:** Autor

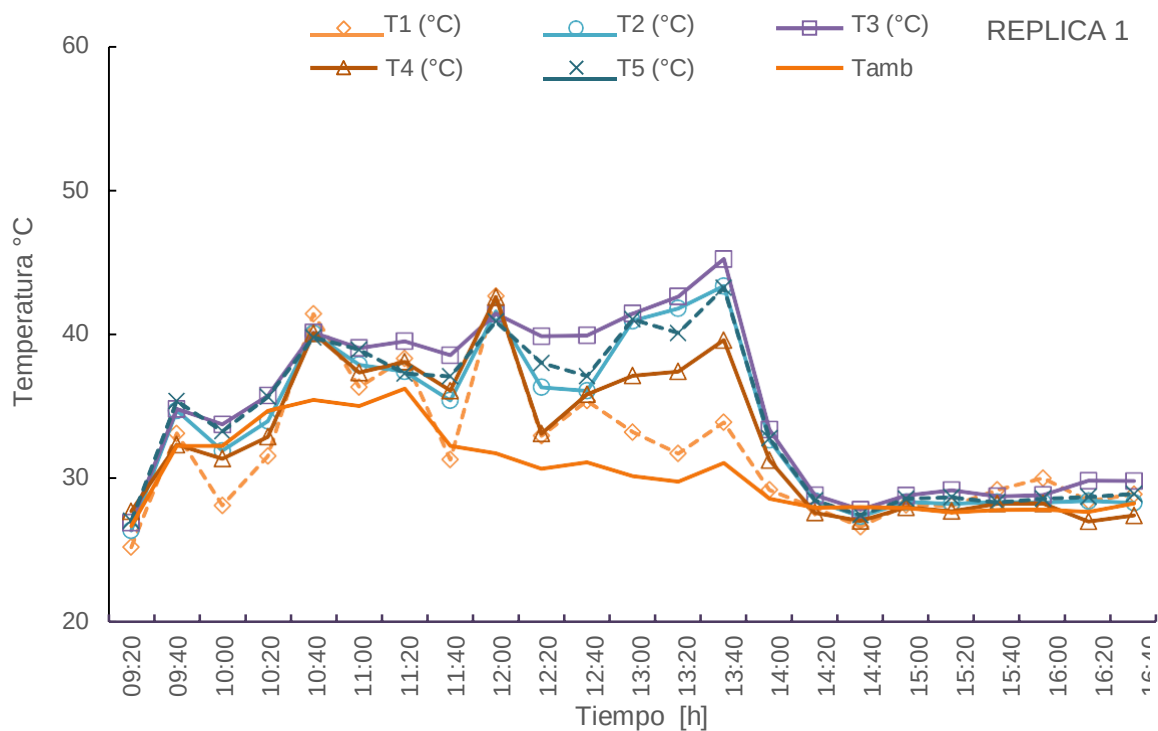
Los picos más altos de temperatura se obtuvieron en la misma franja de tiempo. La figura 16 deja ver como a medida que va fluyendo el aire por el túnel va incrementado su temperatura. En la réplica 3 lo máximo que se alejaron los valores de temperatura en la cámara de la temperatura ambiente fue 21.59°C y lo más cerca que estuvieron de la temperatura ambiente fue 4.88°C, mientras que en la réplica 2, lo máximo que

se alejaron los valores de temperatura en la cámara de la temperatura ambiente fue  $20.08^{\circ}\text{C}$  y lo más cerca que estuvieron de la temperatura ambiente fue  $6.92^{\circ}\text{C}$

#### 5.1.5 Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

Para esta combinación se analizan las réplicas 1 y 2. La réplica 3 presentaba un comportamiento muy diferente al de las otras dos réplicas.

Figura 18. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 5).



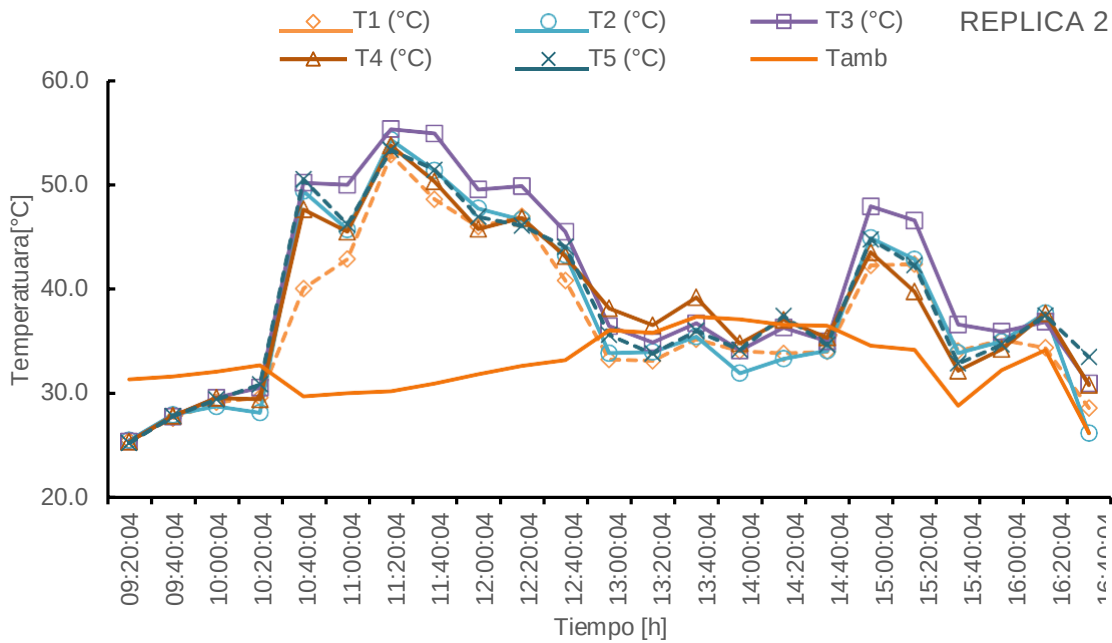
Fuente: Autor

Tabla 16. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

| Camara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 45.20 |
| Tmin                          | 25.25 |
| Tprom                         | 34.18 |
| Temperatura ambiente promedio | 30.5  |
| Gradiente mínimo              | 5.25  |
| Gradiente máximo              | 14.70 |
| Desviacion estándar           | 6.95  |

Fuente: Autor

Figura 19. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 13)



Fuente: Autor

Tabla 17. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 53.29 |
| Tmin                          | 25.22 |
| Tprom                         | 36.93 |
| Temperatura ambiente promedio | 33.16 |
| Gradiente mínimo              | 7.94  |
| Gradiente máximo              | 20.13 |
| Desviación estándar           | 6.29  |

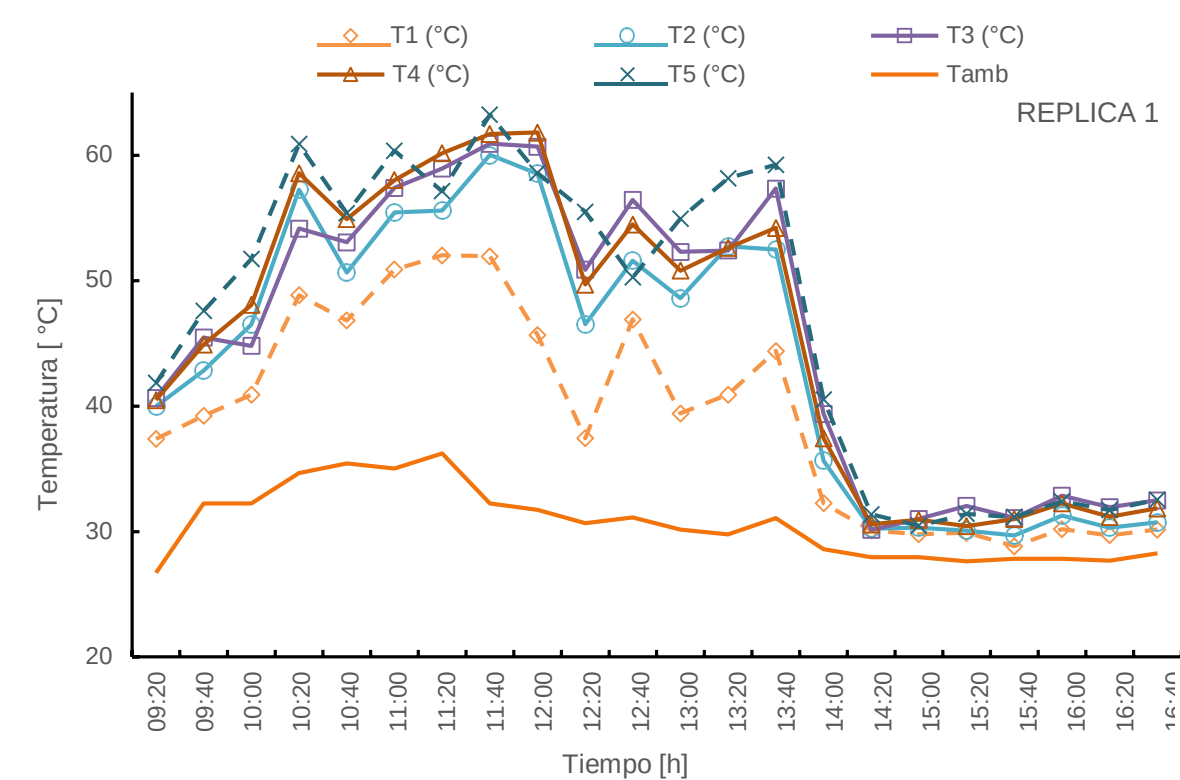
**Fuente:** Autor

En esta combinación se presentó gran diferencia entre una réplica y otra. Las réplicas no tienen tendencias tan homogéneas, sin embargo el rango de valores alcanzados es similar. En la réplica 1 se presentó mayor diferencia entre los valores de temperatura alcanzados dentro del túnel y la temperatura ambiente, mientras que en la réplica 2 los valores obtenidos dentro del túnel se acercan más a la temperatura ambiente. A pesar de esto, la desviación de ambas réplicas difiere muy poco una de la otra.

#### 5.1.6 Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

Para esta combinación se estudian las réplicas 1 y 3. La réplica 2 se descartó porque arrojaba valores atípicos.

Figura 20. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 6).



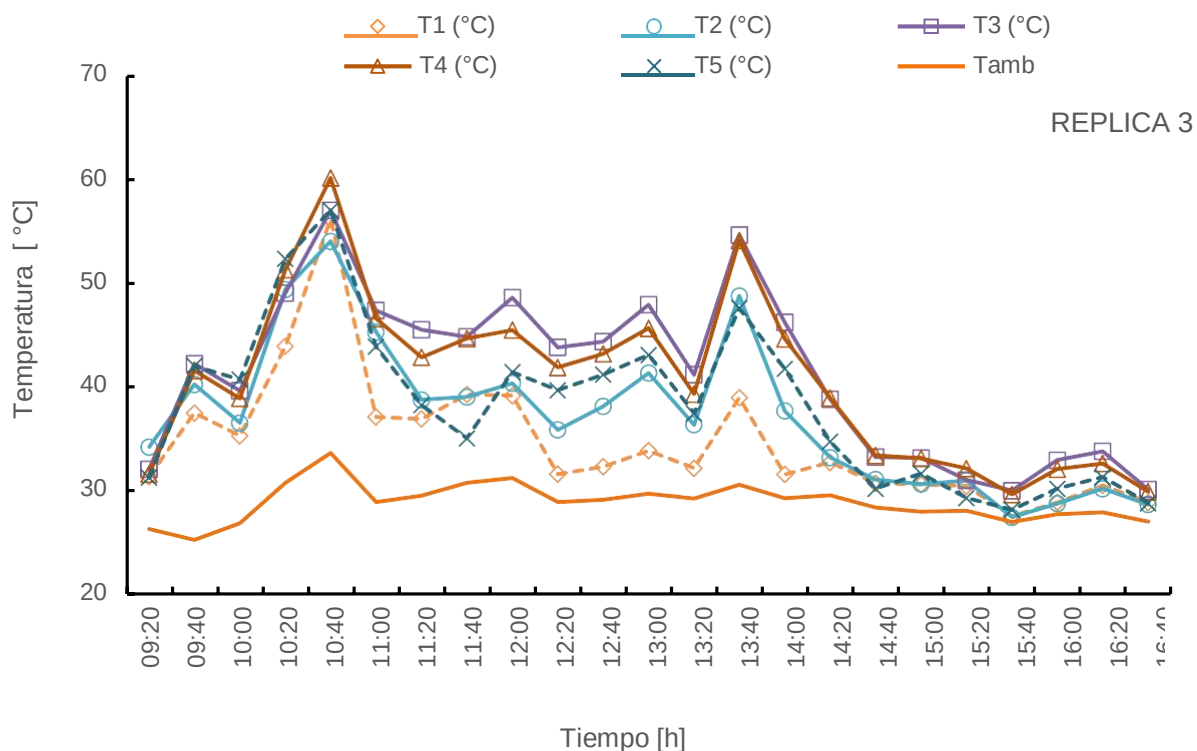
Fuente: Autor

Tabla 18. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 63.22 |
| Tmin                          | 27.06 |
| Tprom                         | 41.70 |
| Temperatura ambiente promedio | 30.49 |
| Gradiente mínimo              | 3.43  |
| Gradiente máximo              | 32.73 |
| Desviación estándar           | 10.42 |

Fuente: Autor

Figura 21. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación, colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 22).



**Fuente:** Autor

Tabla 19. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 57.69 |
| Tmin                          | 26.45 |
| Tprom                         | 35.86 |
| Temperatura ambiente promedio | 28.87 |
| Gradiente mínimo              | 2.35  |
| Gradiente máximo              | 28.82 |
| Desviación estándar           | 6.11  |

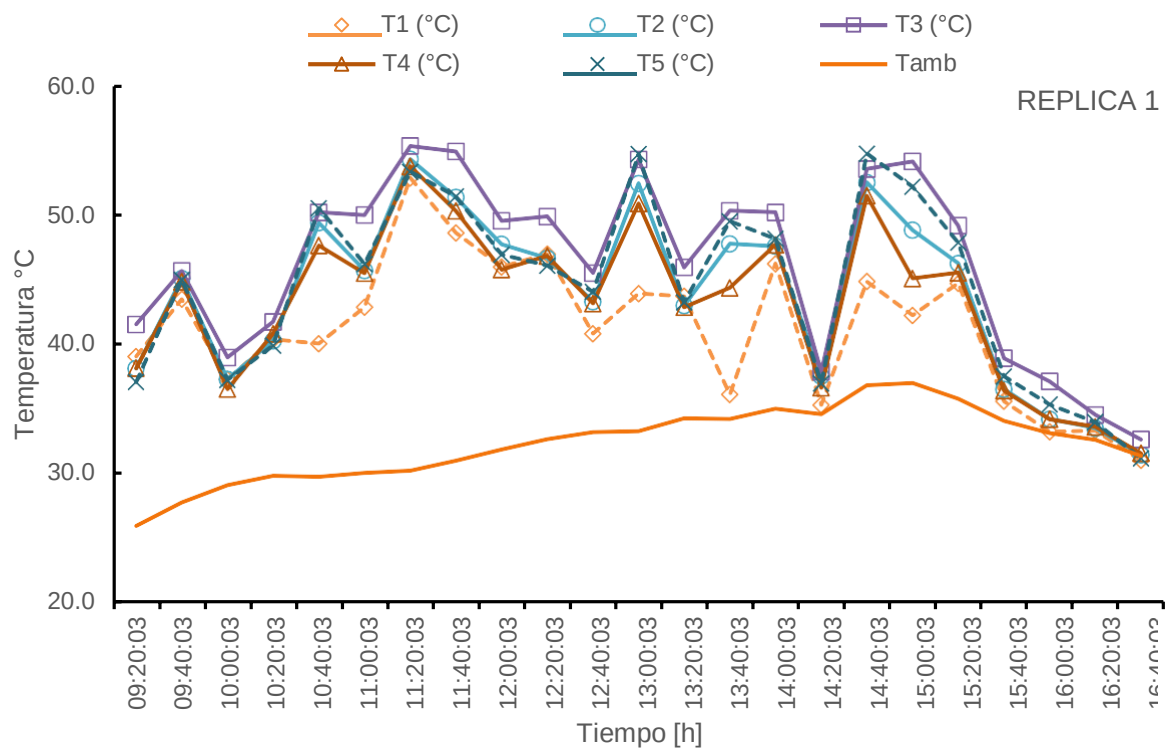
**Fuente:** Autor

El pico más alto de temperatura en ambas réplicas se alcanzó durante de la mañana y la réplica que más se acerca a la temperatura ambiente promedio es la réplica 3 lo que quiere decir que es más ineficiente.

### 5.1.7 Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente, replica 1

Para este análisis se tienen en cuenta las réplicas 1 y 2 debido a que la réplica 3 muestra valores atípicos.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 7).



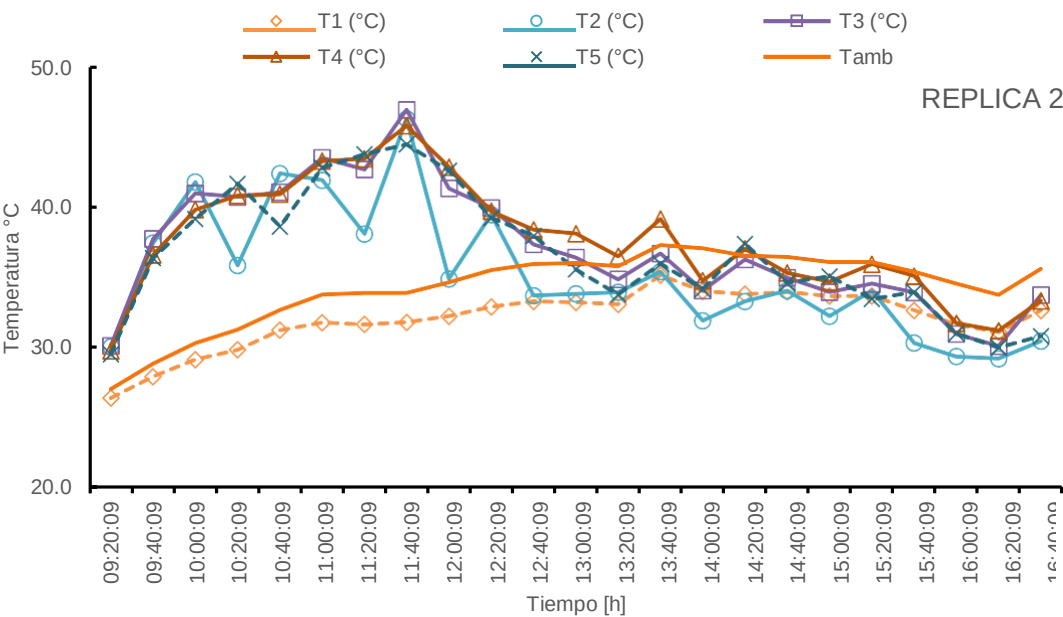
Fuente: Autor

Tabla 20. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 54.72 |
| Tmin                          | 28.86 |
| Tprom                         | 40.99 |
| Temperatura ambiente promedio | 32.21 |
| Gradiente mínimo              | 3.35  |
| Gradiente máximo              | 22.51 |
| Desviación estándar           | 7.14  |

Fuente: Autor

Figura 23. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 15).



Fuente: Autor



Tabla 21. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 44.89 |
| Tmin                          | 26.42 |
| Tprom                         | 34.71 |
| Temperatura ambiente promedio | 34.29 |
| Gradiente mínimo              | 7.87  |
| Gradiente máximo              | 10.60 |
| Desviación estándar           | 4.21  |

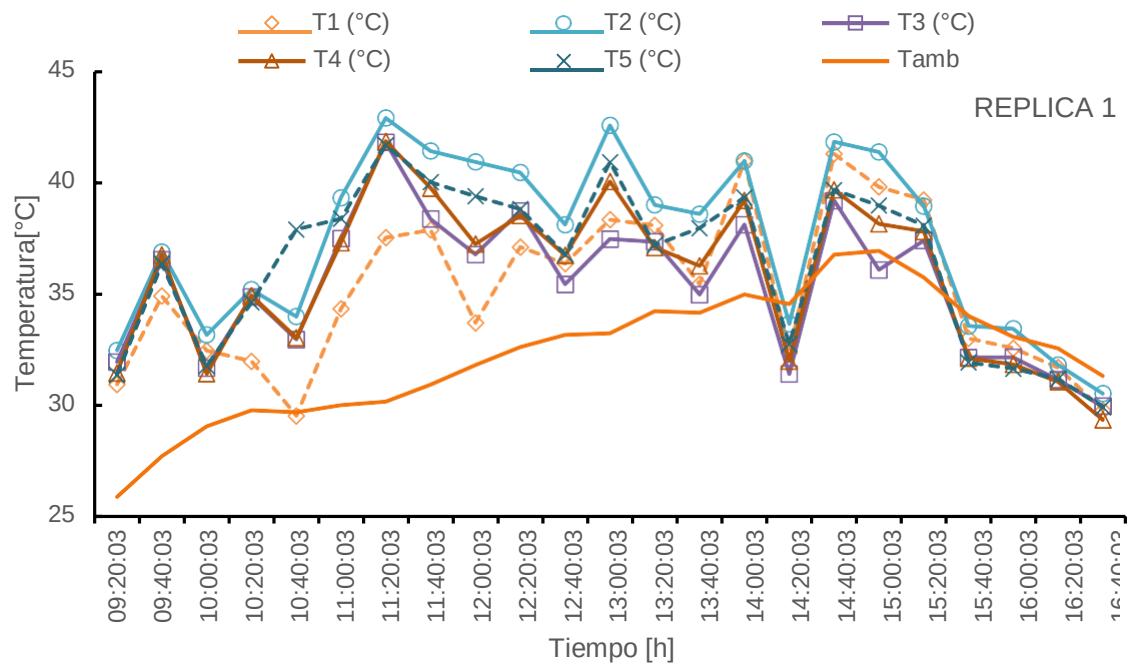
**Fuente:** Autor

El pico más alto de temperatura en la réplica 1 se dio a las 3 de la tarde, mientras que en la réplica 2 se dio cerca del mediodía. En la tabla de gradientes observamos como la réplica 2 tiene una desviación más pequeña en comparación con la otra réplica, lo que refleja que la réplica 2 arroja valores más cercanos a los ambiente promedio.

#### 5.1.8 Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

Para este análisis se tienen en cuenta la réplica 1 y la réplica 2 puesto que presentaban comportamientos muy similares. A diferencia de la réplica 3, que presentaba datos muy atípicos.

Figura 24. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 8).



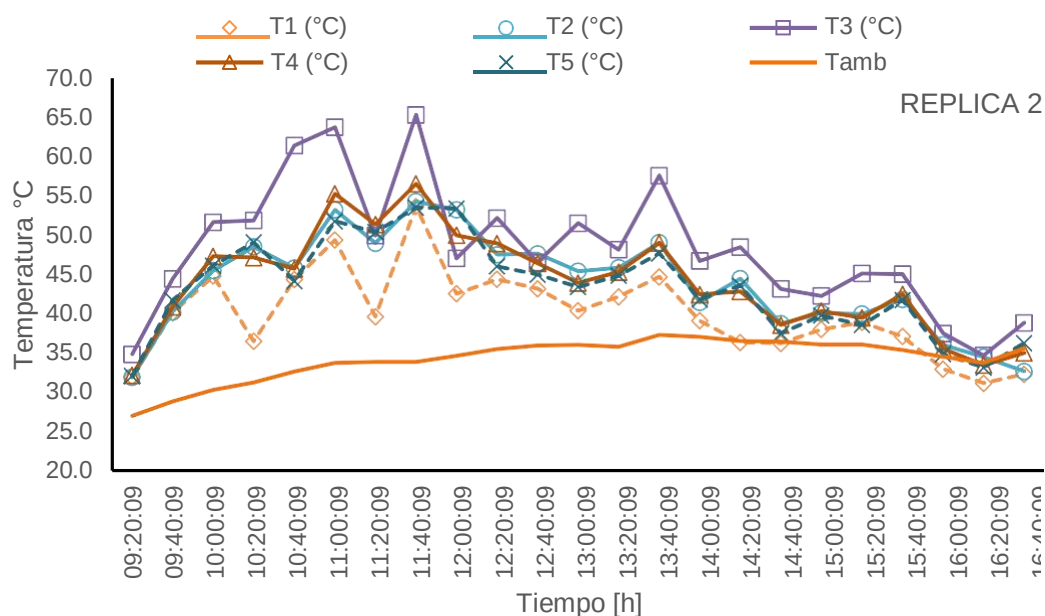
Fuente: Autor

Tabla 22. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 43.07 |
| Tmin                          | 27.45 |
| Tprom                         | 34.97 |
| Temperatura ambiente promedio | 32.21 |
| Gradiente mínimo              | 4.76  |
| Gradiente máximo              | 10.86 |
| Desviación estándar           | 4.16  |

Fuente: Autor

Figura 25. Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 16).



**Fuente:** Autor

Tabla 23. Valores de temperatura para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado              | °C    |
|-------------------------------|-------|
| Tmax                          | 65.30 |
| Tmin                          | 26.70 |
| Tprom                         | 38.43 |
| Temperatura ambiente promedio | 34.29 |
| Gradiente mínimo              | 7.59  |
| Gradiente máximo              | 31.01 |
| Desviación estándar           | 2.71  |

**Fuente:** Autor

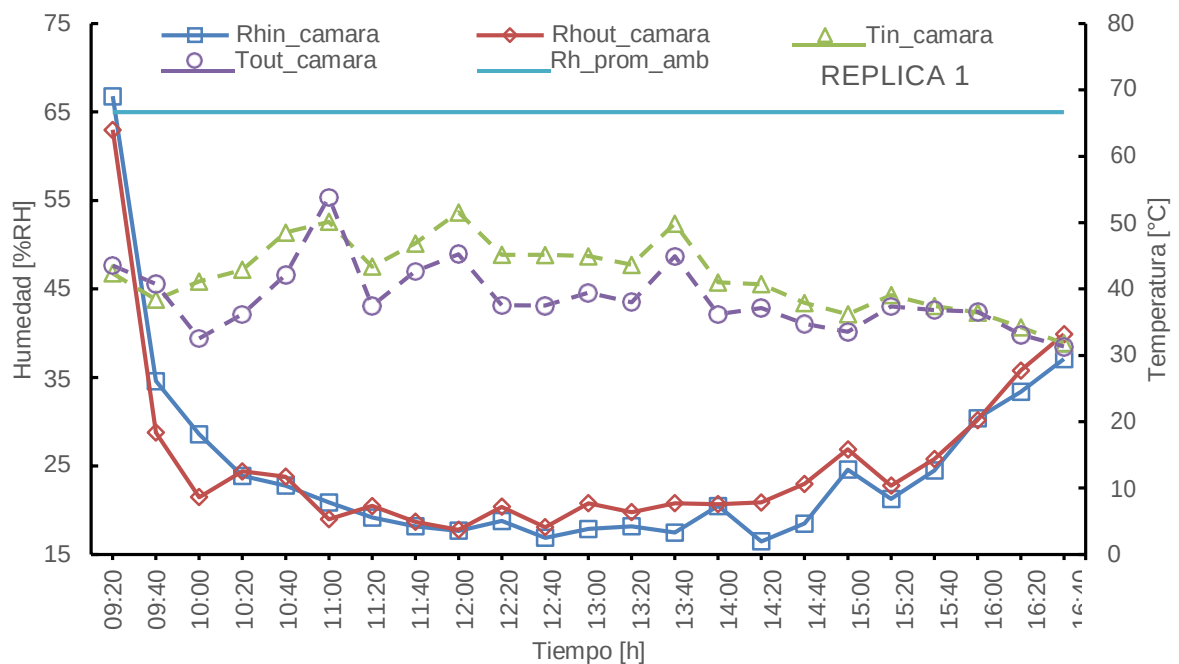
Las réplicas presentan tendencias similares, ambas reflejan como la temperatura dentro del túnel tiene a estar por encima de la temperatura ambiente a lo largo del túnel. Sin embargo, la réplica 2 presenta una desviación estándar menor a la de la réplica 1 lo que refleja que la réplica 2 tiende a asemejarse más a los valores de la temperatura ambiente promedio.

## 5.2 ANÁLISIS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CÁMARA DE SECADO

### 5.2.1 Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

Para este análisis se usarán las réplicas 1 y 2 debido a que la réplica 3 muestra resultados atípicos, en el análisis de temperatura en el colector no se pudo analizar la réplica 1 pero el análisis de humedad si se pudo realizar.

Figura 26. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 1)



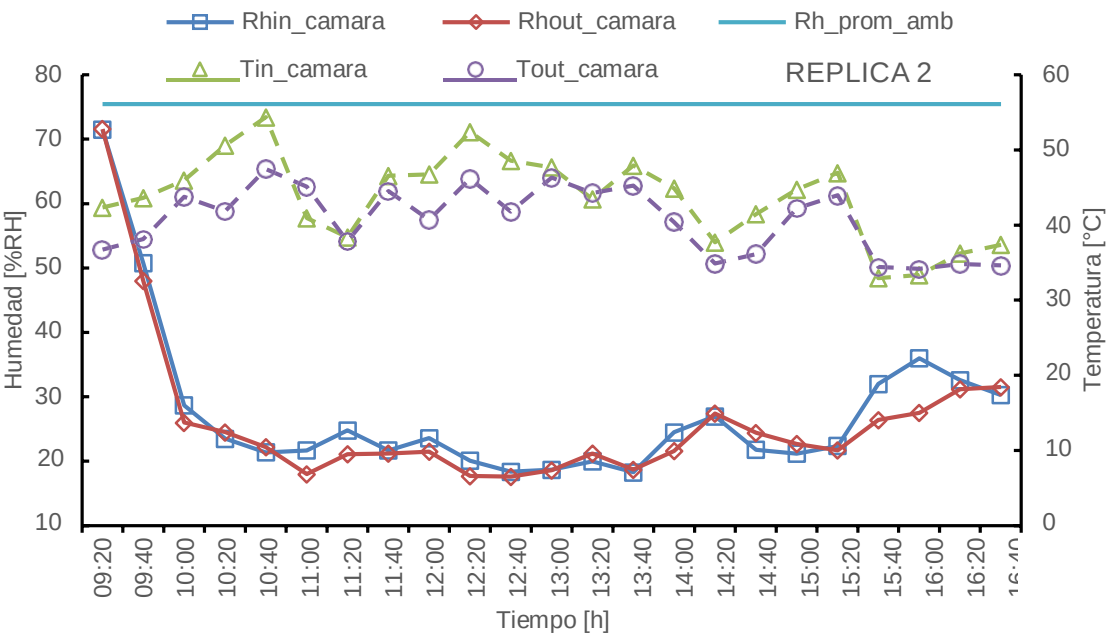
Fuente: Autor

Tabla 24. Valores de humedad y Flujos de aire para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

| Camara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 66.8  |
| RH min                             | 16.5  |
| RH prom                            | 25.05 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 66.67 |
| Gradiente mínimo                   | 0.13  |
| Gradiente máximo                   | 50.17 |
| Desviacion estándar                | 10.36 |

Fuente: Autor

Figura 27. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 9)



Fuente: Autor

Tabla 25. Valores de humedad y Flujos de aire para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Cámara de secado                   | %RH   |
| RH max                             | 71.6  |
| RH min                             | 17.6  |
| RH prom                            | 26.81 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 75.45 |
| Gradiente mínimo                   | 3.85  |
| Gradiente máximo                   | 57.85 |
| Desviación estándar                | 11.86 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.01            | 0.25            |
| 12:00 | 0.13            | 0.38            |
| 14:00 | 0.24            | 0.52            |
| 16:00 | 0.03            | 0.13            |

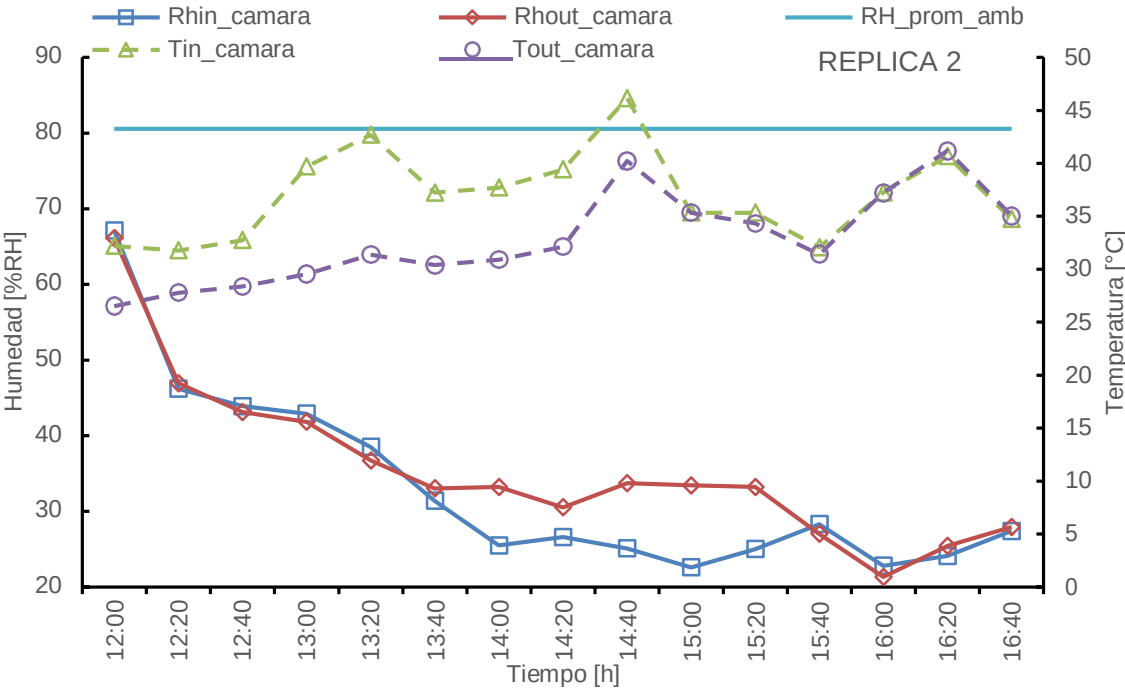
**Fuente:** Autor

Con la cubierta transparente se consiguió llegar a altas temperaturas lo cual implica una disminución de la humedad y en ambas replicas el gradiente máximo fue de por lo menos el 50%, es decir que con esta combinación se puede disminuir a la mitad la humedad relativa en la cámara de secado en comparación con la humedad relativa ambiente, al hacer uso de la convección natural se llegaron a altos flujos de aire lo que nos implica una disminución de homogeneidad de la temperatura en la cámara de secado.

#### 5.2.2 Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

Para este análisis se usarán las réplicas 2 y 3 debido a que la réplica 1 muestra resultados atípicos.

Figura 28. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba11)



Fuente: Autor

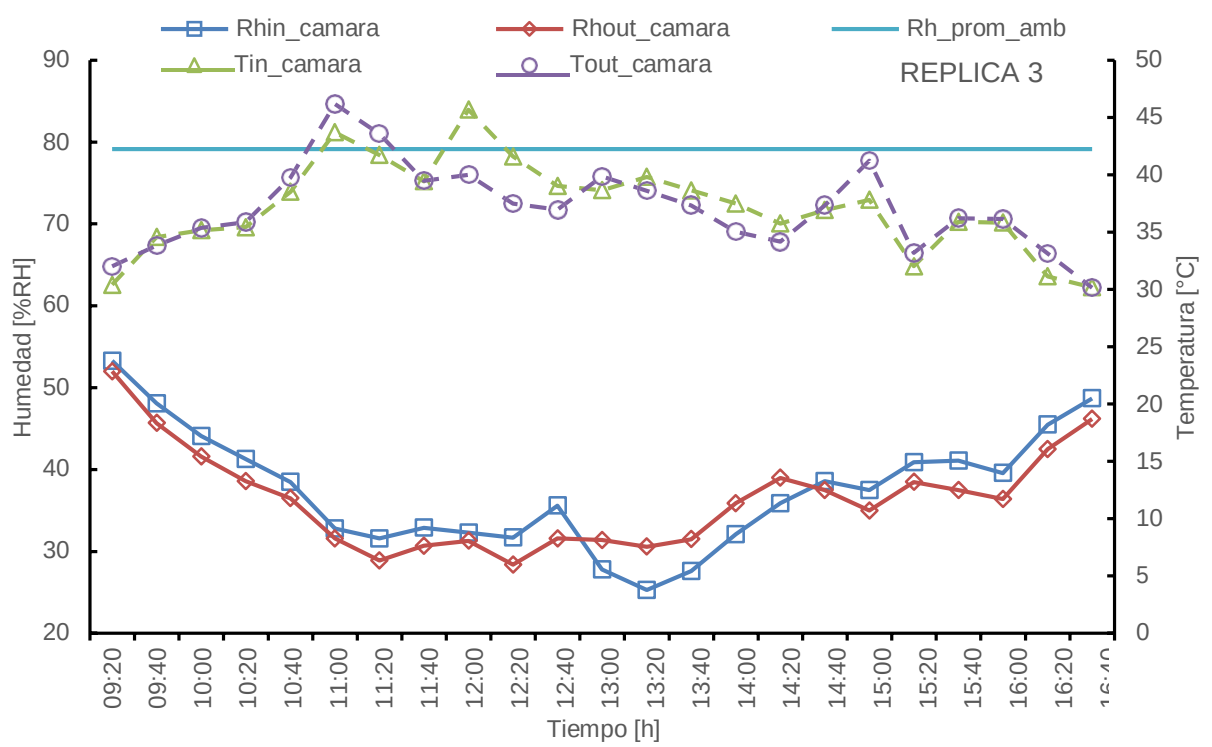
Tabla 25. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 67.1  |
| RH min                             | 21.3  |
| RH prom                            | 34.35 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 80.57 |
| Gradiente mínimo                   | 13.47 |
| Gradiente máximo                   | 59.27 |
| Desviación estándar                | 11.52 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.13            | 0.22            |
| 12:00 | 0.07            | 0.23            |

Fuente: Autor

Figura 29. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 19)



Fuente: Autor

Tabla 26. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado          | %RH   |
|---------------------------|-------|
| RH max                    | 53.3  |
| RH min                    | 25.3  |
| RH prom                   | 36.99 |
| Humedad relativa promedio | 79.13 |
| Gradiente mínimo          | 25.83 |
| Gradiente máximo          | 53.83 |
| Desviación estándar       | 6.64  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.19            | 0.24            |
| 12:00 | 0.07            | 0.18            |
| 14:00 | 0.07            | 0.08            |
| 16:00 | 0.06            | 0.18            |

Fuente: Autor

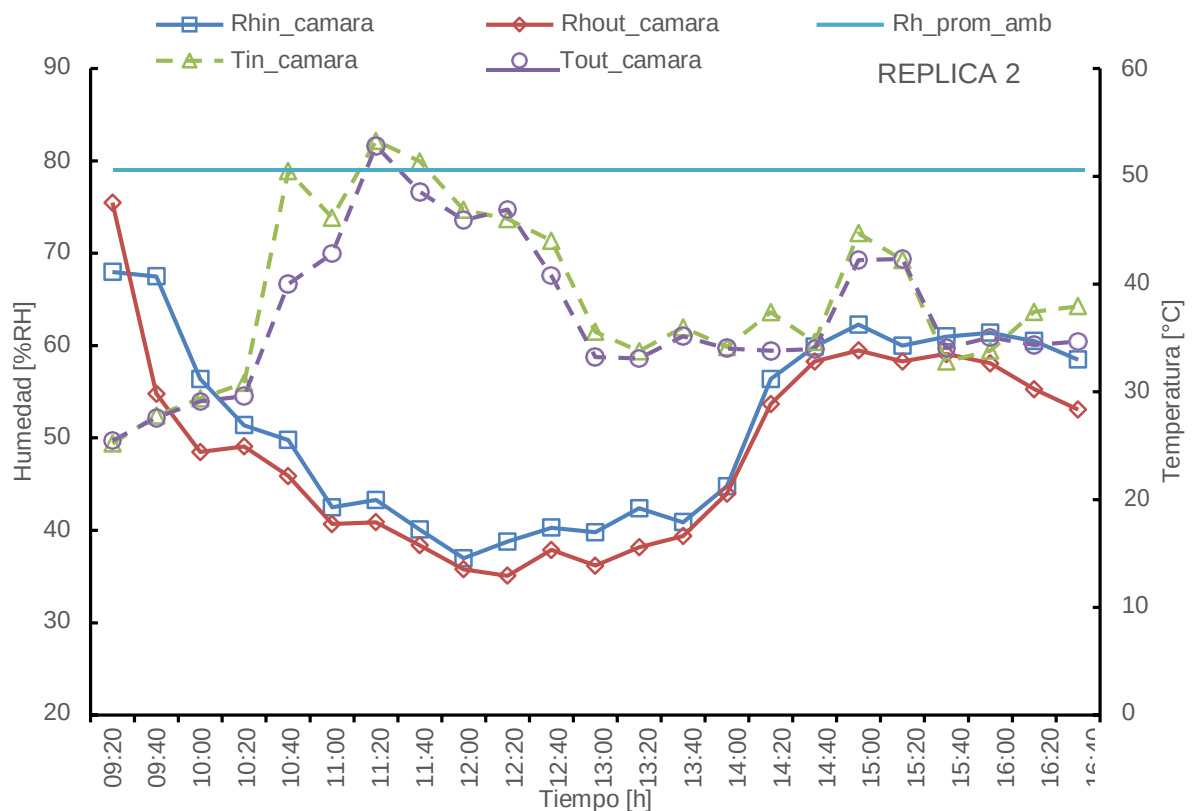


Con esta combinación se consigue una temperatura homogénea a lo largo de la cámara de secado, en la réplica 3 a las 11:00 a.m. y a las 3:00 p.m. se encuentran 2 picos donde la temperatura de salida es más alta que la temperatura de entrada esto se podría deber a un flujo de aire natural que paso por la entrada de la cámara, en la réplica 2 la temperatura de entrada en la cámara es más alta que la temperatura de salida, esto se puede dar debido a que la cubierta negra simula la sombra, con esta combinación se consigue reducir entre 53% y 59% la humedad.

### 5.2.3 Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

Para este análisis se usarán las réplicas 2 y 3 debido a que la réplica 1 muestra resultados atípicos.

Figura 30. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 13)



Fuente: Autor

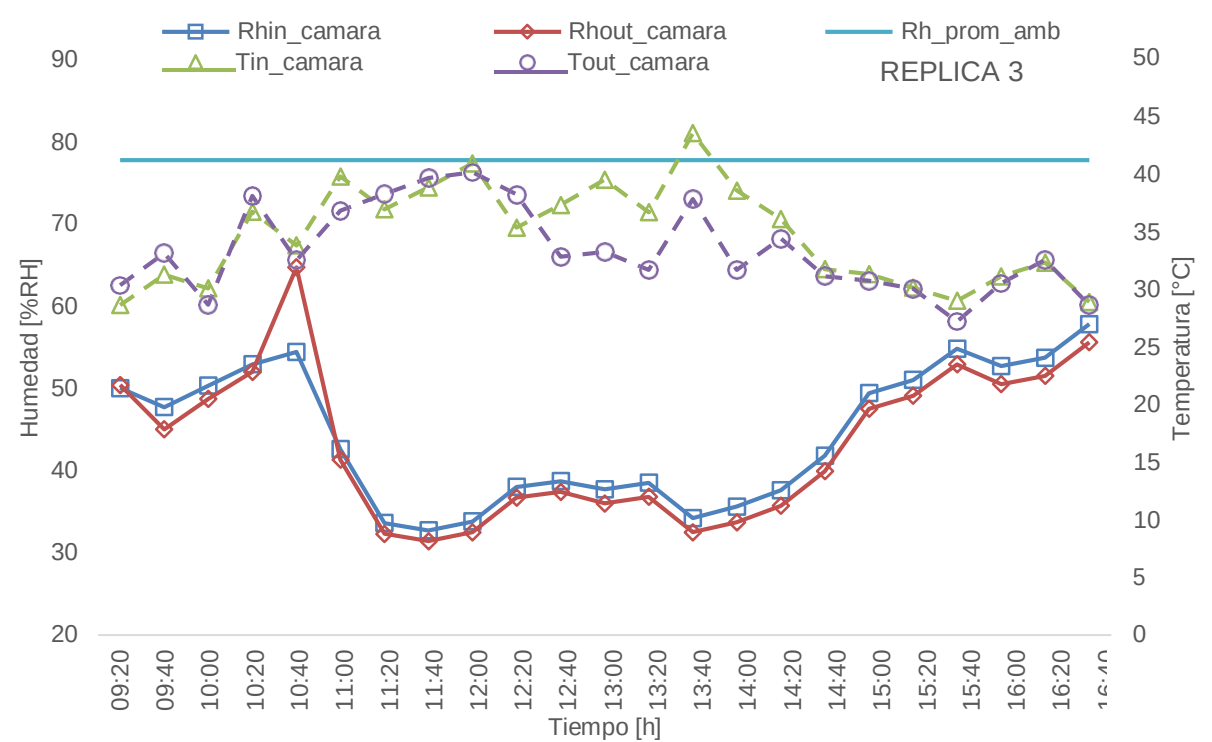
Tabla 27. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 75.5  |
| RH min                             | 35.1  |
| RH prom                            | 44.32 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 78.69 |
| Gradiente mínimo                   | 3.19  |
| Gradiente máximo                   | 43.59 |
| Desviación estándar                | 10.36 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.1             | 0.14            |
| 12:00 | 0.02            | 0.11            |
| 14:00 | 0.12            | 0.21            |
| 16:00 | 0.14            | 0.19            |

Fuente: Autor

Figura 31. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 21)



Fuente: Autor

Tabla 28. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Cámara de secado                   | %RH   |
| RH max                             | 64.8  |
| RH min                             | 31.5  |
| RH prom                            | 43.87 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 77.85 |
| Gradiente mínimo                   | 13.05 |
| Gradiente máximo                   | 46.35 |
| Desviación estándar                | 8.69  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0               | 0.18            |
| 12:00 | 0.08            | 0.25            |
| 14:00 | 0.2             | 0.43            |
| 16:00 | 0.16            | 0.41            |

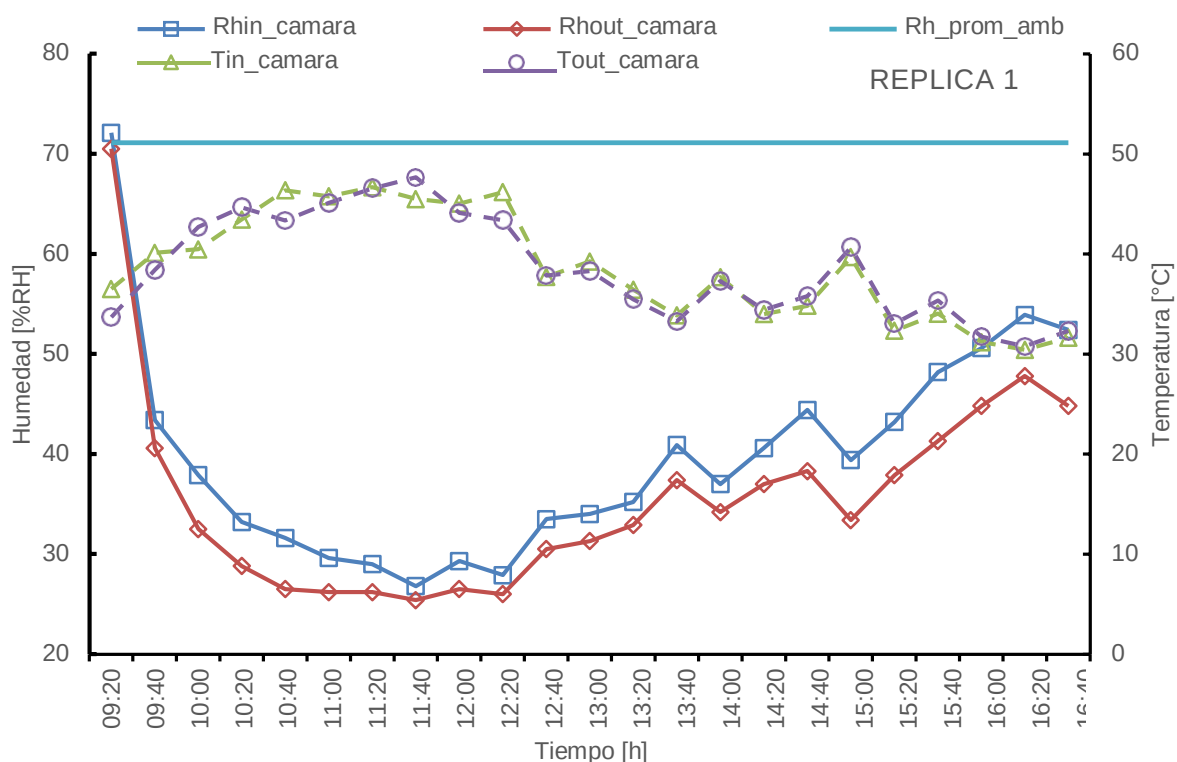
**Fuente:** Autor

La réplica 3 a las 10:40 a.m. tiene un pico el cual no tiene explicación, se revisaron los datos y la bitácora climatológica del día de la toma de datos y no hay una explicación, la temperatura en la cámara de secado en ambas replicas fue inestable, pero en la réplica 2 se consiguió una mayor homogeneidad que en la réplica 3 y con esta combinación se consiguió reducir la humedad entre 43% y 46%.

#### 5.2.4 Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

Para este análisis se usarán las réplicas 1 y 3 debido a que la réplica 2 muestra resultados atípicos.

Figura 32. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 3)



Fuente: Autor

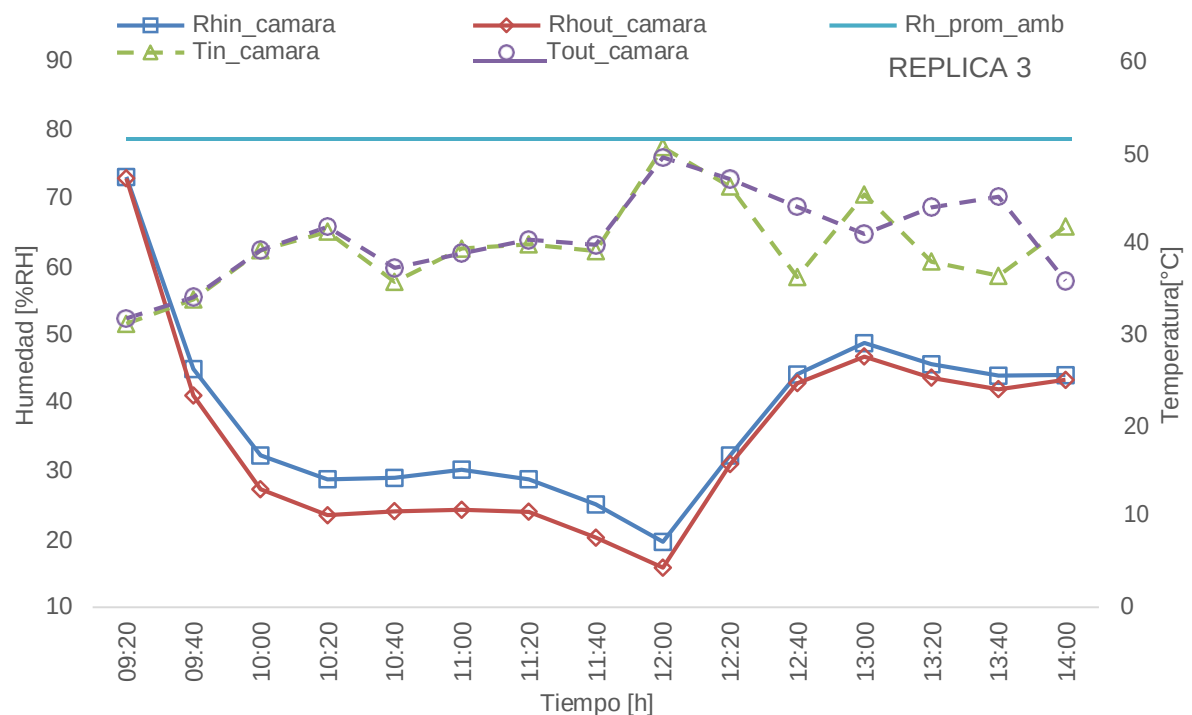
Tabla 29. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado          | %RH   |
|---------------------------|-------|
| RH max                    | 72.1  |
| RH min                    | 25.4  |
| RH prom                   | 37.72 |
| Humedad relativa promedio | 71.12 |
| Gradiente mínimo          | 0.98  |
| Gradiente máximo          | 45.72 |
| Desviación estándar       | 10.49 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.01            | 0.14            |
| 12:00 | 0.01            | 0.46            |
| 14:00 | 0.18            | 0.23            |
| 16:00 | 0.13            | 0.39            |

Fuente: Autor

Figura 33. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 23)



Fuente: Autor

Tabla 30. Gradientes de humedad y Flujos de aire combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 73.2  |
| RH min                             | 15.8  |
| RH prom                            | 36.47 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 78.82 |
| Gradiente mínimo                   | 5.62  |
| Gradiente máximo                   | 63.02 |
| Desviación estándar                | 13.85 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.01            | 0.17            |
| 12:00 | 0               | 0.03            |

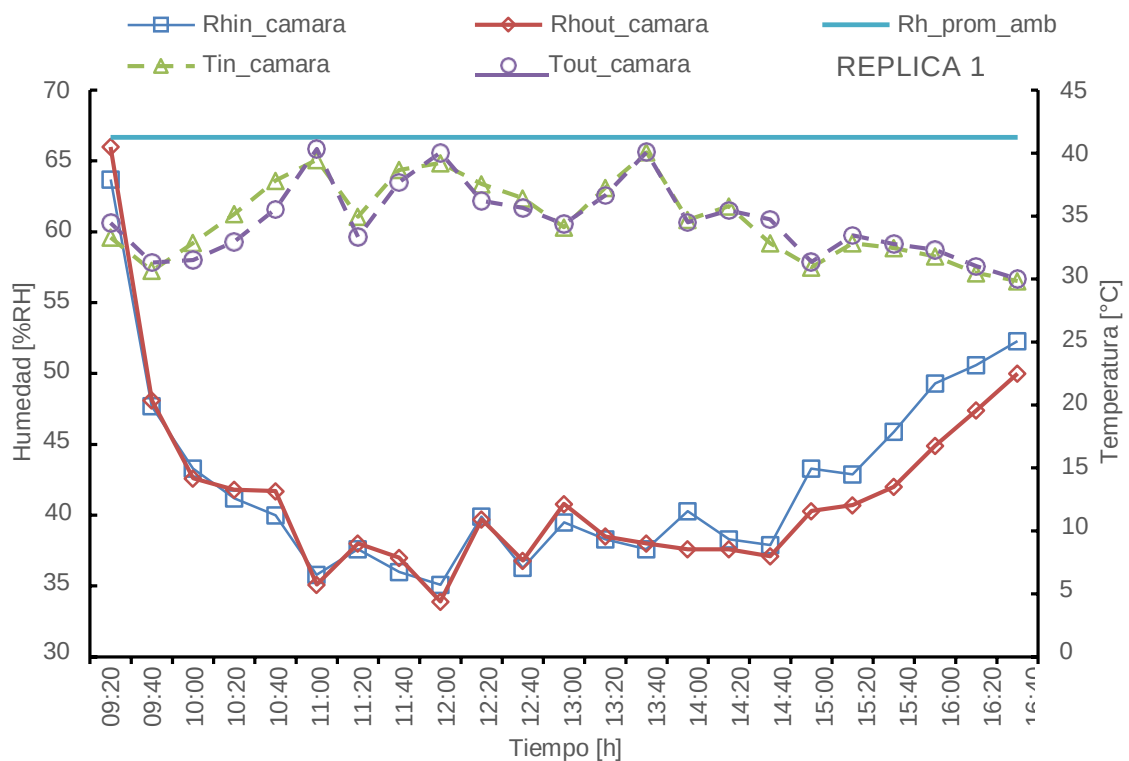
Fuente: Autor

La temperatura de entrada y salida de la cámara de secado en la réplica 1 no es homogénea, pero la humedad relativa si baja según lo esperado y en la réplica 1 a partir de las 12:00 p.m. la temperatura baja de forma atípica pero la humedad relativa sube de una forma homogénea, con esta combinación se consiguió disminuir entre 63% y 67% la humedad.

## 5.2.5 Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

En este análisis se usarán las réplicas 1 y 2 debido a que la réplica 3 muestra resultados atípicos.

Figura 34. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 2)



Fuente: Autor

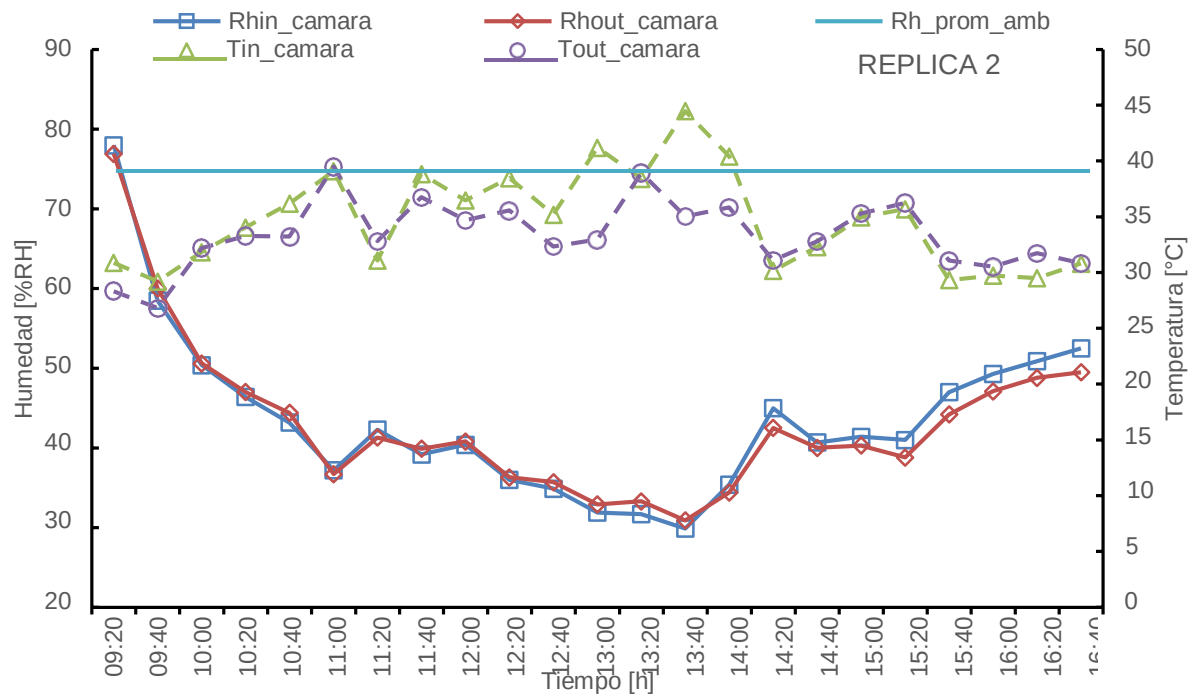
Tabla 31. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 66    |
| RH min                             | 33.9  |
| RH prom                            | 41.92 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 66.67 |
| Gradiente mínimo                   | 0.67  |
| Gradiente máximo                   | 32.77 |
| Desviación estándar                | 6.68  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.05            | 0.54            |
| 12:00 | 0.42            | 1.16            |
| 14:00 | 0.63            | 0.8             |
| 16:00 | 0.23            | 0.35            |

Fuente: Autor

Figura 35. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra (prueba 10)



Fuente: Autor

Tabla 32. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Cámara de secado                   | %RH   |
| RH max                             | 78    |
| RH min                             | 29.9  |
| RH prom                            | 43.38 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 75.45 |
| Gradiente mínimo                   | 2.55  |
| Gradiente máximo                   | 45.55 |
| Desviación estándar                | 10.13 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.06            | 1.16            |
| 12:00 | 0.05            | 0.19            |
| 14:00 | 0.27            | 0.47            |
| 16:00 | 0.2             | 0.34            |

**Fuente:** Autor

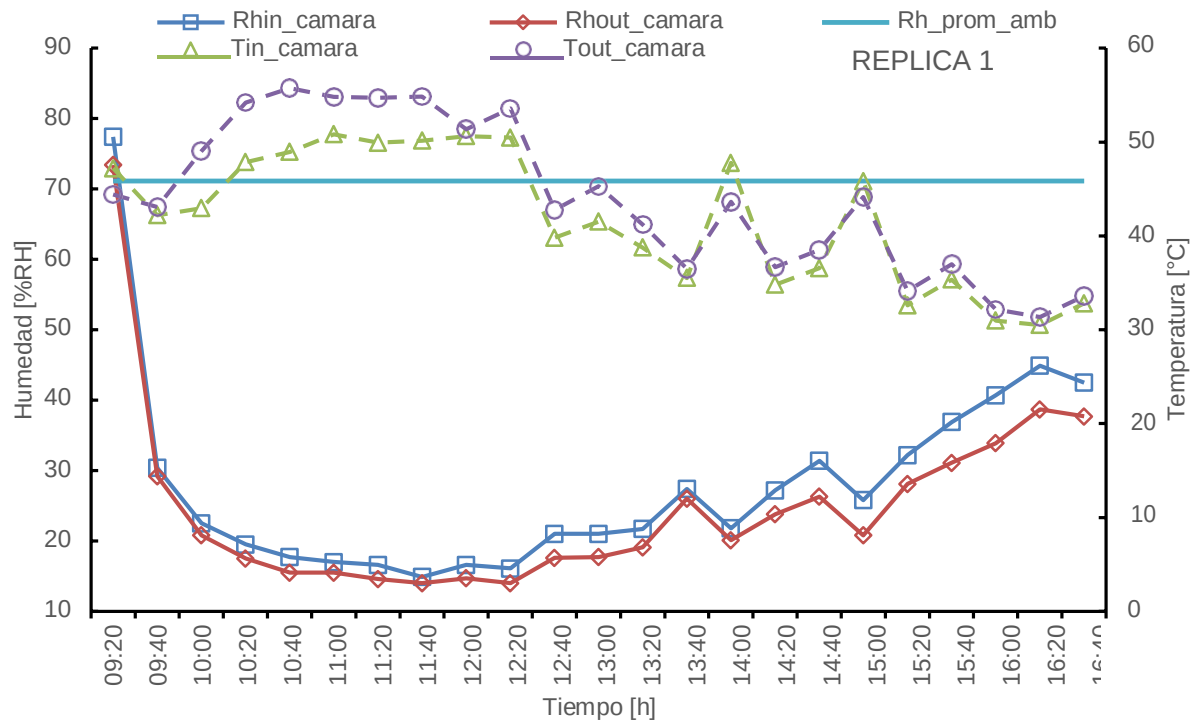
Los resultados de ambas replicas coinciden con los esperados, a medida que la temperatura aumenta la humedad disminuye y si la temperatura disminuye la humedad aumenta, se registran varios picos de temperatura a lo largo de la toma de datos debido a que se utilizaba convección natural y el flujo de aire no era constante, con esta combinación se consiguió disminuir entre 32 % y 45% la humedad en comparación con el ambiente.

#### 5.2.6 Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

Para este análisis se usarán las réplicas 1 y 3 debido a que la réplica 2 muestra unos resultados atípicos.



Figura 36. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 4)



Fuente: Autor

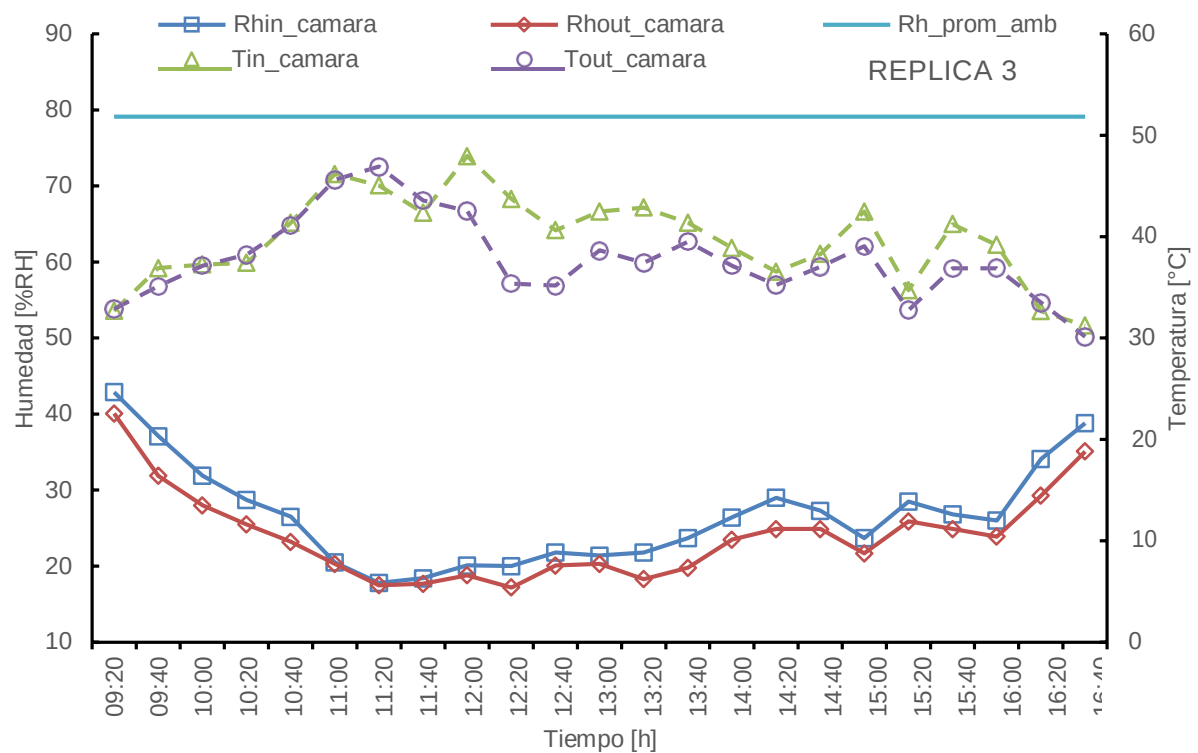
Tabla 33. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado          | %RH   |
|---------------------------|-------|
| RH max                    | 77.4  |
| RH min                    | 14    |
| RH prom                   | 26.38 |
| Humedad relativa promedio | 71.12 |
| Gradiente mínimo          | 6.28  |
| Gradiente máximo          | 57.12 |
| Desviación estándar       | 13.45 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.06            | 0.2             |
| 12:00 | 0.14            | 0.16            |
| 14:00 | 0.16            | 0.2             |
| 16:00 | 0.04            | 0.22            |

Fuente: Autor

Figura 37. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente (prueba 20)



Fuente: Autor

Tabla 34. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 42.9  |
| RH min                             | 17.2  |
| RH prom                            | 25.35 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 79.13 |
| Gradiente mínimo                   | 36.23 |
| Gradiente máximo                   | 61.93 |
| Desviación estándar                | 6.35  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.08            | 0.2             |
| 12:00 | 0.03            | 0.04            |
| 14:00 | 0.28            | 0.32            |
| 16:00 | 0.13            | 0.23            |

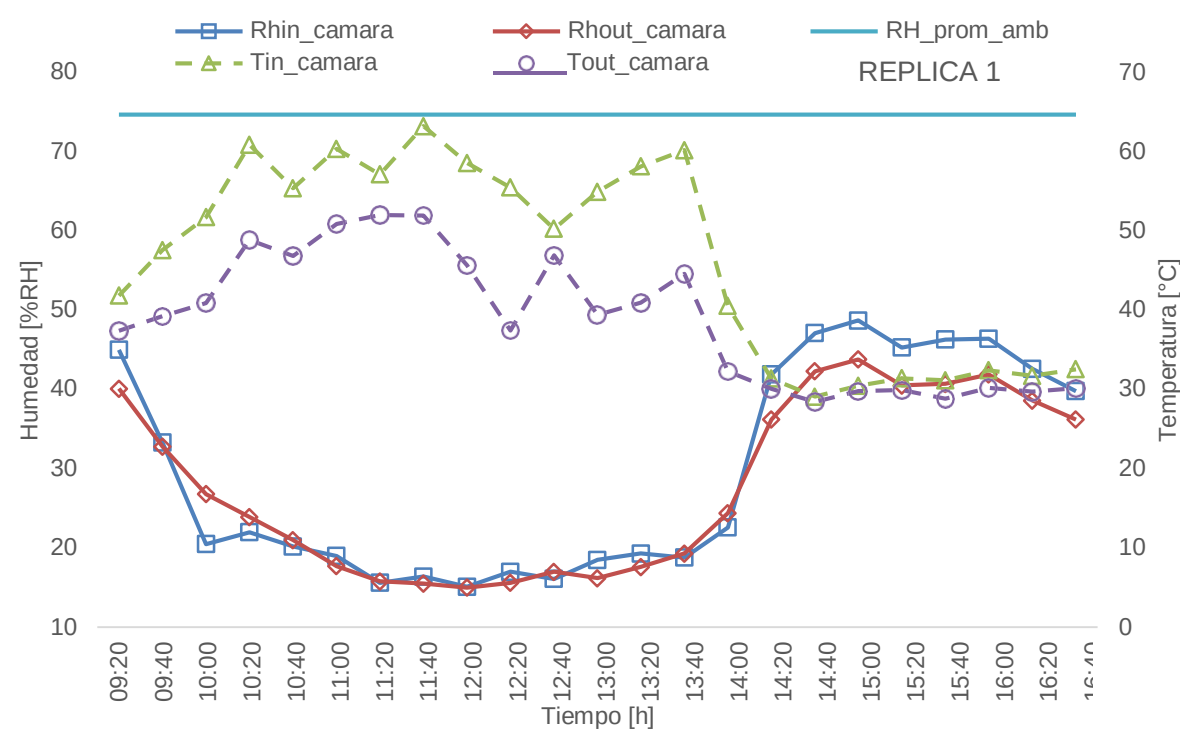
Fuente: Autor

En la réplica 1 a partir de la 1:40 p.m. se evidencian picos de temperatura tanto en la entrada como en la salida de la cámara de secado y esto se debe a las condiciones climáticas que se registraron, con esta combinación se consiguió disminuir la humedad relativa entre 57% y 61%

5.2.7 Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

Para este análisis se usarán las réplicas 1 y 2 debido a que la réplica 3 muestra unos resultados atípicos.

Figura 38. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 6)



Fuente: Autor

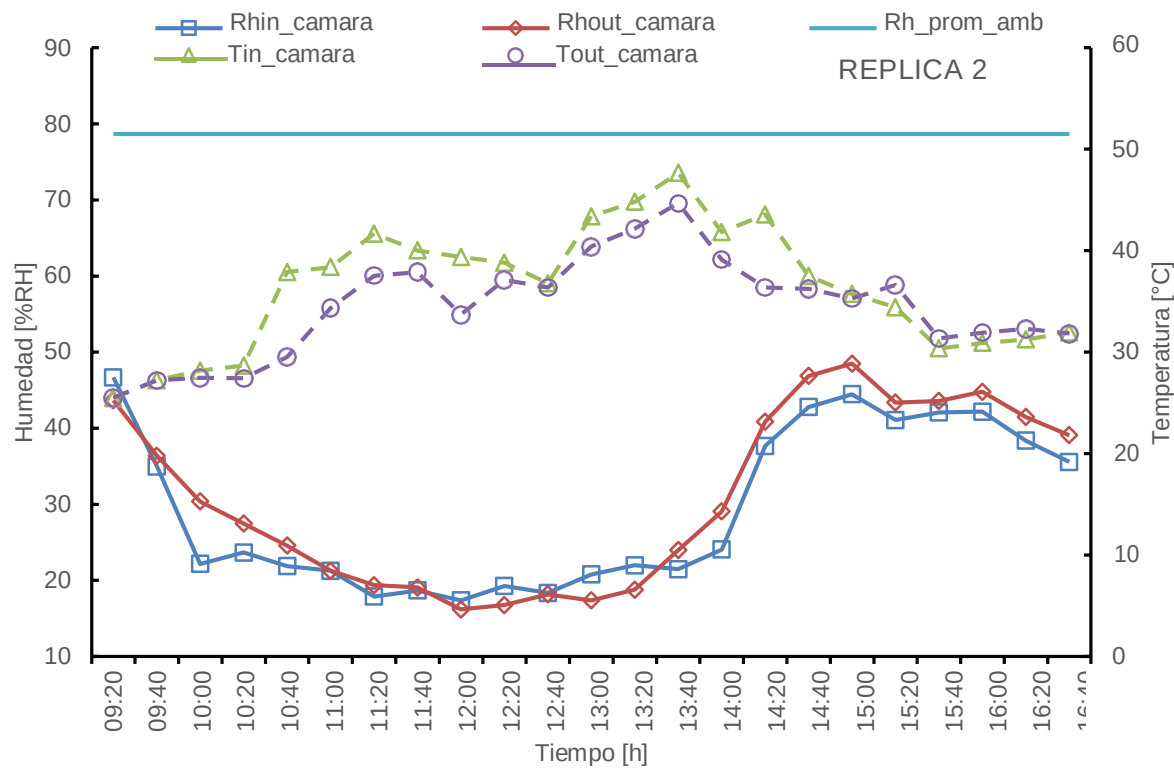
Tabla 35. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente.

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 48.7  |
| RH min                             | 15    |
| RH prom                            | 28.62 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 74.67 |
| Gradiente mínimo                   | 25.97 |
| Gradiente máximo                   | 59.67 |
| Desviación estándar                | 12.00 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.05            | 0.16            |
| 12:00 | 0.03            | 0.21            |
| 14:00 | 0.17            | 0.6             |
| 16:00 | 0.96            | 1.67            |

Fuente: Autor

Figura 39. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente (prueba 14)



Fuente: Autor

Tabla 36. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Cámara de secado                   | %RH   |
| RH max                             | 48.5  |
| RH min                             | 16.2  |
| RH prom                            | 30.15 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 78.69 |
| Gradiente mínimo                   | 30.19 |
| Gradiente máximo                   | 62.49 |
| Desviación estándar                | 10.93 |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.03            | 0.15            |
| 12:00 | 0.01            | 0.09            |
| 14:00 | 0.04            | 0.13            |
| 16:00 | 0.1             | 0.17            |

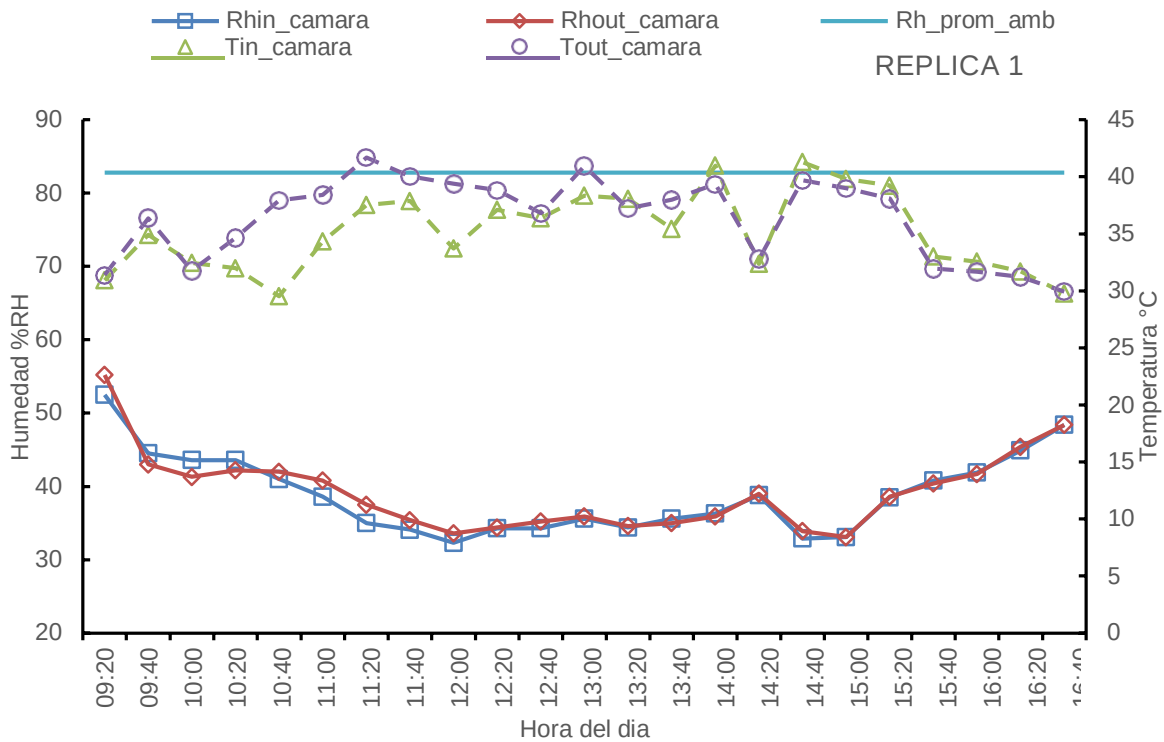
**Fuente:** Autor

En la réplica 1 a lo largo de la cámara de secado la temperatura tiene una disminución significativa, esto se da debido a factores climatológicos, la humedad relativa en la cámara tuvo un comportamiento homogéneo hasta las horas de la tarde que tanto la temperatura como la humedad descendió, en la réplica 2 hay menos homogeneidad que en la réplica 1 pero era más estable, con esta combinación se consiguió reducir la humedad relativa entre 59% y 62%.

#### 5.2.8 Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

Para este análisis se usarán las réplicas 1 y 2 debido a que la réplica 3 muestra unos resultados atípicos.

Figura 40. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 8)



Fuente: Autor

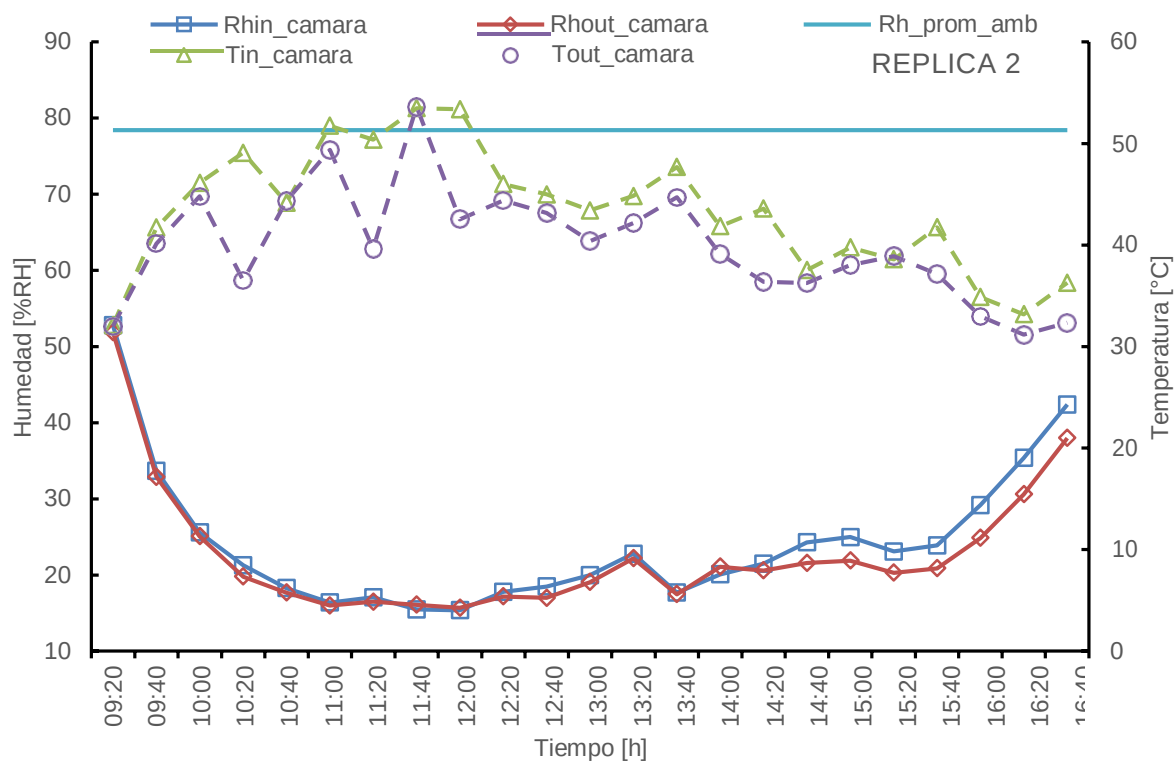
Tabla 37. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado          | %RH   |
|---------------------------|-------|
| RH max                    | 55.2  |
| RH min                    | 32.3  |
| RH prom                   | 39.08 |
| Humedad relativa promedio | 82.8  |
| Gradiente mínimo          | 27.6  |
| Gradiente máximo          | 50.5  |
| Desviación estándar       | 5.35  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0               | 0.13            |
| 12:00 | 0.05            | 0.61            |
| 14:00 | 0.23            | 0.49            |
| 16:00 | 0.34            | 0.68            |

Fuente: Autor

Figura 41. Comportamiento de la humedad en la cámara de secado en el tiempo para la combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra (prueba 16)



Fuente: Autor

Tabla 38. Resultados de humedad y Flujos de aire combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Cámara de secado                   | %RH   |
|------------------------------------|-------|
| RH max                             | 52.8  |
| RH min                             | 15.4  |
| RH prom                            | 23.53 |
| Humedad relativa promedio ambiente | 78.43 |
| Gradiente mínimo                   | 25.63 |
| Gradiente máximo                   | 63.03 |
| Desviación estándar                | 8.79  |

| Hora  | Flujo min (m/s) | Flujo max (m/s) |
|-------|-----------------|-----------------|
| 10:00 | 0.01            | 0.18            |
| 12:00 | 0               | 0.08            |
| 14:00 | 0.01            | 0.05            |
| 16:00 | 0.12            | 0.18            |

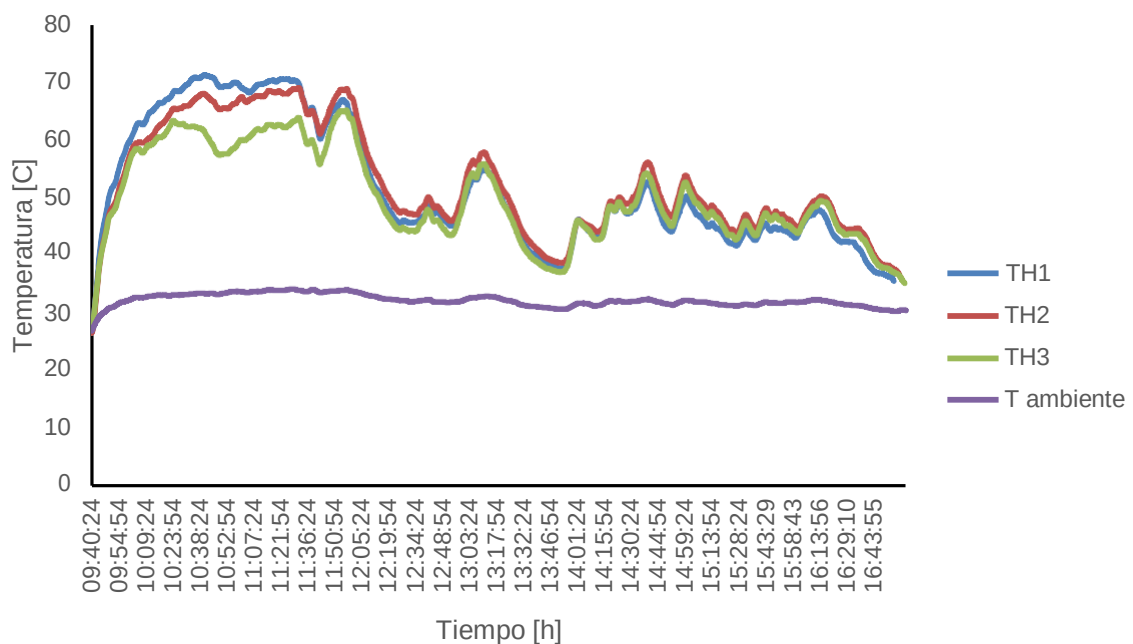
Fuente: Autor

Ambas replicas consiguieron tener una humedad relativa homogénea por un largo periodo de tiempo, la temperatura en la salida de la cámara en la réplica 2 en las horas de la mañana tiene picos lo cual al relacionarlo con el bajo flujo de aire que se registra por el uso de convección forzada significaría que también estaría entrando una corriente de aire por la salida de la cámara de secado y la enfriaría, con esta combinación se consiguió disminuir la humedad relativa entre 50% y 63%.

### 5.3 ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LA CÁMARA DE SECADO CON PRODUCTO.

#### 5.3.1 Temperatura

Figura 26. Temperatura en la cámara de secado con producto vs Hora del día



**Fuente:** Autor

Tabla 24. Datos de Temperatura en la cámara de secado con producto

| TH       | T max (°C) | Hora     | T min (°C) | Hora     | T prom (°C) |
|----------|------------|----------|------------|----------|-------------|
| 1        | 71.3       | 10:40:44 | 26.8       | 09:40:24 | 51.97       |
| 2        | 69         | 11:31:04 | 26.6       | 09:40:24 | 52.54       |
| 3        | 65.2       | 11:57:04 | 27.5       | 09:40:24 | 50.06       |
| Ambiente | 34.2       | 11:26:34 | 27         | 09:40:24 | 32.29       |

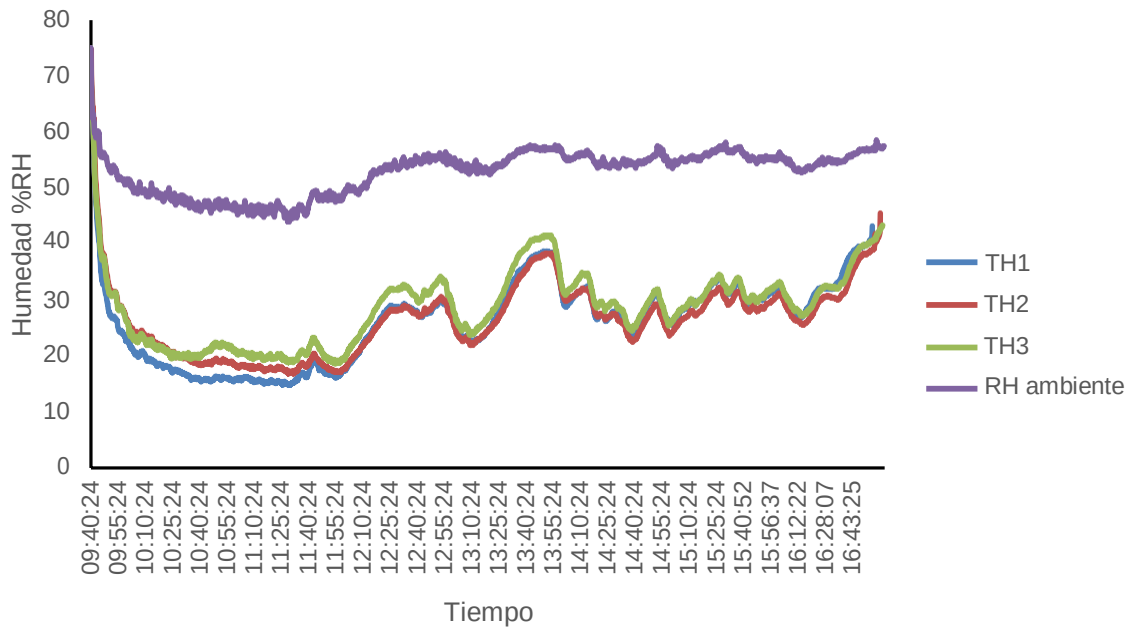
**Fuente:** Autor



La temperatura tiene caídas y subidas tan grandes debido a que en el transcurso de la toma de datos el clima era nublado y luego se despejaba, llegando el punto que en las horas de la tarde llovió un poco, la temperatura a la que se esperaba secar era de 60 grados constantes pero con los factores climatológicos no se alcanzó a este número, en la gráfica se puede observar que la temperatura a lo largo de la cámara de secado fue muy parecida es decir era homogénea.

### 5.3.2 Humedad

Figura 27. Humedad relativa en la cámara de secado con producto vs Hora del día



**Fuente:** Autor

Tabla 25. Datos de Humedad relativa en la cámara de secado

| TH       | RH max (%) | Hora     | RH min (%) | Hora     | RH prom (%) |
|----------|------------|----------|------------|----------|-------------|
| 1        | 68.3       | 09:40:34 | 14.9       | 11:26:34 | 26.39       |
| 2        | 74.8       | 09:40:34 | 16.9       | 11:29:44 | 26.75       |
| 3        | 71.3       | 09:40:24 | 18.7       | 11:55:14 | 28.75       |
| Ambiente | 75         | 09:40:24 | 44         | 11:29:24 | 52.91       |

**Fuente:** Autor

La humedad aumento en las horas de la tarde por una pequeña llovizna que hubo, cargando así la cámara de secado de humedad y haciendo que el secado de la mora no se diera completamente pleno, pero se evidencia en la tabla que se consiguió retirar más de un 20% de humedad entre el ambiente y el interior de la cámara de secado.

En las siguientes tablas se muestran el peso de las 3 bandejas y el peso del agua total por bandeja.

Tabla 26. Peso del producto de la bandeja 1

| Bandeja 1 |                |                      |                   |
|-----------|----------------|----------------------|-------------------|
| Hora      | Peso total (g) | peso sin bandeja (g) | Peso del agua (g) |
| 9:43      | 285            | 50                   | 42.525            |
| 9:58      | 283            | 48                   | 40.824            |
| 10:13     | 281            | 46                   | 39.123            |
| 10:28     | 280            | 45                   | 38.2725           |
| 10:43     | 279            | 44                   | 37.422            |
| 11:43     | 275            | 40                   | 34.02             |
| 12:43     | 270            | 35                   | 29.7675           |
| 13:43     | 269            | 34                   | 28.917            |
| 14:43     | 263            | 28                   | 23.814            |
| 15:43     | 264            | 29                   | 24.6645           |
| 16:43     | 263            | 28                   | 23.814            |

**Fuente:** Autores

Tabla 27. Peso del producto de la bandeja 2

| Bandeja 2 |                |                      |                   |
|-----------|----------------|----------------------|-------------------|
| Hora      | Peso total (g) | peso sin bandeja (g) | Peso del agua (g) |
| 9:43      | 285            | 50                   | 42.525            |
| 9:58      | 281            | 46                   | 39.123            |
| 10:13     | 280            | 45                   | 38.2725           |
| 10:28     | 278            | 43                   | 36.5715           |
| 10:43     | 277            | 42                   | 35.721            |
| 11:43     | 272            | 37                   | 31.4685           |
| 12:43     | 265            | 30                   | 25.515            |
| 13:43     | 263            | 28                   | 23.814            |
| 14:43     | 263            | 28                   | 23.814            |
| 15:43     | 262            | 27                   | 22.9635           |
| 16:43     | 262            | 27                   | 22.9635           |

**Fuente:** Autores

Tabla 28. Peso del producto de la bandeja 3

| Bandeja 3 |                |                      |                   |
|-----------|----------------|----------------------|-------------------|
| Hora      | Peso total (g) | peso sin bandeja (g) | peso del agua (g) |
| 9:43      | 285            | 50                   | 42.525            |
| 9:58      | 282            | 47                   | 39.9735           |
| 10:13     | 281            | 46                   | 39.123            |
| 10:28     | 279            | 44                   | 37.422            |
| 10:43     | 276            | 41                   | 34.8705           |
| 11:43     | 270            | 35                   | 29.7675           |
| 12:43     | 268            | 33                   | 28.0665           |
| 13:43     | 267            | 32                   | 27.216            |
| 14:43     | 264            | 29                   | 24.6645           |
| 15:43     | 263            | 28                   | 23.814            |
| 16:43     | 263            | 28                   | 23.814            |

**Fuente:** Autores

Teniendo en cuenta el porcentaje de agua que tiene la mora con un grado de maduración 3, se encontró que en la bandeja 1 el peso total de agua perdida es de 18.711, en la bandeja 2 es de, 19.5615, y en la bandeja 3 es de, 18.711.

Comparando la tabla de humedad y las tablas de peso se encuentra que cuando las moras perdieron el mayor peso fue entre las 10:43 y las 11:43 y corresponde cuando la cámara de secado llegaba a la humedad relativa mínima por lo que si la humedad se hubiera mantenido estable se podría deducir que el peso total que se obtuvo habría sido menor.

En la bandeja 1 el porcentaje de agua perdido es del 56%, en la bandeja 2 es del 54% y en la bandeja 3 es del 56%, por lo que aun con los factores del clima desfavorables se consiguió retirar más del 50% del agua de las moras.

## 6 CONCLUSIONES

- Como se esperaba, la hora pico de temperatura en la mayoría de las pruebas se dio entre las 11:20 y las 13:20.
- La cubierta con la que se registran los valores más altos de temperatura es la transparente, esto se debe en parte a que la cubierta transparente simula un secado a exposición directa de los rayos del sol, a diferencia de la cubierta negra, que simula un secado en sombra.
- Con la variable flujo de aire se destaca que: hubo días en los que la convección natural alcanzaba valores más altos que la convección forzada, pero los valores de la convección natural eran inestables mientras que los de convección forzada a pesar de ser bajos si eran estables.
- La mayor diferencia de humedades relativas, entre el ambiente y el interior de la cámara de secado fue de 56.12%, usando la combinación de parámetros: colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.
- La combinación de parámetros usada para el secado del producto fue una correcta elección debido a que en las tres bandejas de prueba consiguió bajar la humedad relativa en más de un 50%.
- Los flujos de aire más altos se consiguieron en los días que no se usaban los ventiladores debido a que la tapa en la entrada del colector donde estaban anclados los ventiladores se retiraba por lo que no había nada que se opusiera a el flujo natural.
- El gradiente de temperatura máximo más alto fue de 32.73 en la cámara de secado con una combinación de: colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.
- El gradiente de temperatura mínimo más bajo fue de 2.35 en la cámara de secado con una combinación de: colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.

## 7 RECOMENDACIONES

- Buscar otro sistema de anclaje de la cubierta debido al que se usó en estas pruebas es de una vida útil muy corta y poco higiénica.
- Garantizar que la pintura negra sea óptima para resistir altas temperaturas y sean antioxidante, porque pueden empezar a salir grietas en la pintura y posteriormente se cae por completo.
- Revisar el pronóstico del tiempo de los días en los cuales se vayan a hacer pruebas.
- Verificar que la cubierta de la cámara de secado no sea tan grande y tape la salida de esta, porque se crearía una cámara de alta temperatura y alta humedad al no haber una recirculación del aire.
- Si se va a secar un producto con un alto porcentaje de humedad, como la mora, lo mejor es fraccionar el producto y no colocarlo completo porque se necesitara más energía para poder llegar a un secado óptimo.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] FRANCOIS, Boucher. Tecnología alimentaria y agroindustrial rural. 1 ed. Cali, 1991. Pag 82.
- [2] MAUPOEY, Pedro. ANDRÉS, Ana. BARAT, José. ALBORS, Ana. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. 1 ed. Valencia, 2016. Editorial: Universitat Politècnica de Valencia.
- [3] GOMEZ, Edwin. Caracterización del proceso de secado de almidón de sagú en un secador solar tipo túnel Hohenheim: Tesis de pregrado Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes, 2012.
- [4] PORRAS, Juan. Diseño, construcción y caracterización experimental de un secador solar de túnel tipo Hohenheim de convección forzada: Tesis de pregrado Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes, 2013.
- [5] GARCIA, Julián. RINCÓN, Lucía. CUERVO, Patricia. Implementación del secador solar de túnel tipo Hohenheim en productos agrícolas. En: PUENTE Revista Científica. Vol. 10, no 1 del 2016. p 7-19.
- [6] Soporte de Minitab®-Diseños factoriales y factoriales fraccionados. [En línea]. Disponible en internet. <<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/factorial-and-fractional-factorial-designs/#what-is-a-full-factorial-and-fractional-factorial-design>>
- [7] QUINTANILLA, Pilar. Alimentos deshidratados al sol. Vía orgánica [en línea]. [Guanajuato, México]. 28 de abril de 2016. [Citado 12 de marzo de 2018]. Disponible en Internet. < <https://viaorganica.org/alimentos-deshidratados-al-sol/>>
- [8] Agro Waste. Secado solar. Murcia, España. Agro waste, 2012. P 1-5.
- [9] CUERVO, Sandra. Quality oriented drying of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.): Tesis de doctorado Witzenhausen, Alemania: Universität Kassel. 2011.
- [10] VEGA, Antonio. CHACANA, Marcelo. LEMUS, Roberto. La industria de los alimentos deshidratados y la importancia del control del proceso. En: Revista indualimentos. Vol 1, no 42 Del 2006.
- [11] Lilja, John. Thermal Insulation: Which is healthier for the homeowner, mineral wool or fiberglass? [En línea]. Quora, 27 de marzo de 2015. [Citado 2 de marzo de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.quora.com/Thermal-Insulation-Which-is-healthier-for-the-homeowner-mineral-wool-or-fiberglass>>
- [12] Çengel, Yunus. Ghajar, Afshin. Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. 4 ed. México D.F. McGraw-Hill. p465.
- [13] Pirasteh, G. Saidur, R. Rahman, S.M.A. Rahim, N.A. A review on development of solar drying applications. En: Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 31, Marzo 2014. p133-148.

- [14] Walpole, Ronald. Myers, Raymond. Myers, Sharon. Ye, Keying. Probabilidad y estadística para ingenierías y ciencias. 8 ed. Pearson Educacion.
- [15] Tiwari, Anupam. A Review on Solar Drying of Agricultural Produce. En: Journal of food processing & technology. Vol 7 issue 9, 21 de septiembre de 2016.
- [16] Leidy, Ayala. Claudia, Valenzuela. Yanneth, Bohorquez. Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*rubus glaucus benth*) en seis estados de madurez. En: Revista Biotecnológica en el sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 11, No 2, Julio- Diciembre 2013. p 10-18.
- [17] ARNAU, Jaume. Métodos y técnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento. 1ra ed. Barcelona, 1996. Edicions de la universitat de Barcelona. P 16-17

## 9. ANEXOS

Anexo A. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

| Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente |                   |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| RÉPLICA 1                                                                             | CÁMARA DE SECADPO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |
| Hora                                                                                  | T1 (°C)           | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) |
| 09:20:04                                                                              | 43.6              | 45.7    | 46.1    | 45.5    | 42.4    | 66.8     | 63.0      | 41.9     | 39.1    | 43.9    | 40.4    |
| 09:40:04                                                                              | 40.8              | 38.5    | 41.2    | 40.2    | 38.4    | 34.6     | 28.8      | 37.7     | 35.1    | 39.6    | 40.6    |
| 10:00:04                                                                              | 32.6              | 38.5    | 39.5    | 41.5    | 41.1    | 28.6     | 21.5      | 40.9     | 44.7    | 49.2    | 48.7    |
| 10:20:04                                                                              | 36.2              | 43.3    | 45.5    | 36.0    | 42.9    | 23.9     | 24.4      | 45.2     | 50.7    | 49.8    | 53.9    |
| 10:40:04                                                                              | 42.1              | 46.8    | 48.6    | 45.3    | 48.5    | 22.8     | 23.8      | 51.4     | 52.8    | 53.4    | 51.7    |
| 11:00:04                                                                              | 53.9              | 50.9    | 51.5    | 51.6    | 50.1    | 20.9     | 19.0      | 51.4     | 44.5    | 52.9    | 47.0    |
| 11:20:13                                                                              | 37.5              | 41.0    | 45.5    | 40.0    | 43.4    | 19.2     | 20.5      | 46.4     | 47.7    | 47.5    | 50.0    |
| 11:40:06                                                                              | 42.7              | 47.3    | 51.9    | 41.0    | 46.9    | 18.2     | 18.7      | 49.0     | 54.6    | 55.0    | 54.2    |
| 12:00:06                                                                              | 45.3              | 49.2    | 52.6    | 48.4    | 51.5    | 17.7     | 17.8      | 54.1     | 54.8    | 51.4    | 52.8    |
| 12:20:06                                                                              | 37.6              | 43.5    | 44.5    | 37.6    | 45.2    | 18.8     | 20.4      | 47.1     | 48.1    | 50.8    | 54.6    |
| 12:40:06                                                                              | 37.5              | 47.5    | 49.0    | 36.5    | 45.1    | 16.9     | 18.1      | 47.8     | 53.1    | 51.8    | 53.3    |
| 13:00:06                                                                              | 39.5              | 41.0    | 42.0    | 41.0    | 45.0    | 17.9     | 20.8      | 43.8     | 38.8    | 44.0    | 46.7    |
| 13:20:06                                                                              | 38.0              | 44.9    | 48.5    | 37.7    | 43.6    | 18.2     | 19.8      | 45.1     | 50.7    | 51.4    | 53.5    |
| 13:40:06                                                                              | 44.9              | 49.3    | 52.4    | 48.1    | 49.9    | 17.5     | 20.8      | 51.6     | 56.3    | 55.8    | 56.9    |
| 14:00:06                                                                              | 36.2              | 41.2    | 42.0    | 37.2    | 41.0    | 20.5     | 20.7      | 41.5     | 41.7    | 42.8    | 43.5    |
| 14:20:06                                                                              | 37.1              | 41.2    | 44.3    | 36.9    | 40.7    | 16.5     | 20.9      | 41.5     | 45.6    | 44.4    | 47.8    |



|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14:40:06 | 34.8 | 34.5 | 36.5 | 34.8 | 37.9 | 18.5 | 23.0 | 36.0 | 32.8 | 35.1 | 38.0 |
| 15:00:06 | 33.6 | 34.1 | 34.9 | 33.3 | 36.2 | 24.6 | 26.9 | 35.0 | 32.3 | 34.4 | 36.6 |
| 15:20:06 | 37.4 | 37.3 | 39.0 | 36.6 | 39.1 | 21.3 | 22.8 | 39.2 | 35.1 | 37.2 | 39.5 |
| 15:40:06 | 36.8 | 37.0 | 38.4 | 36.3 | 37.4 | 24.5 | 25.8 | 37.8 | 36.7 | 38.2 | 39.1 |
| 16:00:06 | 36.6 | 36.8 | 37.0 | 36.6 | 36.4 | 30.4 | 30.2 | 36.7 | 35.8 | 36.5 | 36.2 |
| 16:20:06 | 33.1 | 33.6 | 34.5 | 32.5 | 34.2 | 33.4 | 35.8 | 34.1 | 32.6 | 32.4 | 34.4 |
| 16:40:06 | 31.4 | 31.2 | 31.3 | 31.2 | 31.8 | 37.1 | 39.9 | 31.8 | 30.5 | 31.3 | 31.7 |

Anexo B. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra

| Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| RÉPLICA 1                                                                      | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |
| Hora                                                                           | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) |
| 09:20:04                                                                       | 34.5             | 35.0    | 33.5    | 32.6    | 33.3    | 63.7     | 66.0      | 33.3     | 35.4    | 33.9    | 30.9    |
| 09:40:04                                                                       | 31.3             | 32.6    | 30.9    | 31.9    | 30.7    | 47.7     | 48.1      | 30.5     | 34.9    | 31.6    | 30.0    |
| 10:00:04                                                                       | 31.5             | 34.3    | 31.9    | 29.8    | 32.9    | 43.3     | 42.6      | 32.7     | 36.8    | 40.2    | 35.9    |
| 10:20:04                                                                       | 33.0             | 32.2    | 34.4    | 35.6    | 35.2    | 41.2     | 41.8      | 34.9     | 43.2    | 41.1    | 41.1    |
| 10:40:04                                                                       | 35.6             | 35.3    | 36.2    | 36.7    | 37.8    | 40.0     | 41.7      | 38.0     | 46.1    | 44.8    | 41.8    |
| 11:00:04                                                                       | 40.3             | 40.3    | 39.9    | 39.1    | 39.5    | 35.8     | 35.1      | 39.7     | 40.5    | 41.1    | 35.4    |
| 11:20:13                                                                       | 33.4             | 33.6    | 35.3    | 35.0    | 35.0    | 37.6     | 38.0      | 34.8     | 43.0    | 40.4    | 36.6    |
| 11:40:06                                                                       | 37.7             | 36.4    | 38.2    | 39.9    | 38.7    | 36.0     | 37.0      | 38.7     | 48.0    | 45.1    | 43.3    |
| 12:00:06                                                                       | 40.0             | 39.8    | 40.0    | 40.8    | 39.2    | 35.1     | 33.9      | 39.1     | 44.2    | 42.4    | 38.7    |
| 12:20:06                                                                       | 36.2             | 35.5    | 36.7    | 38.1    | 37.5    | 39.9     | 39.7      | 37.3     | 45.7    | 44.2    | 40.3    |
| 12:40:06                                                                       | 35.7             | 33.3    | 35.4    | 39.1    | 36.4    | 36.3     | 36.8      | 36.2     | 47.5    | 43.3    | 39.4    |
| 13:00:06                                                                       | 34.4             | 34.1    | 34.5    | 36.2    | 34.1    | 39.5     | 40.8      | 33.9     | 39.6    | 38.1    | 35.0    |
| 13:20:06                                                                       | 36.7             | 34.2    | 36.4    | 39.3    | 37.3    | 38.3     | 38.5      | 37.1     | 47.9    | 44.7    | 41.7    |
| 13:40:06                                                                       | 40.1             | 38.4    | 40.3    | 41.7    | 40.1    | 37.6     | 38.0      | 40.3     | 51.2    | 46.9    | 45.8    |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14:00:06 | 34.5 | 33.0 | 34.4 | 36.3 | 34.7 | 40.3 | 37.6 | 34.5 | 39.3 | 38.5 | 36.3 |
| 14:20:06 | 35.5 | 33.4 | 34.8 | 37.2 | 35.8 | 38.3 | 37.6 | 35.6 | 42.6 | 39.7 | 38.0 |
| 14:40:06 | 34.7 | 32.6 | 33.5 | 34.6 | 32.8 | 37.9 | 37.1 | 32.5 | 33.6 | 33.1 | 31.1 |
| 15:00:06 | 31.4 | 31.6 | 31.4 | 32.4 | 30.9 | 43.3 | 40.3 | 30.7 | 32.2 | 31.6 | 30.5 |
| 15:20:06 | 33.5 | 33.8 | 33.3 | 34.8 | 32.8 | 42.9 | 40.7 | 32.7 | 35.2 | 34.1 | 32.4 |
| 15:40:06 | 32.8 | 32.4 | 32.8 | 33.5 | 32.5 | 45.9 | 42.0 | 32.5 | 34.6 | 34.2 | 33.6 |
| 16:00:06 | 32.3 | 32.0 | 32.1 | 32.5 | 31.8 | 49.3 | 44.9 | 31.8 | 31.8 | 32.6 | 30.7 |
| 16:20:06 | 31.0 | 31.0 | 30.8 | 31.7 | 30.5 | 50.6 | 47.4 | 30.5 | 32.0 | 31.0 | 30.1 |
| 16:40:06 | 30.0 | 30.1 | 30.0 | 30.6 | 29.8 | 52.3 | 50.0 | 29.8 | 30.1 | 30.3 | 29.5 |

Anexo C. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| RÉPLICA 1                                                                     | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |
| Hora                                                                          | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) |
| 09:20:03                                                                      | 33.7             | 35.7    | 33.8    | 37.0    | 36.5    | 72.1     | 70.5      | 35.9     | 27.4    | 49.6    | 50.9    |
| 09:40:03                                                                      | 38.4             | 40.1    | 39.2    | 38.6    | 40.1    | 43.4     | 40.6      | 40.2     | 29.3    | 40.2    | 35.5    |
| 10:00:05                                                                      | 42.7             | 41.5    | 40.3    | 43.2    | 40.5    | 37.9     | 32.5      | 40.8     | 30.8    | 42.4    | 37.3    |
| 10:20:05                                                                      | 44.7             | 45.0    | 43.5    | 45.7    | 43.4    | 33.2     | 28.8      | 44.1     | 32.4    | 46.1    | 39.6    |
| 10:40:05                                                                      | 43.3             | 46.7    | 45.0    | 48.1    | 46.4    | 31.6     | 26.5      | 46.3     | 33.9    | 49.0    | 41.0    |
| 11:00:05                                                                      | 45.1             | 47.3    | 46.0    | 46.5    | 45.8    | 29.6     | 26.2      | 46.3     | 35.0    | 48.5    | 40.7    |
| 11:20:05                                                                      | 46.6             | 47.5    | 46.4    | 47.9    | 46.7    | 29.0     | 26.2      | 46.6     | 35.7    | 48.5    | 41.7    |
| 11:40:05                                                                      | 47.7             | 47.1    | 46.2    | 47.7    | 45.5    | 26.8     | 25.4      | 46.1     | 35.9    | 49.4    | 42.1    |
| 12:00:05                                                                      | 44.1             | 44.8    | 45.5    | 40.6    | 45.0    | 29.3     | 26.5      | 44.0     | 36.1    | 51.0    | 43.0    |
| 12:20:05                                                                      | 43.4             | 45.1    | 46.4    | 41.3    | 46.2    | 27.9     | 26.0      | 45.2     | 35.9    | 53.3    | 43.7    |
| 12:40:05                                                                      | 37.8             | 37.5    | 38.0    | 37.0    | 37.7    | 33.5     | 30.5      | 37.8     | 35.5    | 39.0    | 35.3    |
| 13:00:05                                                                      | 38.3             | 38.9    | 39.5    | 38.9    | 39.2    | 34.0     | 31.3      | 39.1     | 35.6    | 42.4    | 36.3    |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13:20:05 | 35.5 | 35.7 | 36.6 | 34.2 | 36.4 | 35.2 | 32.9 | 36.5 | 35.1 | 38.8 | 34.4 |
| 13:40:05 | 33.3 | 32.7 | 33.2 | 32.2 | 33.8 | 40.9 | 37.4 | 33.6 | 34.6 | 35.1 | 31.8 |
| 14:00:05 | 37.3 | 37.4 | 38.4 | 37.3 | 37.7 | 37.0 | 34.2 | 37.5 | 34.1 | 40.3 | 34.8 |
| 14:20:05 | 34.4 | 33.6 | 34.0 | 33.9 | 34.0 | 40.6 | 37.0 | 33.9 | 35.5 | 34.8 | 32.2 |
| 14:40:05 | 35.8 | 34.7 | 35.1 | 33.8 | 34.8 | 44.4 | 38.3 | 34.9 | 35.4 | 36.3 | 33.3 |
| 15:00:05 | 40.7 | 39.6 | 40.3 | 38.8 | 39.7 | 39.4 | 33.4 | 39.4 | 36.3 | 42.8 | 37.6 |
| 15:20:05 | 33.0 | 32.1 | 32.2 | 32.2 | 32.3 | 43.2 | 37.9 | 32.2 | 36.3 | 32.5 | 30.7 |
| 15:40:05 | 35.3 | 34.6 | 34.8 | 34.0 | 34.0 | 48.2 | 41.3 | 34.1 | 35.3 | 35.3 | 33.1 |
| 16:00:05 | 31.7 | 31.0 | 31.1 | 31.1 | 31.2 | 50.6 | 44.8 | 31.1 | 34.5 | 31.6 | 30.0 |
| 16:20:05 | 30.8 | 30.3 | 30.5 | 30.3 | 30.4 | 53.9 | 47.8 | 30.5 | 34.2 | 30.8 | 29.7 |
| 16:40:05 | 32.3 | 31.4 | 32.0 | 30.5 | 31.6 | 52.4 | 44.8 | 31.6 | 33.9 | 33.3 | 31.5 |

Anexo D. Datos obtenidos replica 1combinacion: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.

| Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| RÉPLICA 1                                                                            | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |
| Hora                                                                                 | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) |
| 09:20:03                                                                             | 44.4             | 43.5    | 47.5    | 45.8    | 47.2    | 77.4     | 73.4      | 47.3     | 47.7    | 48.0    | 46.0    |
| 09:40:03                                                                             | 43.1             | 39.5    | 44.5    | 44.1    | 42.2    | 30.4     | 29.2      | 43.7     | 39.4    | 39.4    | 35.4    |
| 10:00:05                                                                             | 49.1             | 44.5    | 48.3    | 46.9    | 42.9    | 22.5     | 20.8      | 43.8     | 40.8    | 41.3    | 37.3    |
| 10:20:05                                                                             | 54.2             | 50.0    | 53.2    | 50.3    | 47.9    | 19.5     | 17.5      | 48.0     | 43.7    | 42.8    | 39.0    |
| 10:40:05                                                                             | 55.7             | 51.1    | 55.0    | 52.1    | 49.0    | 17.7     | 15.5      | 49.0     | 45.1    | 45.7    | 40.5    |
| 11:00:05                                                                             | 54.8             | 53.3    | 55.3    | 53.3    | 50.8    | 17.0     | 15.5      | 50.6     | 45.3    | 47.3    | 41.2    |
| 11:20:05                                                                             | 54.7             | 52.4    | 54.9    | 52.2    | 49.9    | 16.6     | 14.6      | 49.4     | 45.9    | 46.0    | 40.6    |
| 11:40:05                                                                             | 54.9             | 53.9    | 55.2    | 52.2    | 50.1    | 14.9     | 14.0      | 48.9     | 46.7    | 48.5    | 40.3    |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12:00:05 | 51.4 | 48.4 | 55.8 | 53.3 | 50.6 | 16.6 | 14.7 | 50.0 | 47.9 | 47.8 | 41.5 |
| 12:20:05 | 53.6 | 52.5 | 56.4 | 54.1 | 50.5 | 16.1 | 14.0 | 50.3 | 49.1 | 47.8 | 42.6 |
| 12:40:05 | 42.8 | 42.2 | 43.2 | 42.0 | 39.8 | 21.0 | 17.6 | 39.3 | 39.8 | 38.1 | 35.9 |
| 13:00:05 | 45.3 | 45.5 | 44.4 | 44.5 | 41.5 | 21.0 | 17.7 | 41.6 | 41.2 | 41.2 | 37.1 |
| 13:20:05 | 41.2 | 36.8 | 41.0 | 39.6 | 38.8 | 21.7 | 19.1 | 38.1 | 37.0 | 37.3 | 34.5 |
| 13:40:05 | 36.5 | 35.5 | 37.3 | 36.0 | 35.5 | 27.4 | 26.0 | 35.3 | 34.0 | 33.7 | 31.7 |
| 14:00:05 | 43.6 | 45.3 | 46.8 | 43.8 | 47.8 | 21.8 | 20.1 | 47.7 | 44.8 | 45.1 | 41.8 |
| 14:20:05 | 36.7 | 36.4 | 36.9 | 35.7 | 34.8 | 27.2 | 23.8 | 34.7 | 33.8 | 33.2 | 31.8 |
| 14:40:05 | 38.5 | 37.4 | 38.0 | 37.4 | 36.6 | 31.4 | 26.3 | 36.6 | 35.6 | 35.3 | 33.5 |
| 15:00:05 | 44.1 | 44.0 | 46.6 | 46.1 | 45.8 | 25.8 | 20.8 | 46.3 | 48.2 | 46.7 | 49.1 |
| 15:20:05 | 34.1 | 33.6 | 34.3 | 33.7 | 32.6 | 32.2 | 28.1 | 32.5 | 32.1 | 32.0 | 30.5 |
| 15:40:05 | 37.0 | 37.0 | 37.0 | 35.6 | 35.3 | 36.9 | 31.1 | 35.5 | 34.7 | 33.7 | 32.1 |
| 16:00:05 | 32.2 | 32.2 | 32.5 | 31.8 | 31.0 | 40.7 | 33.9 | 30.9 | 30.7 | 30.6 | 29.3 |
| 16:20:05 | 31.4 | 31.3 | 31.7 | 31.3 | 30.5 | 44.9 | 38.7 | 30.5 | 30.2 | 30.0 | 29.3 |
| 16:40:05 | 33.6 | 32.0 | 34.1 | 33.2 | 32.8 | 42.5 | 37.7 | 32.8 | 32.6 | 32.1 | 31.2 |

Anexo E. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

| Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 1                                                                   | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                        | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:00                                                                    | 25.2             | 26.4    | 26.9    | 27.7    | 27.1    | 68.0     | 61.2      | 26.6     | 33.5    | 25.5    | 31.3    | 26.7 |
| 09:40:00                                                                    | 33.1             | 34.7    | 34.8    | 32.3    | 35.4    | 67.5     | 54.8      | 35.9     | 42.3    | 27.2    | 44.8    | 32.2 |
| 10:00:00                                                                    | 28.1             | 31.9    | 33.7    | 31.4    | 33.3    | 56.4     | 48.5      | 33.0     | 41.0    | 28.3    | 42.2    | 32.2 |
| 10:20:00                                                                    | 31.6             | 34.0    | 35.7    | 32.9    | 35.6    | 51.4     | 49.1      | 36.0     | 46.3    | 29.6    | 48.4    | 34.7 |
| 10:40:00                                                                    | 41.4             | 40.0    | 40.1    | 40.0    | 39.8    | 49.8     | 45.9      | 39.9     | 42.5    | 30.7    | 37.7    | 35.4 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11:00:00 | 36.3 | 37.9 | 39.0 | 37.3 | 38.9 | 42.5 | 40.7 | 40.0 | 50.1 | 31.5 | 46.2 | 35.0 |
| 11:20:00 | 38.3 | 37.4 | 39.5 | 38.1 | 37.3 | 43.3 | 42.9 | 37.6 | 43.0 | 31.9 | 35.6 | 36.2 |
| 11:40:00 | 31.3 | 35.4 | 38.5 | 36.1 | 37.1 | 40.1 | 38.4 | 36.0 | 47.9 | 32.8 | 45.4 | 32.3 |
| 12:00:00 | 42.6 | 41.6 | 41.4 | 42.6 | 40.9 | 37.0 | 35.8 | 40.2 | 48.3 | 34.0 | 37.5 | 31.7 |
| 12:20:00 | 33.0 | 36.3 | 39.8 | 33.1 | 38.0 | 38.8 | 35.1 | 36.3 | 46.8 | 34.3 | 43.4 | 30.7 |
| 12:40:00 | 35.4 | 36.1 | 39.9 | 35.8 | 37.1 | 40.3 | 40.3 | 37.0 | 42.2 | 34.5 | 39.6 | 31.1 |
| 13:00:00 | 33.2 | 40.9 | 41.4 | 37.1 | 41.0 | 39.8 | 36.2 | 40.7 | 43.9 | 35.9 | 42.8 | 30.2 |
| 13:20:00 | 31.7 | 41.8 | 42.6 | 37.4 | 40.1 | 42.4 | 38.2 | 37.2 | 45.0 | 36.3 | 47.6 | 29.8 |
| 13:40:10 | 33.9 | 43.3 | 45.2 | 39.6 | 43.2 | 40.9 | 39.4 | 41.3 | 52.7 | 36.2 | 53.0 | 31.1 |
| 14:00:00 | 29.2 | 32.7 | 33.4 | 31.3 | 32.8 | 44.8 | 44.0 | 31.7 | 33.1 | 35.9 | 32.7 | 28.6 |
| 14:20:00 | 28.0 | 28.4 | 28.8 | 27.6 | 28.5 | 56.4 | 53.7 | 28.5 | 29.1 | 33.7 | 28.5 | 28.0 |
| 14:40:00 | 26.7 | 27.4 | 27.8 | 27.1 | 27.5 | 60.0 | 58.4 | 27.5 | 27.9 | 32.2 | 27.2 | 28.0 |
| 15:00:00 | 28.2 | 28.4 | 28.8 | 28.0 | 28.6 | 62.3 | 59.5 | 28.6 | 28.6 | 31.6 | 27.5 | 28.0 |
| 15:20:00 | 28.1 | 28.2 | 29.2 | 27.7 | 28.7 | 60.0 | 58.3 | 28.6 | 28.9 | 31.4 | 26.5 | 27.6 |
| 15:40:00 | 29.2 | 28.4 | 28.8 | 28.3 | 28.3 | 61.0 | 59.1 | 28.6 | 29.6 | 31.4 | 28.1 | 27.8 |
| 16:00:00 | 30.0 | 28.3 | 28.9 | 28.3 | 28.6 | 61.4 | 58.1 | 28.8 | 31.8 | 31.3 | 30.4 | 27.8 |
| 16:20:00 | 28.4 | 28.4 | 29.8 | 27.0 | 28.7 | 60.5 | 55.3 | 28.7 | 27.5 | 31.1 | 26.5 | 27.7 |
| 16:40:00 | 28.9 | 28.3 | 29.8 | 27.4 | 28.9 | 58.5 | 53.1 | 29.0 | 28.8 | 30.8 | 27.6 | 28.3 |

Anexo F. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente.

| Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |         |         |         |         |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 1                                                                          | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         | COLECTOR |           |         |         |         |         |      |
| Hora                                                                               | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C) | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:00                                                                           | 37.4             | 40.0    | 40.7    | 40.5    | 41.8    | 45       | 40.1      | 39.8    | 38.7    | 39.0    | 34.7    | 26.7 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 09:40:00 | 39.2 | 42.8 | 45.5 | 44.9 | 47.6 | 33.3 | 32.8 | 45.7 | 46.3 | 47.8 | 44.9 | 32.2 |
| 10:00:00 | 40.9 | 46.5 | 44.8 | 48.1 | 51.7 | 20.5 | 26.8 | 45.9 | 49.1 | 47.7 | 45.0 | 32.2 |
| 10:20:00 | 48.8 | 57.2 | 54.2 | 58.6 | 60.9 | 22   | 23.9 | 56.4 | 51.7 | 47.2 | 42.8 | 34.7 |
| 10:40:00 | 46.8 | 50.6 | 53.1 | 54.9 | 55.4 | 20.2 | 21   | 49.7 | 43.1 | 44.1 | 36.9 | 35.4 |
| 11:00:00 | 50.9 | 55.4 | 57.4 | 58.0 | 60.4 | 19   | 17.7 | 55.1 | 52.7 | 52.3 | 46.2 | 35.0 |
| 11:20:00 | 52.0 | 55.6 | 58.9 | 60.2 | 57.1 | 15.6 | 15.8 | 50.1 | 44.4 | 47.8 | 39.3 | 36.2 |
| 11:40:00 | 51.9 | 60.0 | 60.9 | 61.7 | 63.2 | 16.4 | 15.5 | 59.3 | 53.9 | 51.2 | 45.0 | 32.3 |
| 12:00:00 | 45.7 | 58.5 | 60.7 | 61.8 | 58.6 | 15.1 | 15   | 54.8 | 47.0 | 48.9 | 40.2 | 31.7 |
| 12:20:00 | 37.4 | 46.5 | 50.9 | 49.7 | 55.5 | 17   | 15.6 | 52.9 | 51.5 | 51.5 | 45.8 | 30.7 |
| 12:40:00 | 46.9 | 51.6 | 56.4 | 54.5 | 50.3 | 16.1 | 17   | 45.1 | 39.9 | 43.8 | 38.4 | 31.1 |
| 13:00:00 | 39.4 | 48.6 | 52.3 | 50.8 | 54.9 | 18.5 | 16.2 | 50.9 | 51.7 | 56.2 | 50.7 | 30.2 |
| 13:20:00 | 40.9 | 52.7 | 52.4 | 52.6 | 58.2 | 19.3 | 17.6 | 50.8 | 55.0 | 56.3 | 55.5 | 29.8 |
| 13:40:10 | 44.4 | 52.5 | 57.3 | 54.2 | 59.2 | 18.8 | 19.3 | 57.3 | 59.8 | 60.0 | 58.7 | 31.1 |
| 14:00:00 | 32.3 | 35.7 | 39.4 | 37.4 | 40.5 | 22.6 | 24.4 | 36.3 | 36.9 | 37.9 | 37.9 | 28.6 |
| 14:20:00 | 30.1 | 30.2 | 30.1 | 30.6 | 31.4 | 41.9 | 36.2 | 29.8 | 29.5 | 30.0 | 29.1 | 28.0 |
| 14:40:00 | 28.4 | 28.5 | 28.7 | 29.3 | 29.1 | 47.1 | 42.3 | 28.1 | 27.2 | 27.8 | 27.1 | 28.0 |
| 15:00:00 | 29.8 | 30.3 | 31.0 | 30.9 | 30.5 | 48.7 | 43.8 | 29.5 | 28.5 | 29.6 | 28.1 | 28.0 |
| 15:20:00 | 29.9 | 30.1 | 32.1 | 30.4 | 31.4 | 45.3 | 40.5 | 29.0 | 27.9 | 28.7 | 27.5 | 27.6 |
| 15:40:00 | 28.8 | 29.7 | 31.1 | 31.0 | 31.2 | 46.3 | 40.7 | 29.9 | 29.0 | 30.0 | 28.9 | 27.8 |
| 16:00:00 | 30.2 | 31.3 | 32.9 | 32.2 | 32.4 | 46.4 | 41.9 | 31.4 | 30.9 | 31.1 | 29.5 | 27.8 |
| 16:20:00 | 29.7 | 30.3 | 31.9 | 31.2 | 31.7 | 42.6 | 38.6 | 30.3 | 28.1 | 30.6 | 28.0 | 27.7 |
| 16:40:00 | 30.1 | 30.8 | 32.5 | 31.9 | 32.5 | 39.8 | 36.2 | 30.6 | 28.7 | 30.4 | 28.9 | 28.3 |

Anexo G. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 1                                                                         | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                              | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:03                                                                          | 39.0             | 38.1    | 41.5    | 38.1    | 37.0    | 42       | 37.8      | 37.9     | 35.2    | 25.7    | 30.8    | 25.9 |
| 09:40:03                                                                          | 43.4             | 45.0    | 45.6    | 44.8    | 44.9    | 31.7     | 23.6      | 45.3     | 42.7    | 27.4    | 33.4    | 27.7 |
| 10:00:03                                                                          | 37.2             | 37.3    | 38.9    | 36.5    | 37.2    | 31.5     | 24.5      | 35.8     | 33.7    | 28.6    | 28.9    | 29.1 |
| 10:20:03                                                                          | 40.3             | 40.2    | 41.7    | 40.8    | 39.9    | 31.8     | 24.1      | 39.1     | 37.2    | 29.2    | 31.4    | 29.8 |
| 10:40:03                                                                          | 40.0             | 49.4    | 50.2    | 47.6    | 50.5    | 26.1     | 21.5      | 50.6     | 45.1    | 28.9    | 35.9    | 29.7 |
| 11:00:03                                                                          | 42.8             | 45.7    | 50.0    | 45.5    | 46.2    | 24.2     | 19.5      | 46.4     | 42.7    | 29.4    | 33.5    | 30.0 |
| 11:20:03                                                                          | 52.8             | 54.3    | 55.3    | 53.7    | 53.3    | 21.5     | 17.3      | 52.7     | 49.0    | 29.5    | 36.3    | 30.2 |
| 11:40:03                                                                          | 48.6             | 51.3    | 54.9    | 50.3    | 51.4    | 20.8     | 17.3      | 51.4     | 48.3    | 30.3    | 36.8    | 30.9 |
| 12:00:03                                                                          | 45.9             | 47.7    | 49.5    | 45.7    | 46.9    | 20.9     | 16.3      | 44.1     | 41.4    | 31.2    | 33.2    | 31.8 |
| 12:20:03                                                                          | 46.9             | 46.6    | 49.8    | 46.8    | 46.0    | 22.3     | 16.1      | 44.4     | 41.4    | 32.0    | 33.3    | 32.6 |
| 12:40:03                                                                          | 40.8             | 43.3    | 45.5    | 43.1    | 44.0    | 22.7     | 17.2      | 42.5     | 39.4    | 32.5    | 32.6    | 33.2 |
| 13:00:03                                                                          | 43.9             | 52.4    | 54.2    | 50.9    | 54.7    | 20.1     | 16.5      | 54.1     | 48.1    | 32.7    | 37.0    | 33.2 |
| 13:20:03                                                                          | 43.7             | 42.9    | 45.9    | 42.8    | 43.2    | 21.7     | 17        | 40.6     | 38.8    | 33.8    | 32.1    | 34.2 |
| 13:40:03                                                                          | 36.1             | 47.7    | 50.3    | 44.3    | 49.5    | 20.7     | 16.8      | 46.9     | 47.8    | 33.3    | 37.3    | 34.2 |
| 14:00:03                                                                          | 46.2             | 47.6    | 50.2    | 47.7    | 48.1    | 21.3     | 18.1      | 47.1     | 43.8    | 34.6    | 35.6    | 35.0 |
| 14:20:03                                                                          | 35.3             | 37.5    | 37.8    | 36.6    | 36.9    | 26.9     | 22.3      | 36.5     | 35.4    | 33.8    | 30.3    | 34.6 |
| 14:40:03                                                                          | 44.8             | 52.5    | 53.5    | 51.4    | 54.7    | 17.3     | 15.9      | 51.6     | 48.6    | 36.9    | 39.5    | 36.8 |
| 15:00:03                                                                          | 42.2             | 48.8    | 54.1    | 45.1    | 52.1    | 17.1     | 14.9      | 49.7     | 47.0    | 36.6    | 37.9    | 36.9 |
| 15:20:03                                                                          | 44.7             | 46.2    | 49.1    | 45.5    | 47.8    | 23.6     | 19.1      | 47.0     | 42.4    | 34.8    | 36.3    | 35.8 |
| 15:40:03                                                                          | 35.6             | 36.5    | 38.9    | 36.4    | 37.5    | 27.6     | 23.6      | 36.2     | 35.0    | 33.1    | 30.9    | 34.0 |
| 16:00:03                                                                          | 33.2             | 34.2    | 37.1    | 34.2    | 35.3    | 28.2     | 24.1      | 34.4     | 31.9    | 32.5    | 29.2    | 33.1 |
| 16:20:03                                                                          | 33.3             | 33.5    | 34.5    | 33.6    | 33.9    | 34.3     | 28.7      | 33.6     | 32.0    | 32.0    | 29.3    | 32.6 |
| 16:40:03                                                                          | 31.0             | 31.4    | 32.6    | 31.5    | 31.1    | 40.4     | 34.2      | 31.6     | 30.4    | 31.8    | 27.6    | 31.3 |

Anexo H. Datos obtenidos replica 1 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra.

| Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 1                                                                  | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                       | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:03                                                                   | 30.9             | 32.5    | 32.0    | 31.5    | 31.4    | 52.5     | 55.2      | 30.9     | 32.5    | 31.2    | 28.6    | 25.9 |
| 09:40:03                                                                   | 34.9             | 36.9    | 36.6    | 36.8    | 36.4    | 44.5     | 43        | 35.8     | 35.5    | 35.2    | 30.5    | 27.7 |
| 10:00:03                                                                   | 32.5             | 33.2    | 31.7    | 31.4    | 31.8    | 43.6     | 41.3      | 30.6     | 30.0    | 30.1    | 27.7    | 29.1 |
| 10:20:03                                                                   | 32.0             | 35.2    | 34.9    | 34.9    | 34.6    | 43.6     | 42.2      | 34.8     | 33.8    | 34.4    | 30.3    | 29.8 |
| 10:40:03                                                                   | 29.5             | 34.0    | 33.0    | 33.0    | 37.9    | 41       | 42        | 41.2     | 40.4    | 41.9    | 34.8    | 29.7 |
| 11:00:03                                                                   | 34.3             | 39.3    | 37.5    | 37.3    | 38.4    | 38.6     | 40.8      | 37.7     | 37.3    | 37.9    | 32.1    | 30.0 |
| 11:20:03                                                                   | 37.5             | 42.9    | 41.8    | 41.9    | 41.7    | 35       | 37.5      | 41.1     | 40.2    | 40.8    | 33.7    | 30.2 |
| 11:40:03                                                                   | 37.9             | 41.4    | 38.4    | 39.8    | 40.0    | 34.1     | 35.4      | 40.0     | 40.3    | 41.3    | 34.2    | 30.9 |
| 12:00:03                                                                   | 33.7             | 40.9    | 36.8    | 37.3    | 39.4    | 32.3     | 33.6      | 38.6     | 36.9    | 36.9    | 31.8    | 31.8 |
| 12:20:03                                                                   | 37.1             | 40.5    | 38.7    | 38.5    | 38.8    | 34.3     | 34.4      | 38.3     | 37.0    | 38.7    | 32.2    | 32.6 |
| 12:40:03                                                                   | 36.4             | 38.1    | 35.4    | 36.7    | 36.8    | 34.3     | 35.2      | 37.3     | 36.5    | 37.0    | 31.7    | 33.2 |
| 13:00:03                                                                   | 38.3             | 42.6    | 37.5    | 40.1    | 40.9    | 35.6     | 35.9      | 43.1     | 46.8    | 47.4    | 38.9    | 33.2 |
| 13:20:03                                                                   | 38.1             | 39.0    | 37.4    | 37.1    | 37.2    | 34.4     | 34.6      | 36.6     | 35.8    | 35.3    | 31.4    | 34.2 |
| 13:40:03                                                                   | 35.4             | 38.6    | 35.0    | 36.3    | 38.0    | 35.6     | 35        | 39.2     | 39.5    | 40.0    | 33.6    | 34.2 |
| 14:00:03                                                                   | 41.0             | 41.0    | 38.1    | 39.2    | 39.3    | 36.3     | 35.9      | 39.5     | 39.0    | 40.1    | 33.7    | 35.0 |
| 14:20:03                                                                   | 32.4             | 33.7    | 31.4    | 32.0    | 32.8    | 38.8     | 39        | 32.6     | 31.9    | 32.4    | 29.4    | 34.6 |
| 14:40:03                                                                   | 41.3             | 41.8    | 39.2    | 39.7    | 39.7    | 32.9     | 33.9      | 39.5     | 39.4    | 40.3    | 33.6    | 36.8 |
| 15:00:03                                                                   | 39.8             | 41.4    | 36.1    | 38.2    | 39.0    | 33.1     | 33.1      | 39.7     | 42.3    | 42.0    | 35.5    | 36.9 |
| 15:20:03                                                                   | 39.2             | 39.0    | 37.4    | 37.8    | 38.1    | 38.5     | 38.6      | 38.1     | 39.0    | 39.2    | 34.0    | 35.8 |
| 15:40:03                                                                   | 33.0             | 33.6    | 32.2    | 32.1    | 31.9    | 40.8     | 40.4      | 32.4     | 32.7    | 32.0    | 29.6    | 34.0 |



|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16:00:03 | 32.6 | 33.4 | 32.2 | 31.8 | 31.7 | 41.9 | 41.7 | 31.6 | 31.6 | 31.6 | 28.8 | 33.1 |
| 16:20:03 | 31.7 | 31.8 | 31.2 | 31.1 | 31.2 | 44.9 | 45.4 | 30.9 | 30.2 | 30.4 | 28.5 | 32.6 |
| 16:40:03 | 29.8 | 30.5 | 30.0 | 29.4 | 29.9 | 48.4 | 48.4 | 29.5 | 28.4 | 28.4 | 27.4 | 31.3 |

Anexo I. Datos obtenidos replica 2, combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente.

| Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                             | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                                  | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:33:13                                                                              | 36.7             | 41.5    | 42.1    | 37.0    | 42.3    | 71.5     | 71.6      | 42.7     | 25.3    | 44.1    | 41.5    | 25.3 |
| 09:40:03                                                                              | 38.1             | 41.7    | 41.7    | 40.7    | 43.6    | 50.8     | 48        | 45.1     | 25.3    | 45.5    | 45.1    | 25.3 |
| 10:00:03                                                                              | 43.8             | 45.2    | 45.0    | 42.5    | 46.0    | 28.7     | 26        | 44.2     | 27.5    | 36.3    | 34.9    | 27.6 |
| 10:21:12                                                                              | 41.8             | 49.5    | 48.9    | 48.8    | 50.6    | 23.5     | 24.5      | 50.8     | 29.4    | 46.4    | 42.6    | 29.6 |
| 10:40:02                                                                              | 47.5             | 50.8    | 49.8    | 50.7    | 54.3    | 21.4     | 22.2      | 53.3     | 30.4    | 52.0    | 49.5    | 30.8 |
| 11:00:02                                                                              | 45.1             | 45.6    | 44.6    | 42.6    | 40.9    | 21.7     | 18        | 40.3     | 31.7    | 38.2    | 33.4    | 32.1 |
| 11:20:02                                                                              | 37.8             | 40.4    | 41.7    | 38.5    | 38.4    | 24.8     | 21.1      | 36.2     | 32.9    | 35.1    | 34.2    | 33.6 |
| 11:40:02                                                                              | 44.5             | 46.9    | 49.8    | 41.7    | 46.6    | 21.7     | 21.2      | 35.5     | 33.2    | 35.9    | 37.9    | 34.0 |
| 12:00:02                                                                              | 40.7             | 48.6    | 49.5    | 41.6    | 46.8    | 23.6     | 21.5      | 34.0     | 33.4    | 35.4    | 38.2    | 34.3 |
| 12:20:02                                                                              | 46.2             | 54.0    | 53.3    | 45.9    | 52.4    | 20.1     | 17.7      | 33.7     | 35.0    | 38.8    | 41.2    | 35.7 |
| 12:40:02                                                                              | 41.8             | 50.0    | 50.1    | 44.4    | 48.5    | 18.4     | 17.6      | 35.2     | 36.4    | 34.5    | 37.4    | 37.1 |
| 13:00:02                                                                              | 46.3             | 50.2    | 51.2    | 44.4    | 47.7    | 18.7     | 18.6      | 34.7     | 36.8    | 32.6    | 35.1    | 37.6 |
| 13:20:02                                                                              | 44.3             | 48.6    | 48.8    | 41.9    | 43.5    | 20       | 21.2      | 38.9     | 36.8    | 34.5    | 31.8    | 38.0 |
| 13:40:02                                                                              | 45.3             | 50.1    | 51.1    | 44.6    | 47.9    | 18.3     | 18.7      | 37.0     | 38.3    | 37.4    | 37.5    | 38.9 |
| 14:00:02                                                                              | 40.4             | 45.8    | 46.1    | 44.1    | 44.9    | 24.5     | 21.6      | 37.5     | 37.7    | 36.6    | 38.5    | 38.5 |
| 14:20:02                                                                              | 34.9             | 37.0    | 37.2    | 37.3    | 37.7    | 27       | 27.4      | 37.7     | 36.7    | 34.9    | 35.3    | 37.5 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15:00:31 | 42.2 | 44.9 | 47.9 | 43.5 | 44.7 | 21.2 | 22.7 | 42.5 | 37.6 | 38.4 | 38.5 | 38.8 |
| 15:20:01 | 44.0 | 46.9 | 48.6 | 41.9 | 46.9 | 22.4 | 21.7 | 40.7 | 36.9 | 37.7 | 43.0 | 37.9 |
| 15:40:01 | 34.4 | 34.3 | 37.1 | 32.2 | 32.9 | 32   | 26.4 | 32.2 | 35.5 | 30.9 | 29.6 | 36.7 |
| 16:00:01 | 34.2 | 34.1 | 35.1 | 33.5 | 33.3 | 36   | 27.5 | 32.5 | 34.4 | 31.8 | 32.4 | 35.6 |
| 16:20:01 | 34.8 | 37.0 | 36.3 | 36.7 | 36.2 | 32.6 | 31.2 | 36.5 | 33.6 | 33.9 | 35.0 | 34.7 |
| 16:40:01 | 34.6 | 38.7 | 37.3 | 38.7 | 37.4 | 30.3 | 31.5 | 37.5 | 33.2 | 34.9 | 33.7 | 33.1 |

Anexo J. Datos obtenidos replica 2, combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.

| Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                      | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                           | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:33:13                                                                       | 28.3             | 31.6    | 28.3    | 29.6    | 30.9    | 78.0     | 76.9      | 30.3     | 32.8    | 38.9    | 35.3    | 25.3 |
| 09:40:03                                                                       | 26.8             | 30.3    | 27.9    | 28.9    | 29.2    | 58.5     | 60.0      | 28.9     | 32.7    | 35.9    | 33.7    | 25.3 |
| 10:00:03                                                                       | 32.2             | 33.1    | 33.9    | 32.0    | 31.8    | 50.4     | 50.6      | 30.8     | 28.5    | 36.4    | 29.7    | 27.6 |
| 10:21:12                                                                       | 33.3             | 34.1    | 33.3    | 32.9    | 34.1    | 46.4     | 47.0      | 34.2     | 35.7    | 38.1    | 35.3    | 29.6 |
| 10:40:02                                                                       | 33.2             | 35.5    | 32.1    | 34.5    | 36.2    | 43.2     | 44.4      | 36.3     | 39.7    | 43.5    | 42.6    | 30.8 |
| 11:00:02                                                                       | 39.5             | 38.4    | 40.0    | 39.5    | 39.1    | 37.2     | 36.7      | 38.8     | 37.7    | 39.9    | 34.8    | 32.1 |
| 11:20:02                                                                       | 32.8             | 32.5    | 33.7    | 31.2    | 31.1    | 42.3     | 41.3      | 31.1     | 32.6    | 34.5    | 32.1    | 33.6 |
| 11:40:02                                                                       | 36.8             | 38.4    | 33.9    | 37.0    | 38.8    | 39.2     | 39.9      | 39.0     | 43.5    | 44.4    | 46.1    | 34.0 |
| 12:00:02                                                                       | 34.7             | 36.7    | 32.8    | 34.2    | 36.5    | 40.4     | 40.8      | 36.7     | 42.8    | 42.0    | 41.6    | 34.3 |
| 12:20:02                                                                       | 35.6             | 39.6    | 33.7    | 37.2    | 38.5    | 36.0     | 36.3      | 38.5     | 46.3    | 46.4    | 49.5    | 35.7 |
| 12:40:02                                                                       | 32.3             | 37.0    | 31.7    | 34.7    | 35.2    | 34.9     | 35.7      | 34.6     | 42.5    | 42.2    | 42.5    | 37.1 |
| 13:00:02                                                                       | 33.0             | 39.9    | 35.9    | 41.0    | 41.2    | 31.9     | 32.9      | 42.7     | 47.4    | 46.7    | 50.6    | 37.6 |
| 13:20:02                                                                       | 38.9             | 40.3    | 38.5    | 40.1    | 38.4    | 31.7     | 33.3      | 39.8     | 43.5    | 38.6    | 45.4    | 38.0 |
| 13:40:02                                                                       | 35.0             | 44.2    | 38.4    | 44.4    | 44.5    | 29.9     | 30.9      | 45.2     | 51.4    | 48.8    | 52.5    | 38.9 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14:00:02 | 35.8 | 41.4 | 38.6 | 41.4 | 40.4 | 35.4 | 34.4 | 40.1 | 44.4 | 42.0 | 45.6 | 38.5 |
| 14:20:02 | 31.1 | 32.6 | 30.2 | 30.8 | 30.2 | 45.0 | 42.5 | 29.8 | 32.6 | 32.6 | 32.0 | 37.5 |
| 15:00:31 | 35.3 | 39.9 | 35.3 | 35.7 | 34.9 | 41.4 | 40.3 | 34.2 | 34.4 | 37.2 | 34.5 | 38.8 |
| 15:20:01 | 36.2 | 41.2 | 33.6 | 35.8 | 35.7 | 41.0 | 38.8 | 34.7 | 37.0 | 40.7 | 37.1 | 37.9 |
| 15:40:01 | 31.1 | 34.7 | 32.2 | 30.1 | 29.3 | 47.0 | 44.2 | 29.3 | 29.6 | 30.0 | 28.6 | 36.7 |
| 16:00:01 | 30.5 | 32.8 | 30.5 | 30.4 | 29.7 | 49.3 | 47.1 | 29.7 | 32.0 | 31.4 | 31.5 | 35.6 |
| 16:20:01 | 31.7 | 34.0 | 31.2 | 30.2 | 29.5 | 50.9 | 48.8 | 29.4 | 31.1 | 32.2 | 31.7 | 34.7 |
| 16:40:01 | 30.8 | 33.5 | 30.7 | 30.6 | 30.8 | 52.5 | 49.5 | 30.8 | 32.9 | 31.6 | 32.6 | 33.1 |

Anexo K. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra.

| Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                     | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                          | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:07                                                                      | 26.5             | 32.3    | 32.0    | 32.7    | 32.2    | 67.1     | 66.1      | 32.2     | 26.7    | 32.0    | 29.0    | 27.1 |
| 09:40:07                                                                      | 27.8             | 31.9    | 31.9    | 31.8    | 31.8    | 46.2     | 46.9      | 31.4     | 28.4    | 30.6    | 28.6    | 28.7 |
| 10:00:07                                                                      | 28.4             | 32.7    | 32.8    | 32.4    | 32.7    | 43.9     | 43.1      | 33.1     | 29.5    | 33.2    | 29.9    | 30.1 |
| 10:20:07                                                                      | 29.5             | 39.9    | 39.3    | 38.7    | 39.7    | 42.9     | 41.8      | 40.9     | 30.1    | 40.2    | 34.5    | 30.8 |
| 10:40:07                                                                      | 31.4             | 42.6    | 39.8    | 39.7    | 42.7    | 38.5     | 36.7      | 38.8     | 30.8    | 36.6    | 32.2    | 31.4 |
| 11:00:07                                                                      | 30.4             | 38.3    | 38.2    | 32.0    | 37.2    | 31.4     | 33        | 45.2     | 31.2    | 43.7    | 35.6    | 31.9 |
| 11:20:07                                                                      | 30.9             | 36.8    | 37.7    | 34.3    | 37.7    | 25.5     | 33.2      | 39.9     | 31.6    | 47.4    | 37.4    | 32.4 |
| 11:40:07                                                                      | 32.1             | 39.2    | 40.3    | 36.1    | 39.4    | 26.6     | 30.5      | 44.4     | 31.9    | 44.3    | 36.9    | 32.7 |
| 12:00:07                                                                      | 40.2             | 45.2    | 47.4    | 39.6    | 46.1    | 25.1     | 33.7      | 42.3     | 36.9    | 37.6    | 43.8    | 37.9 |
| 12:20:07                                                                      | 35.3             | 35.9    | 38.8    | 34.4    | 35.3    | 22.6     | 33.4      | 33.4     | 35.7    | 32.0    | 32.2    | 36.8 |
| 12:40:07                                                                      | 34.3             | 35.6    | 36.7    | 34.5    | 35.3    | 25       | 33.2      | 33.6     | 34.7    | 32.8    | 33.7    | 35.8 |
| 13:00:07                                                                      | 31.4             | 31.7    | 31.5    | 31.5    | 32.1    | 28.3     | 27        | 31.1     | 33.7    | 30.7    | 28.9    | 34.9 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13:20:07 | 37.2 | 36.9 | 36.7 | 37.3 | 37.2 | 22.8 | 21.3 | 37.2 | 35.1 | 39.8 | 35.7 | 37.2 |
| 13:40:07 | 41.2 | 41.4 | 41.2 | 40.2 | 40.7 | 24.1 | 25.4 | 40.4 | 35.5 | 45.1 | 38.9 | 34.4 |
| 13:59:57 | 35.1 | 34.2 | 35.0 | 35.3 | 34.7 | 27.4 | 27.9 | 35.2 | 35.6 | 36.9 | 32.7 | 34.7 |

Anexo L. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.

| Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                            | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                                 | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:07                                                                             | 35.6             | 37.4    | 35.2    | 36.4    | 34.0    | 65.8     | 67.1      | 34.1     | 31.8    | 31.4    | 29.1    | 27.1 |
| 09:40:07                                                                             | 35.6             | 37.7    | 37.1    | 36.1    | 34.3    | 35.5     | 35.8      | 34.2     | 31.6    | 30.9    | 28.7    | 28.7 |
| 10:00:07                                                                             | 35.3             | 38.6    | 38.0    | 37.7    | 35.0    | 33.6     | 31.6      | 34.8     | 32.1    | 31.3    | 29.2    | 30.1 |
| 10:20:07                                                                             | 43.8             | 47.0    | 44.3    | 49.1    | 44.4    | 33.8     | 30.5      | 45.6     | 41.1    | 38.6    | 35.4    | 30.8 |
| 10:40:07                                                                             | 41.6             | 47.1    | 45.0    | 43.1    | 39.2    | 23.1     | 24.1      | 38.8     | 34.8    | 36.5    | 31.8    | 31.4 |
| 11:00:07                                                                             | 48.8             | 51.6    | 46.8    | 52.9    | 49.1    | 19       | 21.2      | 50.4     | 43.7    | 42.3    | 39.5    | 31.9 |
| 11:20:07                                                                             | 40.3             | 53.2    | 43.7    | 52.8    | 49.9    | 18.4     | 19.3      | 51.0     | 48.8    | 43.9    | 39.0    | 32.4 |
| 11:40:07                                                                             | 46.3             | 53.4    | 49.9    | 54.7    | 50.1    | 16.5     | 17.1      | 50.1     | 43.7    | 42.4    | 38.7    | 32.7 |
| 12:00:07                                                                             | 32.2             | 40.1    | 31.1    | 35.1    | 34.5    | 15.8     | 19.5      | 32.6     | 36.2    | 40.9    | 36.2    | 37.9 |
| 12:20:07                                                                             | 32.4             | 34.7    | 31.9    | 31.5    | 30.8    | 17.6     | 17.8      | 30.6     | 31.2    | 32.5    | 31.3    | 36.8 |
| 12:40:07                                                                             | 30.9             | 34.3    | 30.8    | 31.9    | 31.1    | 20.8     | 20.4      | 30.8     | 32.1    | 33.1    | 32.2    | 35.8 |
| 13:00:07                                                                             | 30.0             | 32.0    | 30.6    | 29.5    | 28.9    | 19.3     | 17.2      | 29.0     | 29.2    | 29.2    | 28.2    | 34.9 |
| 13:20:07                                                                             | 41.5             | 41.0    | 41.6    | 40.9    | 38.0    | 19.2     | 15.2      | 37.8     | 39.0    | 37.3    | 35.7    | 37.2 |
| 13:40:07                                                                             | 47.6             | 45.3    | 48.0    | 44.8    | 45.3    | 20.6     | 19.6      | 44.7     | 43.3    | 42.7    | 37.6    | 34.4 |
| 13:59:57                                                                             | 40.8             | 40.4    | 42.2    | 39.7    | 41.4    | 20.4     | 19.5      | 41.7     | 40.4    | 40.1    | 37.6    | 34.7 |

Anexo M. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra.

| Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |          |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                   | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |          | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                        | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout(%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:04                                                                    | 25.5             | 25.5    | 25.4    | 25.3    | 25.2    | 68       | 75.5     | 25.4     | 31.3    | 25.3    | 25.3    | 31.3 |
| 09:40:04                                                                    | 27.6             | 27.9    | 27.7    | 27.8    | 27.8    | 67.5     | 54.8     | 27.9     | 31.5    | 27.7    | 27.6    | 31.6 |
| 10:00:04                                                                    | 29.1             | 28.7    | 29.6    | 29.6    | 29.4    | 56.4     | 48.5     | 29.6     | 31.7    | 29.0    | 28.9    | 32.1 |
| 10:20:04                                                                    | 29.6             | 28.1    | 30.5    | 29.4    | 30.8    | 51.4     | 49.1     | 30.8     | 31.7    | 31.3    | 30.5    | 32.7 |
| 10:40:04                                                                    | 40.0             | 49.4    | 50.2    | 47.6    | 50.5    | 49.8     | 45.9     | 50.6     | 45.1    | 28.9    | 35.9    | 29.7 |
| 11:00:04                                                                    | 42.8             | 45.7    | 50.0    | 45.5    | 46.2    | 42.5     | 40.7     | 46.4     | 42.7    | 29.4    | 33.5    | 30.0 |
| 11:20:04                                                                    | 52.8             | 54.3    | 55.3    | 53.7    | 53.3    | 43.3     | 42.9     | 52.7     | 49.0    | 29.5    | 36.3    | 30.2 |
| 11:40:04                                                                    | 48.6             | 51.3    | 54.9    | 50.3    | 51.4    | 40.1     | 38.4     | 51.4     | 48.3    | 30.3    | 36.8    | 30.9 |
| 12:00:04                                                                    | 45.9             | 47.7    | 49.5    | 45.7    | 46.9    | 37       | 35.8     | 44.1     | 41.4    | 31.2    | 33.2    | 31.8 |
| 12:20:04                                                                    | 46.9             | 46.6    | 49.8    | 46.8    | 46.0    | 38.8     | 35.1     | 44.4     | 41.4    | 32.0    | 33.3    | 32.6 |
| 12:40:04                                                                    | 40.8             | 43.3    | 45.5    | 43.1    | 44.0    | 40.3     | 40.3     | 42.5     | 39.4    | 32.5    | 32.6    | 33.2 |
| 13:00:04                                                                    | 33.2             | 33.8    | 36.4    | 38.1    | 35.6    | 39.8     | 36.2     | 35.2     | 35.1    | 41.1    | 34.5    | 36.0 |
| 13:20:04                                                                    | 33.1             | 34.0    | 34.9    | 36.5    | 33.8    | 42.4     | 38.2     | 33.5     | 34.9    | 37.1    | 32.2    | 35.8 |
| 13:40:04                                                                    | 35.2             | 35.4    | 36.7    | 39.2    | 36.0    | 40.9     | 39.4     | 34.9     | 36.7    | 39.2    | 33.4    | 37.3 |
| 14:00:04                                                                    | 34.0             | 31.9    | 34.1    | 34.8    | 34.2    | 44.8     | 44       | 34.6     | 36.0    | 35.9    | 32.7    | 37.1 |
| 14:20:04                                                                    | 33.8             | 33.3    | 36.3    | 37.0    | 37.4    | 56.4     | 53.7     | 37.0     | 35.6    | 41.0    | 36.4    | 36.6 |
| 14:40:04                                                                    | 34.0             | 34.1    | 35.0    | 35.3    | 34.6    | 59.9     | 58.3     | 35.2     | 35.7    | 35.2    | 31.6    | 36.5 |
| 15:00:04                                                                    | 42.2             | 44.9    | 47.9    | 43.5    | 44.7    | 62.3     | 59.5     | 42.5     | 37.6    | 38.4    | 38.5    | 34.5 |
| 15:20:04                                                                    | 42.4             | 42.8    | 46.5    | 39.7    | 42.3    | 60       | 58.3     | 38.9     | 36.8    | 35.9    | 36.8    | 34.2 |
| 15:40:04                                                                    | 34.0             | 33.9    | 36.6    | 32.1    | 32.8    | 61       | 59.1     | 31.6     | 35.5    | 30.3    | 30.1    | 28.8 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16:00:04 | 35.1 | 35.0 | 35.9 | 34.2 | 34.7 | 61.4 | 58.1 | 33.6 | 34.5 | 31.4 | 34.2 | 32.2 |
| 16:20:04 | 34.4 | 37.7 | 36.8 | 37.6 | 37.4 | 60.5 | 55.3 | 37.8 | 33.7 | 36.9 | 38.7 | 34.1 |
| 16:40:04 | 28.6 | 26.2 | 30.9 | 30.8 | 33.5 | 58.5 | 53.1 | 31.3 | 31.1 | 30.7 | 29.9 | 26.2 |

Anexo N. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                          | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                               | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:04                                                                           | 25.5             | 25.7    | 25.7    | 25.5    | 25.5    | 45.0     | 40.1      | 25.2     | 25.3    | 25.1    | 25.3    | 31.3 |
| 09:40:04                                                                           | 27.2             | 27.6    | 27.1    | 27.2    | 27.2    | 33.3     | 32.8      | 27.2     | 27.5    | 27.1    | 26.9    | 31.6 |
| 10:00:04                                                                           | 27.5             | 29.0    | 27.4    | 28.3    | 28.2    | 20.5     | 26.8      | 28.2     | 28.8    | 28.6    | 28.1    | 32.1 |
| 10:20:04                                                                           | 27.4             | 30.3    | 27.5    | 28.5    | 28.7    | 22.0     | 23.9      | 28.5     | 30.2    | 29.9    | 28.5    | 32.7 |
| 10:40:04                                                                           | 29.5             | 34.0    | 33.0    | 33.0    | 37.9    | 20.2     | 21.0      | 41.2     | 40.4    | 41.9    | 34.8    | 29.7 |
| 11:00:04                                                                           | 34.3             | 39.3    | 37.5    | 37.3    | 38.4    | 19.0     | 17.7      | 37.7     | 37.3    | 37.9    | 32.1    | 30.0 |
| 11:20:04                                                                           | 37.5             | 42.9    | 41.8    | 41.9    | 41.7    | 15.6     | 15.8      | 41.1     | 40.2    | 40.8    | 33.7    | 30.2 |
| 11:40:04                                                                           | 37.9             | 41.4    | 38.4    | 39.8    | 40.0    | 16.4     | 15.5      | 40.0     | 40.3    | 41.3    | 34.2    | 30.9 |
| 12:00:04                                                                           | 33.7             | 40.9    | 36.8    | 37.3    | 39.4    | 15.1     | 15.0      | 38.6     | 36.9    | 36.9    | 31.8    | 31.8 |
| 12:20:04                                                                           | 37.1             | 40.5    | 38.7    | 38.5    | 38.8    | 17.0     | 15.6      | 38.3     | 37.0    | 38.7    | 32.2    | 32.6 |
| 12:40:04                                                                           | 36.4             | 38.1    | 35.4    | 36.7    | 36.8    | 16.1     | 17.0      | 37.3     | 36.5    | 37.0    | 31.7    | 33.2 |
| 13:00:04                                                                           | 40.4             | 45.4    | 51.5    | 43.9    | 43.4    | 18.5     | 16.2      | 41.4     | 54.1    | 39.2    | 36.6    | 36.0 |
| 13:20:04                                                                           | 42.2             | 45.9    | 48.1    | 45.3    | 44.8    | 19.3     | 17.6      | 43.4     | 54.9    | 43.4    | 38.6    | 35.8 |
| 13:40:04                                                                           | 44.7             | 49.0    | 57.5    | 49.0    | 47.7    | 18.8     | 19.3      | 45.9     | 60.8    | 43.4    | 35.4    | 37.3 |
| 14:00:04                                                                           | 39.1             | 41.5    | 46.7    | 42.5    | 41.8    | 22.6     | 24.4      | 38.9     | 47.0    | 36.6    | 32.5    | 37.1 |
| 14:20:04                                                                           | 36.4             | 44.5    | 48.5    | 42.8    | 43.6    | 41.9     | 36.2      | 42.2     | 55.1    | 40.0    | 35.9    | 36.6 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14:40:04 | 36.2 | 38.8 | 43.2 | 38.6 | 37.5 | 47.0 | 42.2 | 36.2 | 43.5 | 34.4 | 31.8 | 36.5 |
| 15:00:04 | 35.3 | 0.0  | 39.9 | 35.3 | 35.7 | 48.7 | 43.8 | 34.9 | 34.2 | 34.4 | 37.2 | 34.5 |
| 15:20:04 | 36.6 | 0.0  | 40.9 | 35.2 | 34.4 | 45.3 | 40.5 | 33.7 | 33.8 | 35.1 | 36.2 | 34.2 |
| 15:40:04 | 31.4 | 0.0  | 34.1 | 32.1 | 30.4 | 46.3 | 40.7 | 29.4 | 29.5 | 29.6 | 30.8 | 28.8 |
| 16:00:04 | 32.1 | 0.0  | 34.2 | 30.7 | 31.2 | 46.4 | 41.9 | 30.5 | 30.4 | 31.2 | 33.5 | 32.2 |
| 16:20:04 | 32.3 | 0.0  | 34.0 | 31.4 | 31.3 | 42.6 | 38.6 | 31.0 | 30.9 | 33.6 | 34.1 | 34.1 |
| 16:40:04 | 28.6 | 26.6 | 26.3 | 25.9 | 29.3 | 39.8 | 36.2 | 29.4 | 29.5 | 28.8 | 29.7 | 26.2 |

Anexo O. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                         | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Time                                                                              | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:09                                                                          | 26.4             | 30.1    | 30.1    | 29.8    | 29.5    | 59       | 61.5      | 31.0     | 26.9    | 29.3    | 26.7    | 27.1 |
| 09:40:09                                                                          | 27.9             | 37.5    | 37.8    | 36.6    | 36.4    | 46.4     | 46.7      | 37.6     | 28.6    | 37.7    | 31.3    | 28.9 |
| 10:00:09                                                                          | 29.2             | 41.8    | 41.0    | 39.8    | 39.2    | 40.5     | 37.9      | 39.8     | 29.9    | 40.2    | 32.8    | 30.3 |
| 10:20:09                                                                          | 29.8             | 35.9    | 40.7    | 40.8    | 41.7    | 37.1     | 33.8      | 42.0     | 30.8    | 45.4    | 37.6    | 31.3 |
| 10:40:09                                                                          | 31.2             | 42.4    | 41.1    | 40.9    | 38.6    | 32.3     | 30        | 41.5     | 32.2    | 39.7    | 31.4    | 32.7 |
| 11:00:09                                                                          | 31.8             | 41.9    | 43.5    | 43.3    | 42.8    | 31.2     | 28.1      | 43.5     | 33.1    | 44.1    | 35.0    | 33.8 |
| 11:20:09                                                                          | 31.7             | 38.1    | 42.7    | 43.5    | 43.8    | 32.8     | 30.6      | 43.5     | 33.1    | 47.6    | 37.1    | 33.9 |
| 11:40:09                                                                          | 31.8             | 46.3    | 47.0    | 45.8    | 44.5    | 31       | 29.7      | 44.9     | 33.2    | 45.0    | 35.9    | 33.9 |
| 12:00:09                                                                          | 32.2             | 34.9    | 41.3    | 42.9    | 42.6    | 31.3     | 28.6      | 42.2     | 33.8    | 49.8    | 40.0    | 34.7 |
| 12:20:09                                                                          | 32.9             | 39.5    | 40.0    | 39.7    | 39.3    | 34.6     | 31.8      | 39.8     | 34.6    | 41.1    | 34.6    | 35.5 |
| 12:40:09                                                                          | 33.3             | 33.7    | 37.4    | 38.4    | 38.0    | 34.6     | 31.8      | 38.0     | 35.0    | 41.4    | 34.7    | 36.0 |
| 13:00:09                                                                          | 33.2             | 33.8    | 36.4    | 38.1    | 35.6    | 37.5     | 35.7      | 35.2     | 35.1    | 41.1    | 34.5    | 36.0 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13:20:09 | 33.1 | 34.0 | 34.9 | 36.5 | 33.8 | 41   | 38.7 | 33.5 | 34.9 | 37.1 | 32.2 | 35.8 |
| 13:40:09 | 35.2 | 35.4 | 36.7 | 39.2 | 36.0 | 35.9 | 33.1 | 34.9 | 36.7 | 39.2 | 33.4 | 37.3 |
| 14:00:09 | 34.0 | 31.9 | 34.1 | 34.8 | 34.2 | 38.7 | 36.5 | 34.6 | 36.0 | 35.9 | 32.7 | 37.1 |
| 14:20:09 | 33.8 | 33.3 | 36.3 | 37.0 | 37.4 | 38.2 | 37.1 | 37.0 | 35.6 | 41.0 | 36.4 | 36.6 |
| 14:40:09 | 34.0 | 34.1 | 35.0 | 35.3 | 34.6 | 39.4 | 37.5 | 35.2 | 35.7 | 35.2 | 31.6 | 36.5 |
| 15:00:09 | 33.7 | 32.2 | 34.0 | 34.7 | 35.1 | 40.4 | 38.3 | 35.3 | 35.5 | 35.3 | 32.1 | 36.1 |
| 15:20:09 | 33.7 | 34.1 | 34.6 | 36.0 | 33.5 | 41.6 | 37.4 | 33.3 | 35.3 | 34.8 | 31.0 | 36.1 |
| 15:40:09 | 32.7 | 30.3 | 33.9 | 35.1 | 34.0 | 43.6 | 38.5 | 32.8 | 34.4 | 38.8 | 35.1 | 35.4 |
| 16:00:09 | 31.6 | 29.4 | 31.0 | 31.7 | 31.0 | 48.2 | 42.8 | 30.5 | 33.6 | 33.3 | 30.5 | 34.6 |
| 16:20:09 | 31.1 | 29.2 | 30.1 | 31.2 | 30.0 | 51.9 | 47   | 29.1 | 33.0 | 31.9 | 30.2 | 33.8 |
| 16:40:09 | 32.7 | 30.5 | 33.7 | 33.3 | 30.8 | 53.8 | 51.1 | 31.2 | 35.8 | 28.5 | 30.9 | 35.6 |

Anexo P. Datos obtenidos replica 2 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 2                                                                  | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Time                                                                       | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:09                                                                   | 32.0             | 31.9    | 34.9    | 32.2    | 32.1    | 52.8     | 51.9      | 31.2     | 31.5    | 29.3    | 26.7    | 27.1 |
| 09:40:09                                                                   | 40.1             | 40.3    | 44.4    | 40.9    | 41.7    | 33.7     | 32.9      | 40.9     | 42.3    | 36.5    | 32.4    | 28.9 |
| 10:00:09                                                                   | 44.8             | 45.5    | 51.6    | 47.3    | 46.1    | 25.6     | 25.1      | 43.5     | 46.3    | 39.5    | 33.8    | 30.3 |
| 10:20:09                                                                   | 36.5             | 48.5    | 51.9    | 47.1    | 49.1    | 21.3     | 19.8      | 47.9     | 49.8    | 44.4    | 38.1    | 31.3 |
| 10:40:09                                                                   | 44.4             | 45.8    | 61.4    | 45.7    | 44.2    | 18.3     | 17.7      | 40.6     | 42.5    | 38.5    | 32.0    | 32.7 |
| 11:00:09                                                                   | 49.4             | 53.2    | 63.7    | 55.2    | 51.7    | 16.4     | 16.0      | 47.6     | 48.5    | 44.0    | 37.3    | 33.8 |
| 11:20:09                                                                   | 39.6             | 49.0    | 49.9    | 51.3    | 50.4    | 17.1     | 16.5      | 50.6     | 66.8    | 49.1    | 40.2    | 33.9 |
| 11:40:09                                                                   | 53.6             | 54.3    | 65.3    | 56.5    | 53.5    | 15.5     | 16.1      | 49.6     | 66.2    | 45.1    | 36.8    | 33.9 |
| 12:00:09                                                                   | 42.5             | 53.2    | 47.0    | 50.0    | 53.4    | 15.4     | 15.7      | 51.8     | 71.0    | 51.5    | 43.0    | 34.7 |
| 12:20:09                                                                   | 44.4             | 47.5    | 52.2    | 48.9    | 46.0    | 17.8     | 17.2      | 43.3     | 54.8    | 41.0    | 35.9    | 35.5 |



|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12:40:09 | 43.2 | 47.6 | 46.5 | 46.4 | 45.0 | 18.5 | 17.0 | 42.6 | 55.2 | 41.1 | 35.5 | 36.0 |
| 13:00:09 | 40.4 | 45.4 | 51.5 | 43.9 | 43.4 | 20.0 | 19.1 | 41.4 | 54.1 | 39.2 | 36.6 | 36.0 |
| 13:20:09 | 42.2 | 45.9 | 48.1 | 45.3 | 44.8 | 22.8 | 22.2 | 43.4 | 54.9 | 43.4 | 38.6 | 35.8 |
| 13:40:09 | 44.7 | 49.0 | 57.5 | 49.0 | 47.7 | 17.7 | 17.5 | 45.9 | 60.8 | 43.4 | 35.4 | 37.3 |
| 14:00:09 | 39.1 | 41.5 | 46.7 | 42.5 | 41.8 | 20.1 | 21.1 | 38.9 | 47.0 | 36.6 | 32.5 | 37.1 |
| 14:20:09 | 36.4 | 44.5 | 48.5 | 42.8 | 43.6 | 21.5 | 20.6 | 42.2 | 55.1 | 40.0 | 35.9 | 36.6 |
| 14:40:09 | 36.2 | 38.8 | 43.2 | 38.6 | 37.5 | 24.3 | 21.6 | 36.2 | 43.5 | 34.4 | 31.8 | 36.5 |
| 15:00:09 | 38.0 | 40.1 | 42.3 | 40.4 | 39.8 | 25.0 | 21.9 | 38.9 | 47.5 | 36.6 | 33.1 | 36.1 |
| 15:20:09 | 38.9 | 40.0 | 45.1 | 39.5 | 38.6 | 23.1 | 20.3 | 37.1 | 46.8 | 34.8 | 31.1 | 36.1 |
| 15:40:09 | 37.1 | 41.8 | 45.0 | 42.5 | 41.7 | 23.9 | 20.9 | 40.6 | 50.8 | 38.6 | 34.0 | 35.4 |
| 16:00:09 | 33.0 | 36.1 | 37.5 | 35.6 | 34.9 | 29.2 | 24.9 | 33.3 | 37.6 | 33.3 | 30.4 | 34.6 |
| 16:20:09 | 31.2 | 34.5 | 34.7 | 33.5 | 33.2 | 35.4 | 30.6 | 33.0 | 36.7 | 33.1 | 31.7 | 33.8 |
| 16:40:09 | 32.3 | 32.7 | 38.9 | 35.0 | 36.3 | 42.4 | 38.0 | 33.0 | 37.7 | 29.2 | 34.4 | 35.6 |

Anexo Q. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente

| Colector ondulado, convección natural, geometría semicircular y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                             | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                                  | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:02                                                                              | 45.8             | 47.7    | 48.8    | 50.6    | 53.1    | 40.9     | 46.2      | 52.0     | 56.3    | 56.8    | 57.2    | 42.8 |
| 09:40:02                                                                              | 48.8             | 53.6    | 50.2    | 49.5    | 49.3    | 44.3     | 51.0      | 47.6     | 42.7    | 48.5    | 45.3    | 41.9 |
| 10:00:02                                                                              | 52.9             | 57.5    | 55.4    | 54.6    | 53.2    | 50.2     | 56.9      | 51.8     | 46.4    | 51.8    | 47.7    | 43.8 |
| 10:20:02                                                                              | 53.0             | 57.4    | 55.0    | 53.9    | 53.8    | 47.7     | 62.3      | 51.7     | 46.6    | 51.9    | 47.4    | 44.2 |
| 10:40:02                                                                              | 56.5             | 59.0    | 57.1    | 54.4    | 56.3    | 50.1     | 61.4      | 52.8     | 47.5    | 54.5    | 49.2    | 45.3 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11:00:02 | 53.1 | 59.4 | 57.7 | 51.8 | 57.3 | 45.7 | 56.7 | 54.1 | 50.3 | 55.2 | 50.5 | 46.4 |
| 11:20:02 | 57.3 | 59.6 | 58.8 | 56.2 | 56.8 | 43.8 | 50.6 | 54.3 | 50.2 | 55.6 | 51.0 | 47.5 |
| 11:40:02 | 61.2 | 63.6 | 61.7 | 59.1 | 59.3 | 38.5 | 44.9 | 57.5 | 51.7 | 58.0 | 53.9 | 49.9 |
| 12:00:02 | 54.5 | 59.2 | 58.7 | 50.5 | 58.0 | 34.7 | 43.4 | 51.0 | 50.7 | 55.6 | 50.8 | 46.7 |
| 12:20:02 | 45.6 | 51.9 | 51.6 | 46.8 | 51.8 | 40.7 | 45.5 | 48.5 | 45.3 | 49.8 | 45.7 | 41.1 |
| 12:40:02 | 42.2 | 46.2 | 45.1 | 38.6 | 46.9 | 42.4 | 46.8 | 45.5 | 45.4 | 49.4 | 45.5 | 40.1 |
| 13:00:02 | 43.1 | 44.5 | 46.6 | 42.4 | 48.0 | 42.4 | 51.1 | 45.9 | 44.0 | 48.7 | 44.8 | 39.5 |
| 13:20:02 | 32.9 | 36.4 | 38.3 | 33.5 | 39.0 | 45.6 | 53.0 | 36.0 | 34.5 | 37.8 | 35.5 | 33.3 |
| 13:40:02 | 38.6 | 39.0 | 36.5 | 38.8 | 38.3 | 53.7 | 55.9 | 35.9 | 36.6 | 34.4 | 34.9 | 32.2 |
| 14:00:02 | 41.3 | 41.9 | 39.3 | 41.7 | 42.6 | 53.0 | 52.6 | 39.1 | 39.9 | 37.1 | 37.4 | 33.7 |
| 14:20:02 | 38.5 | 39.0 | 37.3 | 38.9 | 39.8 | 50.8 | 50.5 | 37.4 | 37.3 | 35.5 | 35.1 | 32.4 |
| 14:40:02 | 42.9 | 41.6 | 38.6 | 41.9 | 43.8 | 29.7 | 34.0 | 38.9 | 40.4 | 37.6 | 38.8 | 34.5 |
| 15:00:02 | 36.1 | 37.0 | 40.3 | 38.3 | 38.4 | 30.5 | 32.9 | 38.7 | 37.7 | 36.7 | 33.9 | 36.9 |
| 15:20:02 | 41.2 | 35.9 | 42.4 | 40.3 | 41.2 | 31.4 | 35.6 | 40.0 | 36.5 | 39.8 | 39.8 | 36.7 |
| 15:40:02 | 39.3 | 35.5 | 41.8 | 39.8 | 39.8 | 33.0 | 38.4 | 39.3 | 35.1 | 41.1 | 41.2 | 35.5 |
| 16:00:02 | 35.7 | 32.4 | 37.3 | 35.9 | 36.2 | 35.6 | 39.0 | 34.5 | 33.6 | 35.7 | 36.7 | 34.5 |
| 16:20:02 | 34.2 | 34.1 | 35.9 | 34.4 | 33.4 | 42.5 | 46.2 | 33.4 | 33.4 | 31.6 | 30.6 | 33.5 |
| 16:40:02 | 32.4 | 31.8 | 32.6 | 31.8 | 32.3 | 46.5 | 51.0 | 32.4 | 33.1 | 32.3 | 32.1 | 33.3 |

Anexo R. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra.

| Colector ondulado, convección forzada, geometría semicircular y cubierta negra |                  |          |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|
| RÉPLICA 3                                                                      | CÁMARA DE SECADO | COLECTOR |

| Hora     | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C) | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|------|
| 09:20:02 | 58.9    | 47.4    | 42.7    | 45.7    | 38.5    | 32.4     | 32.3      | 42.4    | 40.8    | 25.4    | 43.6    | 42.8 |
| 09:40:02 | 49.2    | 48.7    | 47.0    | 45.3    | 43.0    | 33.8     | 33.6      | 45.4    | 45.8    | 27.7    | 42.8    | 41.9 |
| 10:00:02 | 51.8    | 51.2    | 49.4    | 48.5    | 46.5    | 36.0     | 38.8      | 48.5    | 48.5    | 29.4    | 44.9    | 43.8 |
| 10:20:02 | 52.8    | 51.4    | 49.9    | 48.5    | 48.6    | 35.9     | 41.1      | 48.6    | 48.6    | 30.6    | 45.1    | 44.2 |
| 10:40:02 | 56.2    | 53.5    | 51.8    | 50.1    | 51.0    | 35.4     | 42.2      | 49.0    | 49.5    | 32.1    | 46.3    | 45.3 |
| 11:00:02 | 55.5    | 55.3    | 53.2    | 52.0    | 50.7    | 33.4     | 39.9      | 50.0    | 49.4    | 33.4    | 47.8    | 46.4 |
| 11:20:02 | 56.6    | 54.4    | 52.4    | 51.0    | 54.7    | 33.3     | 38.5      | 50.9    | 46.5    | 34.9    | 48.4    | 47.5 |
| 11:40:02 | 58.2    | 55.7    | 55.3    | 53.0    | 59.1    | 31.8     | 34.6      | 53.1    | 55.8    | 37.0    | 51.3    | 49.9 |
| 12:00:02 | 55.8    | 54.7    | 50.8    | 52.2    | 54.8    | 29.8     | 31.5      | 48.5    | 47.1    | 38.5    | 48.3    | 46.7 |
| 12:20:02 | 50.1    | 47.7    | 45.0    | 46.2    | 45.9    | 28.3     | 28.9      | 42.9    | 43.0    | 38.7    | 42.3    | 41.1 |
| 12:40:02 | 49.3    | 44.9    | 42.7    | 44.7    | 51.2    | 27.5     | 31.6      | 39.8    | 40.3    | 35.5    | 41.3    | 40.1 |
| 13:00:02 | 49.5    | 44.5    | 43.2    | 43.2    | 52.3    | 30.1     | 40.2      | 41.7    | 41.5    | 35.0    | 40.3    | 39.5 |
| 13:20:02 | 37.7    | 36.7    | 35.1    | 35.8    | 37.3    | 43.3     | 47.0      | 34.3    | 33.1    | 34.3    | 33.7    | 33.3 |
| 13:40:02 | 34.0    | 41.0    | 41.1    | 38.4    | 39.8    | 46.4     | 48.4      | 35.1    | 38.7    | 36.4    | 33.4    | 32.2 |
| 14:00:02 | 36.4    | 44.2    | 42.8    | 41.0    | 41.8    | 49.1     | 51.3      | 36.8    | 43.1    | 39.2    | 35.2    | 33.7 |
| 14:20:02 | 35.3    | 42.0    | 42.1    | 39.1    | 40.0    | 46.9     | 48.7      | 35.6    | 40.5    | 37.1    | 33.4    | 32.4 |
| 14:40:02 | 36.9    | 44.8    | 45.2    | 42.1    | 43.9    | 42.6     | 37.2      | 38.3    | 44.1    | 41.9    | 35.1    | 34.5 |
| 15:00:02 | 33.1    | 35.0    | 31.8    | 32.9    | 32.6    | 42.6     | 35.8      | 32.7    | 35.9    | 35.7    | 35.1    | 36.9 |
| 15:20:02 | 33.9    | 35.6    | 31.3    | 33.6    | 33.8    | 45.4     | 36.8      | 33.3    | 36.7    | 37.9    | 36.3    | 36.7 |
| 15:40:02 | 31.4    | 35.9    | 30.5    | 33.3    | 33.2    | 47.1     | 37.7      | 32.6    | 36.0    | 36.0    | 35.5    | 35.5 |
| 16:00:02 | 30.0    | 34.0    | 28.8    | 31.9    | 31.0    | 48.8     | 41.7      | 30.5    | 33.2    | 33.9    | 32.3    | 34.5 |
| 16:20:02 | 31.2    | 31.7    | 30.4    | 29.8    | 29.8    | 53.6     | 50.1      | 29.7    | 30.5    | 31.3    | 29.6    | 33.5 |
| 16:40:02 | 29.7    | 30.8    | 29.3    | 29.7    | 29.7    | 56.6     | 53.3      | 29.9    | 31.1    | 30.4    | 30.5    | 33.3 |

Anexo S. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Colector ondulado, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                     | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                          | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:04                                                                      | 32.0             | 31.4    | 31.2    | 30.9    | 30.4    | 53.3     | 52.0      | 30.2     | 29.3    | 26.1    | 26.9    | 26.1 |
| 09:40:04                                                                      | 33.8             | 34.5    | 34.4    | 33.4    | 34.6    | 48.1     | 45.7      | 34.8     | 34.0    | 28.1    | 30.1    | 28.2 |
| 10:00:04                                                                      | 35.4             | 35.9    | 35.2    | 35.8    | 35.2    | 44.1     | 41.6      | 35.3     | 33.6    | 29.6    | 30.0    | 29.9 |
| 10:20:04                                                                      | 35.9             | 36.2    | 35.8    | 36.5    | 35.4    | 41.3     | 38.6      | 35.2     | 33.9    | 30.7    | 30.7    | 31.0 |
| 10:40:04                                                                      | 39.8             | 39.1    | 38.0    | 39.2    | 38.5    | 38.5     | 36.5      | 38.7     | 37.3    | 31.7    | 33.5    | 32.0 |
| 11:00:04                                                                      | 46.2             | 45.1    | 43.4    | 43.7    | 43.7    | 32.8     | 31.6      | 43.3     | 40.1    | 32.2    | 35.1    | 32.5 |
| 11:20:04                                                                      | 43.6             | 43.9    | 43.2    | 42.3    | 41.7    | 31.6     | 28.9      | 41.2     | 39.9    | 33.4    | 33.9    | 33.8 |
| 11:40:04                                                                      | 39.5             | 40.5    | 40.9    | 39.5    | 39.4    | 32.9     | 30.7      | 38.6     | 38.2    | 34.3    | 34.5    | 34.8 |
| 12:00:04                                                                      | 40.0             | 45.4    | 44.6    | 44.3    | 45.7    | 32.3     | 31.3      | 46.5     | 45.7    | 34.7    | 39.0    | 35.3 |
| 12:20:04                                                                      | 37.5             | 41.1    | 42.3    | 38.0    | 41.6    | 31.7     | 28.4      | 43.5     | 47.3    | 35.4    | 39.8    | 36.0 |
| 12:40:04                                                                      | 37.0             | 40.9    | 39.9    | 35.5    | 39.0    | 35.6     | 31.6      | 31.6     | 40.0    | 35.6    | 36.3    | 36.5 |
| 13:00:04                                                                      | 39.9             | 41.3    | 39.7    | 35.4    | 38.7    | 27.8     | 31.4      | 39.8     | 44.2    | 36.2    | 36.9    | 36.7 |
| 13:20:04                                                                      | 38.6             | 41.7    | 40.8    | 36.1    | 39.8    | 25.3     | 30.6      | 39.2     | 43.6    | 36.8    | 37.8    | 37.4 |
| 13:40:04                                                                      | 37.3             | 40.5    | 39.7    | 34.8    | 38.6    | 27.6     | 31.5      | 39.9     | 42.0    | 37.0    | 37.8    | 37.6 |
| 14:00:04                                                                      | 35.1             | 39.4    | 38.7    | 33.8    | 37.5    | 32.1     | 35.9      | 38.6     | 40.6    | 35.7    | 35.1    | 36.6 |
| 14:20:04                                                                      | 34.2             | 36.9    | 37.0    | 33.1    | 35.7    | 35.9     | 39.0      | 36.0     | 37.8    | 34.5    | 34.8    | 35.4 |
| 14:40:04                                                                      | 37.3             | 37.0    | 38.2    | 36.5    | 36.9    | 38.6     | 37.5      | 37.2     | 37.1    | 34.9    | 35.2    | 35.2 |
| 15:00:04                                                                      | 41.2             | 37.6    | 39.0    | 35.0    | 37.8    | 37.5     | 35.0      | 38.1     | 42.4    | 35.0    | 35.9    | 35.5 |
| 15:20:04                                                                      | 33.2             | 32.3    | 32.8    | 30.5    | 32.0    | 40.9     | 38.5      | 32.4     | 34.9    | 33.8    | 31.6    | 34.7 |
| 15:40:04                                                                      | 36.2             | 36.3    | 37.2    | 33.6    | 35.9    | 41.1     | 37.5      | 36.7     | 40.5    | 33.3    | 34.6    | 34.0 |
| 16:00:04                                                                      | 36.2             | 35.5    | 36.5    | 33.5    | 35.8    | 39.6     | 36.4      | 35.6     | 35.2    | 33.6    | 33.1    | 34.2 |
| 16:20:04                                                                      | 33.1             | 31.3    | 32.3    | 31.5    | 31.1    | 45.5     | 42.5      | 31.4     | 31.0    | 33.0    | 30.6    | 33.8 |
| 16:40:04                                                                      | 30.2             | 30.1    | 30.4    | 30.1    | 30.2    | 48.7     | 46.2      | 30.3     | 30.0    | 32.3    | 29.1    | 33.0 |

Anexo T. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente.

| Colector ondulado, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                            | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                                 | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:04                                                                             | 32.9             | 36.5    | 33.4    | 33.4    | 32.7    | 42.9     | 40.1      | 31.7     | 30.0    | 29.6    | 27.0    | 26.1 |
| 09:40:04                                                                             | 35.1             | 39.7    | 35.9    | 37.8    | 36.9    | 37.1     | 31.9      | 35.5     | 32.9    | 32.7    | 30.1    | 28.2 |
| 10:00:04                                                                             | 37.1             | 42.1    | 38.5    | 38.5    | 37.3    | 31.9     | 28.0      | 35.8     | 33.2    | 32.9    | 30.0    | 29.9 |
| 10:20:04                                                                             | 38.2             | 42.1    | 38.8    | 38.2    | 37.4    | 28.7     | 25.5      | 36.6     | 32.7    | 33.3    | 30.1    | 31.0 |
| 10:40:04                                                                             | 41.1             | 45.4    | 42.2    | 42.8    | 41.4    | 26.5     | 23.2      | 38.1     | 36.8    | 35.7    | 33.3    | 32.0 |
| 11:00:04                                                                             | 45.6             | 51.2    | 47.5    | 48.3    | 46.2    | 20.5     | 20.3      | 42.7     | 40.3    | 39.5    | 35.2    | 32.5 |
| 11:20:04                                                                             | 46.9             | 54.0    | 48.3    | 48.6    | 45.1    | 17.8     | 17.5      | 42.5     | 40.0    | 40.0    | 34.5    | 33.8 |
| 11:40:04                                                                             | 43.6             | 50.5    | 45.5    | 44.8    | 42.4    | 18.4     | 17.7      | 39.7     | 38.1    | 38.0    | 34.4    | 34.8 |
| 12:00:04                                                                             | 42.5             | 52.3    | 48.4    | 51.1    | 48.0    | 20.1     | 18.8      | 45.4     | 41.8    | 43.8    | 38.3    | 35.3 |
| 12:20:04                                                                             | 35.4             | 50.5    | 38.8    | 42.7    | 43.7    | 20.0     | 17.2      | 47.2     | 43.7    | 46.6    | 40.5    | 36.0 |
| 12:40:04                                                                             | 35.2             | 45.7    | 34.8    | 39.9    | 40.7    | 21.8     | 20.1      | 41.1     | 38.3    | 39.8    | 35.7    | 36.5 |
| 13:00:04                                                                             | 38.6             | 47.3    | 35.9    | 43.6    | 42.5    | 21.4     | 20.3      | 45.0     | 39.5    | 45.8    | 37.5    | 36.7 |
| 13:20:04                                                                             | 37.4             | 48.2    | 36.2    | 43.3    | 42.9    | 21.8     | 18.3      | 44.3     | 40.3    | 44.8    | 38.0    | 37.4 |
| 13:40:04                                                                             | 39.5             | 45.0    | 36.9    | 43.6    | 41.4    | 23.7     | 19.8      | 44.0     | 40.2    | 43.2    | 37.4    | 37.6 |
| 14:00:04                                                                             | 37.1             | 42.4    | 35.3    | 39.9    | 38.9    | 26.4     | 23.5      | 40.4     | 37.6    | 40.2    | 35.2    | 36.6 |
| 14:20:04                                                                             | 35.2             | 40.1    | 34.3    | 38.4    | 36.6    | 29.0     | 24.9      | 37.8     | 36.3    | 38.1    | 34.4    | 35.4 |
| 14:40:04                                                                             | 37.0             | 42.0    | 37.5    | 40.4    | 38.3    | 27.3     | 24.9      | 39.3     | 37.9    | 37.9    | 35.2    | 35.2 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 15:00:04 | 39.0 | 44.9 | 39.0 | 43.5 | 42.5 | 23.7 | 21.7 | 41.4 | 40.1 | 40.3 | 36.6 | 35.5 |
| 15:20:04 | 32.7 | 38.2 | 32.2 | 35.1 | 34.7 | 28.5 | 25.9 | 34.1 | 32.6 | 33.8 | 31.2 | 34.7 |
| 15:40:04 | 36.9 | 42.6 | 37.6 | 42.2 | 41.3 | 26.8 | 24.9 | 41.7 | 37.7 | 40.0 | 35.0 | 34.0 |
| 16:00:04 | 36.9 | 42.0 | 36.8 | 39.7 | 39.2 | 26.0 | 23.9 | 38.0 | 35.6 | 36.2 | 33.4 | 34.2 |
| 16:20:04 | 33.5 | 35.3 | 34.1 | 33.6 | 32.7 | 34.1 | 29.3 | 32.0 | 31.0 | 31.4 | 30.0 | 33.8 |
| 16:40:04 | 30.1 | 33.2 | 31.0 | 31.3 | 31.2 | 38.8 | 35.1 | 30.5 | 29.8 | 30.1 | 28.7 | 33.0 |

Anexo U. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra

| Colector plano, convección natural, geometría semicircular y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                   | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                        | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:02                                                                    | 30.4             | 29.6    | 29.8    | 29.1    | 28.7    | 50.1     | 50.5      | 29.0     | 27.6    | 26.3    | 26.1    | 26.3 |
| 09:40:02                                                                    | 33.2             | 31.7    | 32.4    | 31.6    | 31.4    | 47.8     | 45.1      | 31.0     | 33.8    | 24.6    | 29.3    | 25.3 |
| 10:00:02                                                                    | 28.7             | 29.5    | 30.8    | 28.2    | 30.2    | 50.4     | 48.8      | 29.7     | 36.8    | 26.3    | 33.3    | 26.9 |
| 10:20:02                                                                    | 38.2             | 37.1    | 35.5    | 38.9    | 36.8    | 53.0     | 52.1      | 38.2     | 45.3    | 28.0    | 37.3    | 30.8 |
| 10:40:02                                                                    | 32.6             | 34.9    | 31.4    | 33.6    | 33.9    | 54.5     | 64.8      | 40.5     | 29.0    | 40.0    | 48.5    | 33.7 |
| 11:00:06                                                                    | 36.9             | 40.5    | 39.0    | 41.3    | 39.9    | 42.7     | 41.4      | 40.5     | 29.5    | 47.7    | 41.1    | 28.9 |
| 11:20:06                                                                    | 38.4             | 38.7    | 37.5    | 40.2    | 37.0    | 33.7     | 32.4      | 37.9     | 31.5    | 45.1    | 38.1    | 29.5 |
| 11:40:06                                                                    | 39.8             | 39.6    | 41.3    | 39.1    | 38.9    | 32.8     | 31.5      | 38.4     | 33.2    | 44.2    | 34.5    | 30.8 |
| 12:00:09                                                                    | 40.3             | 41.1    | 41.1    | 41.2    | 41.0    | 33.9     | 32.6      | 42.5     | 34.0    | 50.7    | 42.3    | 31.2 |
| 12:20:09                                                                    | 38.3             | 35.9    | 36.0    | 33.7    | 35.4    | 38.1     | 36.8      | 35.1     | 34.0    | 36.1    | 39.8    | 28.9 |
| 12:40:09                                                                    | 32.9             | 38.2    | 39.5    | 33.6    | 37.4    | 38.8     | 37.5      | 40.1     | 34.0    | 39.6    | 39.0    | 29.1 |
| 13:00:09                                                                    | 33.3             | 41.6    | 41.9    | 38.1    | 39.6    | 37.8     | 36.1      | 39.5     | 34.8    | 39.1    | 41.6    | 29.7 |
| 13:20:09                                                                    | 31.8             | 37.2    | 37.7    | 34.9    | 36.8    | 38.6     | 36.9      | 37.4     | 34.5    | 36.6    | 35.5    | 29.2 |
| 13:40:09                                                                    | 37.9             | 46.1    | 45.8    | 43.4    | 43.7    | 34.3     | 32.6      | 42.7     | 35.9    | 45.8    | 45.9    | 30.6 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14:00:09 | 31.8 | 37.4 | 38.3 | 33.9 | 38.7 | 35.7 | 33.8 | 36.3 | 36.1 | 40.8 | 43.0 | 29.3 |
| 14:20:09 | 34.5 | 35.7 | 36.7 | 32.7 | 36.2 | 37.7 | 35.8 | 37.0 | 35.6 | 40.0 | 37.5 | 29.6 |
| 14:40:09 | 31.2 | 31.0 | 32.0 | 30.5 | 31.8 | 41.9 | 40.0 | 32.3 | 35.1 | 33.7 | 32.8 | 28.4 |
| 15:00:09 | 30.8 | 31.0 | 31.8 | 30.0 | 31.4 | 49.5 | 47.6 | 31.9 | 33.2 | 34.5 | 32.5 | 28.0 |
| 15:20:09 | 30.1 | 29.7 | 30.3 | 30.7 | 30.2 | 51.1 | 49.2 | 30.8 | 32.4 | 32.4 | 29.3 | 28.1 |
| 15:40:09 | 27.3 | 28.3 | 29.5 | 27.1 | 29.1 | 54.9 | 53.0 | 29.1 | 31.5 | 30.3 | 29.8 | 27.0 |
| 16:00:09 | 30.6 | 30.7 | 31.8 | 28.7 | 31.2 | 52.8 | 50.6 | 31.2 | 31.1 | 33.6 | 34.2 | 27.7 |
| 16:20:09 | 32.6 | 32.4 | 32.7 | 30.7 | 32.4 | 53.8 | 51.6 | 32.6 | 31.2 | 34.9 | 32.5 | 27.9 |
| 16:40:09 | 28.7 | 28.5 | 28.9 | 28.7 | 29.0 | 57.9 | 55.7 | 29.2 | 30.5 | 30.5 | 29.2 | 27.0 |

Anexo V. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente

| Colector plano, convección forzada, geometría semicircular y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                          | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                               | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:02                                                                           | 31.4             | 34.2    | 32.1    | 31.6    | 31.3    | 55.2     | 54.5      | 30.3     | 28.6    | 28.2    | 26.4    | 26.3 |
| 09:40:02                                                                           | 37.5             | 40.3    | 42.2    | 41.6    | 42.0    | 58.6     | 60.6      | 39.7     | 37.5    | 38.0    | 33.1    | 25.3 |
| 10:00:02                                                                           | 35.3             | 36.5    | 39.7    | 38.9    | 40.7    | 52.7     | 58.2      | 39.6     | 39.1    | 39.0    | 35.0    | 26.9 |
| 10:20:02                                                                           | 43.9             | 49.4    | 49.1    | 51.3    | 52.4    | 48.9     | 54.4      | 49.0     | 45.7    | 41.1    | 37.1    | 30.8 |
| 10:40:02                                                                           | 56.2             | 54.0    | 57.0    | 60.1    | 57.0    | 55       | 60.5      | 57.7     | 56.9    | 55.3    | 32.1    | 33.7 |
| 11:00:06                                                                           | 37.1             | 45.3    | 47.4    | 46.6    | 43.9    | 34.6     | 45.2      | 46.0     | 45.5    | 45.8    | 40.8    | 28.9 |
| 11:20:06                                                                           | 36.9             | 38.8    | 45.5    | 42.9    | 38.3    | 23.4     | 35.3      | 39.6     | 39.5    | 39.3    | 36.5    | 29.5 |
| 11:40:06                                                                           | 39.3             | 39.1    | 44.8    | 44.7    | 35.1    | 21.8     | 33.6      | 35.7     | 41.8    | 32.3    | 30.2    | 30.8 |
| 12:00:09                                                                           | 39.2             | 40.4    | 48.6    | 45.5    | 41.4    | 21.8     | 26.9      | 41.9     | 43.8    | 41.4    | 39.2    | 31.2 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12:20:09 | 31.6 | 35.9 | 43.8 | 41.9 | 39.7 | 24.2 | 28.3 | 39.2 | 41.3 | 40.5 | 38.4 | 28.9 |
| 12:40:09 | 32.3 | 38.1 | 44.4 | 43.2 | 41.2 | 23.2 | 29.8 | 41.7 | 44.9 | 42.1 | 40.7 | 29.1 |
| 13:00:09 | 33.9 | 41.3 | 47.9 | 45.7 | 43.1 | 22.8 | 27.1 | 37.3 | 40.7 | 36.8 | 36.7 | 29.7 |
| 13:20:09 | 32.2 | 36.4 | 41.2 | 39.3 | 37.5 | 24.4 | 25.2 | 33.1 | 36.5 | 34.2 | 33.4 | 29.2 |
| 13:40:09 | 39.0 | 48.8 | 54.7 | 54.1 | 47.6 | 23.3 | 24.1 | 38.6 | 45.7 | 40.1 | 36.3 | 30.6 |
| 14:00:09 | 31.6 | 37.7 | 46.2 | 44.7 | 41.8 | 22.5 | 25   | 33.6 | 40.8 | 39.6 | 36.7 | 29.3 |
| 14:20:09 | 32.7 | 33.2 | 38.8 | 38.9 | 34.7 | 25.8 | 27.8 | 35.5 | 39.4 | 36.3 | 35.9 | 29.6 |
| 14:40:09 | 30.7 | 31.1 | 33.3 | 33.4 | 30.2 | 26.7 | 36.2 | 30.4 | 32.7 | 29.7 | 29.7 | 28.4 |
| 15:00:09 | 30.6 | 30.7 | 33.2 | 33.1 | 31.7 | 40   | 44.5 | 31.9 | 34.2 | 31.9 | 31.0 | 28.0 |
| 15:20:09 | 30.5 | 31.0 | 31.0 | 32.2 | 29.3 | 40.7 | 46.4 | 29.6 | 29.4 | 28.9 | 28.0 | 28.1 |
| 15:40:09 | 27.6 | 27.5 | 30.0 | 29.7 | 28.2 | 45.6 | 48.7 | 28.2 | 29.7 | 28.3 | 27.7 | 27.0 |
| 16:00:09 | 28.9 | 28.8 | 33.0 | 32.1 | 30.2 | 41.6 | 47.4 | 30.4 | 32.6 | 30.9 | 30.7 | 27.7 |
| 16:20:09 | 30.5 | 30.2 | 33.8 | 32.6 | 31.3 | 46.8 | 50.7 | 31.5 | 31.9 | 31.0 | 30.7 | 27.9 |
| 16:40:09 | 28.9 | 28.7 | 30.1 | 29.9 | 28.8 | 46.8 | 51.8 | 28.9 | 29.6 | 28.4 | 28.1 | 27.0 |

Anexo W. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente

| Colector plano, convección natural, geometría a dos aguas y cubierta transparente |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                         | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                              | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:06                                                                          | 31.8             | 31.6    | 32.2    | 32.6    | 31.2    | 73.2     | 73.0      | 31.7     | 25.7    | 31.0    | 25.6    | 24.8 |
| 09:40:06                                                                          | 34.1             | 34.3    | 34.4    | 35.8    | 33.9    | 45.0     | 41.1      | 34.3     | 26.7    | 33.6    | 28.4    | 25.8 |
| 10:00:06                                                                          | 39.4             | 39.8    | 40.5    | 41.1    | 39.3    | 32.3     | 27.3      | 39.2     | 28.5    | 38.3    | 30.1    | 26.2 |
| 10:20:06                                                                          | 41.9             | 42.4    | 42.6    | 44.2    | 41.3    | 28.8     | 23.5      | 40.8     | 30.2    | 40.1    | 32.4    | 26.4 |
| 10:40:06                                                                          | 37.4             | 37.1    | 37.0    | 38.4    | 35.8    | 29.0     | 24.1      | 35.9     | 31.0    | 36.0    | 29.4    | 26.3 |



|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11:00:06 | 39.0 | 39.9 | 40.4 | 39.7 | 39.5 | 30.2 | 24.3 | 39.6 | 31.3 | 38.2 | 32.2 | 26.6 |
| 11:20:06 | 40.5 | 40.7 | 41.3 | 40.2 | 40.0 | 28.8 | 24.0 | 39.2 | 31.7 | 38.2 | 30.5 | 27.2 |
| 11:40:06 | 39.9 | 39.7 | 39.9 | 43.5 | 39.2 | 25.1 | 20.2 | 40.3 | 32.3 | 41.8 | 31.1 | 27.8 |
| 12:00:06 | 49.6 | 51.4 | 51.6 | 49.1 | 50.7 | 19.6 | 15.8 | 51.3 | 34.4 | 49.5 | 36.7 | 28.9 |
| 12:20:06 | 47.2 | 47.8 | 48.0 | 46.6 | 46.3 | 32.3 | 31.0 | 42.6 | 36.7 | 48.4 | 35.3 | 28.8 |
| 12:40:06 | 44.1 | 47.4 | 49.3 | 48.9 | 36.4 | 44.2 | 42.9 | 36.0 | 34.3 | 45.5 | 35.4 | 27.4 |
| 13:00:06 | 41.1 | 38.5 | 46.0 | 41.0 | 45.5 | 48.8 | 46.8 | 41.0 | 32.4 | 38.2 | 35.5 | 27.1 |
| 13:20:06 | 44.1 | 39.8 | 51.8 | 46.0 | 38.1 | 45.7 | 43.7 | 37.2 | 31.4 | 48.1 | 33.7 | 29.3 |
| 13:40:06 | 45.2 | 40.4 | 44.7 | 40.5 | 36.5 | 44.0 | 42.0 | 34.5 | 30.0 | 36.9 | 34.6 | 28.5 |
| 13:59:56 | 36.0 | 34.5 | 50.1 | 42.7 | 41.9 | 44.1 | 43.4 | 40.2 | 31.1 | 36.6 | 35.5 | 27.7 |

Anexo X. Datos obtenidos replica 3 combinación: Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra

| Colector plano, convección forzada, geometría a dos aguas y cubierta negra |                  |         |         |         |         |          |           |          |         |         |         |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|------|
| RÉPLICA 3                                                                  | CÁMARA DE SECADO |         |         |         |         |          |           | COLECTOR |         |         |         |      |
| Hora                                                                       | T1 (°C)          | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | T5 (°C) | Rhin (%) | Rhout (%) | T6 (°C)  | T7 (°C) | T8 (°C) | T9 (°C) | Tamb |
| 09:20:06                                                                   | 30.5             | 29.4    | 29.9    | 30.3    | 29.3    | 72.5     | 74.0      | 29.7     | 29.6    | 28.3    | 26.2    | 24.8 |
| 09:40:06                                                                   | 31.0             | 31.3    | 32.0    | 32.2    | 31.4    | 53.5     | 52.3      | 31.8     | 31.1    | 30.7    | 28.1    | 25.8 |
| 10:00:06                                                                   | 34.3             | 34.8    | 35.3    | 35.1    | 34.8    | 41.8     | 41.4      | 35.4     | 35.1    | 33.3    | 29.9    | 26.2 |
| 10:20:06                                                                   | 35.5             | 36.3    | 37.3    | 37.7    | 36.7    | 38.8     | 38.4      | 37.3     | 36.4    | 34.9    | 31.3    | 26.4 |
| 10:40:06                                                                   | 34.9             | 33.6    | 34.9    | 34.6    | 33.3    | 38.2     | 37.6      | 33.6     | 32.8    | 32.0    | 29.0    | 26.3 |
| 11:00:06                                                                   | 31.4             | 35.1    | 36.1    | 34.6    | 35.4    | 39.1     | 38.0      | 35.8     | 34.8    | 33.6    | 30.6    | 26.6 |
| 11:20:06                                                                   | 36.0             | 35.7    | 36.7    | 35.7    | 36.0    | 37.9     | 37.6      | 36.2     | 35.4    | 34.3    | 30.3    | 27.2 |
| 11:40:06                                                                   | 41.1             | 37.9    | 39.1    | 39.8    | 38.1    | 33.6     | 33.5      | 38.0     | 38.1    | 37.2    | 31.1    | 27.8 |

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12:00:06 | 40.2 | 43.5 | 43.9 | 40.8 | 43.3 | 27.9 | 27.3 | 43.0 | 42.3 | 41.0 | 35.0 | 28.9 |
| 12:20:06 | 34.2 | 33.4 | 32.7 | 32.6 | 32.3 | 47.3 | 43.9 | 34.3 | 32.1 | 35.3 | 36.0 | 28.8 |
| 12:40:06 | 43.9 | 38.6 | 38.1 | 37.8 | 33.1 | 59.8 | 56.4 | 33.6 | 33.7 | 37.2 | 43.5 | 27.4 |
| 13:00:06 | 40.3 | 40.6 | 40.4 | 40.6 | 44.2 | 63.5 | 61.2 | 35.9 | 31.4 | 33.1 | 36.6 | 27.1 |
| 13:20:06 | 33.5 | 31.7 | 31.3 | 31.0 | 34.0 | 60.3 | 58.0 | 32.7 | 30.8 | 38.0 | 36.5 | 29.3 |
| 13:40:06 | 34.6 | 32.7 | 32.5 | 31.7 | 32.5 | 57.8 | 54.4 | 32.3 | 33.9 | 34.0 | 33.8 | 28.5 |
| 13:59:56 | 32.6 | 31.8 | 30.8 | 30.6 | 29.2 | 62.9 | 61.4 | 31.0 | 31.5 | 33.9 | 31.4 | 27.7 |