

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

Influencia de las condiciones climáticas  
diurnas y nocturnas en la refrigeración de  
módulos fotovoltaicos con PCM.

Autor: Jesús Sevilla Del Castillo

Tutor: Isidoro Lillo Bravo

Dep. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Influencia de las condiciones climáticas diurnas y nocturnas en la refrigeración de módulos fotovoltaicos con PCM.**

Autor:

Jesús Sevilla Del Castillo

Tutor:

Isidoro Lillo Bravo

Profesor Contratado Doctor

Dep. Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado: Influencia de las condiciones climáticas diurnas y nocturnas en la refrigeración de módulos fotovoltaicos con PCM.

Autor: Jesús Sevilla Del Castillo

Tutor: Isidoro Lillo Bravo

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

# 1. RESUMEN.

Existen muchos estudios que destacan y ponen de manifiesto los beneficios del PCM para enfriar un módulo fotovoltaico. [1]. Unos lo analizan durante unas horas diurnas al día para días concretos, [2] otros para un emplazamiento determinado [3]. Sin embargo, no son muchos los estudios que analizan valores anuales y por tanto no incluyen en el análisis la necesaria recuperación nocturna del nivel térmico del PCM para que al día siguiente pueda realizar su función.[4]. Ewald Japs Solar Energy 2016, analizó el comportamiento diurno para un sistema híbrido de un módulo fotovoltaico junto con un sistema PCM (PV-PCM), en el que se puso de manifiesto que la temperatura a seleccionar para un óptimo comportamiento del PCM y unos buenos resultados tanto energéticos como económicos, es siempre superior a la ambiente diurna.

Christopher J. Smith et al [5] calcula la temperatura de cambio de fase que logra la máxima ganancia de potencia eléctrica en un módulo fotovoltaico para distintas localidades. Este estudio lo realiza con dos hipótesis: 1.- Supone valores de radiación y temperaturas horarios medios mensuales. 2.- Supone que al comienzo de cada día la temperatura del PCM es en torno a unos 15 °C superior a la temperatura ambiente media diurna.

Sin embargo, las hipótesis descritas incluidas por Christopher J. Smith et al [5] pueden tener una influencia muy significativa en los resultados y conclusiones. En este artículo se analiza la influencia en los resultados de considerar valores medios horarios mensuales de radiación y temperaturas en lugar de valores horarios durante todo el año, de considerar el efecto de la noche en lugar de suponer que al comienzo de cada día la temperatura del PCM es la temperatura que ha adquirido a lo largo de la duración de la noche y, por tanto, influirá en el grado de recuperación de la siguiente noche.

Se han analizado los efectos del uso de la tecnología PCM (Phase Change Material) en un sistema fotovoltaico para refrigerar de manera óptima el panel y aumentar su eficiencia lo máximo posible, dando buenos resultados de producción de potencia eléctrica. También se ha analizado el efecto de las nubes y cómo afecta este factor mediante modelos matemáticos. Lo que se plantea ahora es analizar el efecto de la noche y la recuperación del PCM para un adecuado uso en las diferentes localizaciones que se han planteado y si la  $T_{melt}$  óptima calculada es la correcta al observar el efecto nocturno.

## Contenido

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. OBJETO.....	6
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
5. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	11
6. METODOLOGÍA.....	12
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	13
8. Estudio de Nzema (Ghana).....	14
8.1 Índice de figuras para Nzema .....	14
8.2 Índice de tablas para Nzema .....	16
8.3 Conclusiones finales de Nzema.....	53
9. Estudio de Neuhardenberg (Alemania).....	55
9.1 Índice de figuras para Neuhardenberg .....	55
9.2 Índice de tablas para Neuhardenberg .....	57
9.3 Conclusiones finales de Neuhardenberg.....	94
10. Estudio de Charanka (India).....	96
10.1 Índice de figuras para Charanka .....	96
10.2 Índice de tablas para Charanka.....	98
10.3 Conclusiones finales de Charanka .....	135
11. Estudio de Golmud (China).....	137
11.1 Índice de figuras para Golmud .....	137
11.2 Índice de tablas para Golmud .....	139
11.3 Conclusiones finales de Golmud .....	176
12. Estudio de Agua Caliente (Arizona, EEUU).....	178
12.1 Índice de figuras para Agua Caliente.....	178
12.2 Índice de tablas para Agua Caliente.....	180
12.3 Conclusiones finales de Agua Caliente .....	217
13. Intercomparación.....	219
14. Conclusiones finales .....	220
REFERENCIAS .....	221





## **2. INTRODUCCIÓN.**

Se han visto en diferentes artículos y trabajos un análisis de los módulos fotovoltaicos utilizando sistemas de refrigeración con materiales de cambio de fase o PCM (Phase Change Material) para alcanzar un comportamiento óptimo. En alguno se analiza la temperatura óptima de este PCM para su mayor producción eléctrica. En otros, se ha analizado la influencia de los días con nubosidad y en los que la radiación incidente no es constante. Por tanto, queda el análisis de la noche para hacer un estudio completo del comportamiento de este sistema híbrido PV-PCM en un emplazamiento para tener información toda la información necesaria para saber si es conveniente instalar dicho dispositivo en una determinada zona.

### **3. OBJETO.**

El objetivo de este trabajo es exponer las condiciones climáticas que son necesarias y óptimas, para la correcta implementación del sistema híbrido PCM-PV en diferentes localizaciones del hemisferio norte.

Se pretende establecer una relación entre todos los datos mostrados a través de tablas y gráficas, y las localizaciones analizadas, en cuanto a latitud, región climática, geografía o cualquier parámetro que se considere oportuno para, una vez encontrada dicha relación, poder “universalizar” los datos para cualquier emplazamiento y simplificar el estudio, evaluando si es viable o no su implementación.

Reuniendo los párrafos anteriores, se usa un modelo numérico hasta hora ya usado en anteriores trabajos, recuperando parte de los parámetros, programas y aplicaciones para sus cálculos, y su posterior representación visual necesaria. Dichos parámetros a mencionar de manera destacada son la temperatura óptima o  $T_{melt}$ , que es la temperatura de cambio de fase que se impone al material de cambio de fase (PCM) para moverse de un estado sólido a un estado líquido.

Además de lo anterior, se quiere analizar las horas nocturnas necesarias para la recuperación óptima y necesaria dado que en los anteriores trabajos, que se han mencionado anteriormente, se analizan los días sin y con nubes, lo cual afecta de diferentes maneras al comportamiento tanto del módulo fotovoltaico como del PCM.

## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

A raíz de una revisión bibliográfica actual se localizan diversos estudios que se centran en la mejora térmica del panel fotovoltaico utilizando PCM como refrigerante. El enfoque de refrigeración pasiva basado en PCM ha ganado más atención en fotovoltaica que el de activa, ya que este último genera gastos que no compensan con la mejora conseguida a través de la regulación de la temperatura de la célula solar.

A continuación, se muestra una serie de documentos recientes revisados y descritos brevemente:

En “Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement”, [5], se recoge una revisión global de la incorporación de PCM en paneles fotovoltaicos. Se comenta que un sistema PV-PCM típico consiste en una célula fotovoltaica y un recipiente lleno de PCM, estando la célula unida a la placa frontal del recipiente cuya placa trasera está formada de metal para mejorar la transferencia de calor. Recibiendo el módulo solar la radiación solar incidente y convirtiendo parte de ella en electricidad, mientras que el resto de radiación solar se convierte en calor, entrando en los recipientes de PCM por el mecanismo de conducción. Enfriando de esta forma el PV y consiguiendo una mejora de conversión de energía en las células solares, además de proteger al PV de sobrecalentamientos y daños.

Esta investigación ha ganado mucho interés recientemente por los investigadores ya que el sistema PV-PCM es una tecnología híbrida que integra paneles fotovoltaicos y PCM para lograr una mayor eficiencia de conversión en energía solar. Proporcionando técnicas de extracción de calor adecuadas, en este caso, durante el cambio de fase de sólido a líquido, en una gama muy estrechas de temperaturas de cambio de fase se puede producir alguna mejora de energía de bajo coste. El sistema PV-PCM se considera como una alternativa prometedora de mejora de la eficiencia del panel solar.

En [6] se ha investigado sobre las consecuencias económicas de la aplicación de PCM en un sistema para dos condiciones climáticas diferentes. Se concluyó que un sistema de este tipo es financieramente viable en ambientes de alta temperatura y alta radiación solar.

En “Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM”, [7], se analiza la incorporación de un tipo de PCM específico numéricamente y experimentalmente y se obtuvo que la producción eléctrica anual se supera en 7,3% en un período de un año en Eslovenia.

Se demuestra que el sistema PV-PCM, a través de un análisis numérico y una investigación experimental, que una capa de 0,02 metros de un tipo de PCM, en este caso una parafina RT35, bajo un clima típico promedio de un día soleado en Malasia, que la temperatura del módulo se reduce en 10°C y que permanece constante en un período de 4 a 6 horas, lo que conlleva a una mayor conversión del módulo fotovoltaico. [8]

El efecto de espesor de PCM también se encuentra estudiado en literatura reciente para un período de tiempo de tres horas aproximadamente comprobándose la reducción de la temperatura de panel, [9]. En [10] se estudia la evolución de temperaturas del panel bajo el sistema PV-PCM durante tres días promedio basados en los datos climatológicos del 21 de Junio en el sureste de Inglaterra para diferentes grosores de PCM incorporado.

En [11] se recoge la simulación de 120 minutos de enfriamiento (de líquido a sólido) de cinco tipos de PCM. La investigación sobre características y criterios de selección de PCM para refrigeración foto efectiva concluyeron que la selección de un PCM óptimo para el control de temperatura en condiciones climáticas variables necesita de un estudio más profundo del PCM.

En “Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate” [12], se estudia a partir de simulaciones con un modelo bidimensional (2D) y experimentalmente un ambiente extremadamente caliente para evaluar el ahorro energético del año. Para ello se optimiza la variable  $T_m$  como muestran los hallazgos previos, que la  $T_{solidus}$  debe estar por encima de la temperatura media de la noche de verano para garantizar la solidificación del PCM y la  $T_{liquidus}$  por debajo de la temperatura promedio del panel de un día en invierno para así garantizar la fusión completa del PCM. La  $T_{solidus}$  se define por la temperatura a la que empieza la solidificación del PCM una vez fundido todo el material y la  $T_{liquidus}$  a la que comienza a fundirse. El rango de temperatura de cambio de fase es  $T_{solidus}$ - $T_{liquidus}$  y  $T_m$  el punto medio del intervalo ( $T_{solidus} > T_m > T_{liquidus}$ ). Se concluye que con el fin de extraer una cantidad óptima de calor del PV, se desearía una  $T_{solidus}$  variable, ya que la temperatura del panel es variable en diferentes estaciones del año. La parafina se selecciona con un determinado intervalo de cambio de fase, por lo que se hace hincapié en la necesidad de obtener correctamente un rendimiento óptimo durante todo el año ya que no es posible la variación de  $T_{solidus}$ .

En “Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling” [13], se realiza un balance de energía anual sobre un modelo unidimensional descrito por diferencias finitas de un sistema PV-PCM. Se centra en la mejora de producción eléctrica anual del PV, con valores promedio de entrada al sistema, tras la incorporación de PCM para así encontrar la temperatura de cambio de fase óptima, entre otras cuestiones. Además de un análisis económico donde se demuestra que el PCM no es apto para la refrigeración de un panel de una sola unión.

En “Cooling PV modules using phase change material” [41] se hace énfasis en la técnica de enfriamiento para mejorar la eficiencia del sistema PV. Para ello, se usa testea un PCM de tipo orgánico y se estudian sus propiedades y su capacidad de absorción. Los resultados muestran que se ahorra un 13% de la energía perdida en forma de calor.

En “Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems” [42], se establece que el uso de materiales de cambio de fase para el control sistemas fotovoltaicos térmicos es, técnicamente, viable si parámetros como la conductividad térmica o la estabilidad de fase son resueltos debidamente. También se añade el surgimiento de una nueva tecnología denominada materiales de cambio de fase microencapsulados.

En “Thermal management of low concentrated photovoltaic system using extended surfaces in phase change materials” [44], se analiza el uso de aletas para mejorar la refrigeración obteniéndose una reducción de la temperatura de la superficie del calentador del 16%.

En “Optimization of solar photovoltaic system integrated with phase change material” [43], se presenta un estudio simulado para investigar el tratamiento térmico de los paneles PV usando PCM. Las hipótesis que se han tenido para este estudio son las siguientes:

1. -El flujo solar incidente en la superficie del panel FV se ha considerado uniforme. No se ha considerado la no uniformidad producida por suciedad localizada en dicho panel o las nubes.
2. -El panel FV se ha tomado como isotrópico y homogéneo.
3. -Los efectos de la temperatura y la radiación solar incidente en el comportamiento del panel FV fueron incorporados como variaciones en la eficiencia de conversión de solar a electricidad.
4. -Se ignoran los efectos de la variación de las propiedades térmicas del material con la temperatura.
5. -La parte inferior y los laterales han sido aislados por lo que se desprecian las pérdidas de calor.
6. -Se desprecian el efecto de la resistencia entre caras en el comportamiento térmico del sistema.
7. -Para simplificar el modelo, se considera que todo el calor se genera en la capa de silicio.
8. -Las propiedades del PCM en las fases sólido y líquido son homogéneas e isotrópicas.
9. -Las variaciones en las propiedades térmicas del PCM con el cambio de temperatura se desprecian dentro de la misma fase.
10. -El flujo dentro del PCM fundido se considera laminar e incompresible.

## Conclusión

En todos los artículos mencionados anteriormente en la revisión bibliográfica se hacen simulaciones teniendo en cuenta un modelo ideal. Esto en la realidad no es así dado que existen incógnitas tales como qué ocurre en días que está nublado o cómo se recupera el sistema por la noche. En ningún apartado de dicha revisión se aportan datos en estas condiciones o el comportamiento del sistema bajo estas condiciones adversas.

Como se ha analizado en la parte anterior de este documento, se va a analizar la influencia de la duración de la noche y cómo se recupera el PCM en la ciudad de Nzema (Ghana). En primer lugar se mostrarán diferentes gráficas de barras en las que se podrá ver la duración de la noche de cada día, la temperatura del PCM a la entrada de la noche, la temperatura de salida de la noche y la temperatura ambiente media de esa noche. A continuación, se mostrará otro gráfico de puntos en el que se analizarán las siguientes condiciones:

**Estado 1:** Noches donde no se recupera totalmente (si a la primera hora con  $I > 50 \text{ W/m}^2$  la  $T_{pcm} \geq T_{melt} + 2^\circ\text{C}$ ).

**Estado 2:** Noches donde se recupera parcialmente.  $T_{pcm} = T_{melt} \pm 2^\circ\text{C}$

**Estado 3:** Noches donde se recupera totalmente,  $T_{pcm} \leq T_{melt} - 2^\circ\text{C}$ .

Horas totales en que  $T_{pcm} < T_{melt} - 2^\circ\text{C}$

Horas totales en que  $T_{pcm} > T_{melt} + 2^\circ\text{C}$

Horas totales en que  $T_{pcm} = T_{melt} \pm 2^\circ\text{C}$

## **5. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.**

Para los siguientes emplazamientos, se va a hacer una descripción muy resumida de su elección y algunas características que presentan.

- Nzema es elegida porque al presentar un clima poco variable entre estaciones la optimización de  $T_m$  en el periodo anual dará lugar a una temperatura óptima anual más representativa para el emplazamiento en todos los meses del año.
- Neuhardenberg presenta menor temperatura ambiente e irradiancia durante todo el año.
- Charanka presenta un clima cálido constante pero menos y con picos más altos en cuanto a temperatura ambiente e irradiancia que en Ghana.
- Golmud presenta dos periodos diferenciables y destacables en el año con temperaturas ambientes bajas acompañado de una insolación variable en las estaciones.
- Agua Caliente presenta mayor pico de irradiancia y temperaturas ambientes en verano dentro de un clima especialmente cálido y variable en las estaciones.

## **6. METODOLOGÍA.**

Lo que se ha hecho en este documento es lo siguiente:

- Se han tomado bases de datos de METEONORM en los que se analiza irradiancia, velocidad del viento y temperatura ambiente media.
- Se ha usado un programa en Codeblocks, proporcionado por otra autora con un trabajo de fin de grado similar, y se han ejecutado dichos programas.
- Se ha ido variando la ejecución de los programas en los que se analizaba la influencia de la Tmelt, cuyos saltos se hacían de 5 °C de diferencia, comenzando en 10 °C y finalizando en 50 °C.
- Una vez obtenidos todos los datos de salida, se han hecho tablas de datos y gráficas para una representación más sencilla y una simple interpretación.
- Para cada localización, se ha ejecutado dicho programa y se han descrito las características y peculiaridades con su correspondiente comentario.
- Finalmente, se obtienen unas conclusiones finales globales para todas las localizaciones que se analizan, y se establecen algunas relaciones que pudieran existir entre dichos emplazamientos

## **7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.**

A continuación, se muestran los emplazamientos analizados en los que se mostrarán los diferentes resultados obtenidos por los datos de salida, su análisis y unas conclusiones finales tanto individuales para cada localización, como globales. El orden de emplazamientos a analizar va a ser el siguiente:

- Estudio de Nzema.
- Estudio de Neuhardenberg.
- Estudio de Charanka.
- Estudio de Golmud.
- Estudio de Agua Caliente.

## 8. Estudio de Nzema (Ghana)

### 8.1 Índice de figuras para Nzema

Figura 1: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 10 °C .....	18
Figura 2: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 10 °C .....	19
Figura 3: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 10 °C. ....	19
Figura 4: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 10 °C.....	20
Figura 5: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	22
Figura 6: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	23
Figura 7: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	23
Figura 8: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 15 °C.....	24
Figura 9: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	26
Figura 10: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 20 °C.....	27
Figura 11: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	27
Figura 12: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 20 °C.....	28
Figura 13: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 25 °C. ....	30
Figura 14: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 25 °C.....	31
Figura 15: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 25 °C. ....	31
Figura 16: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 25 °C.....	32

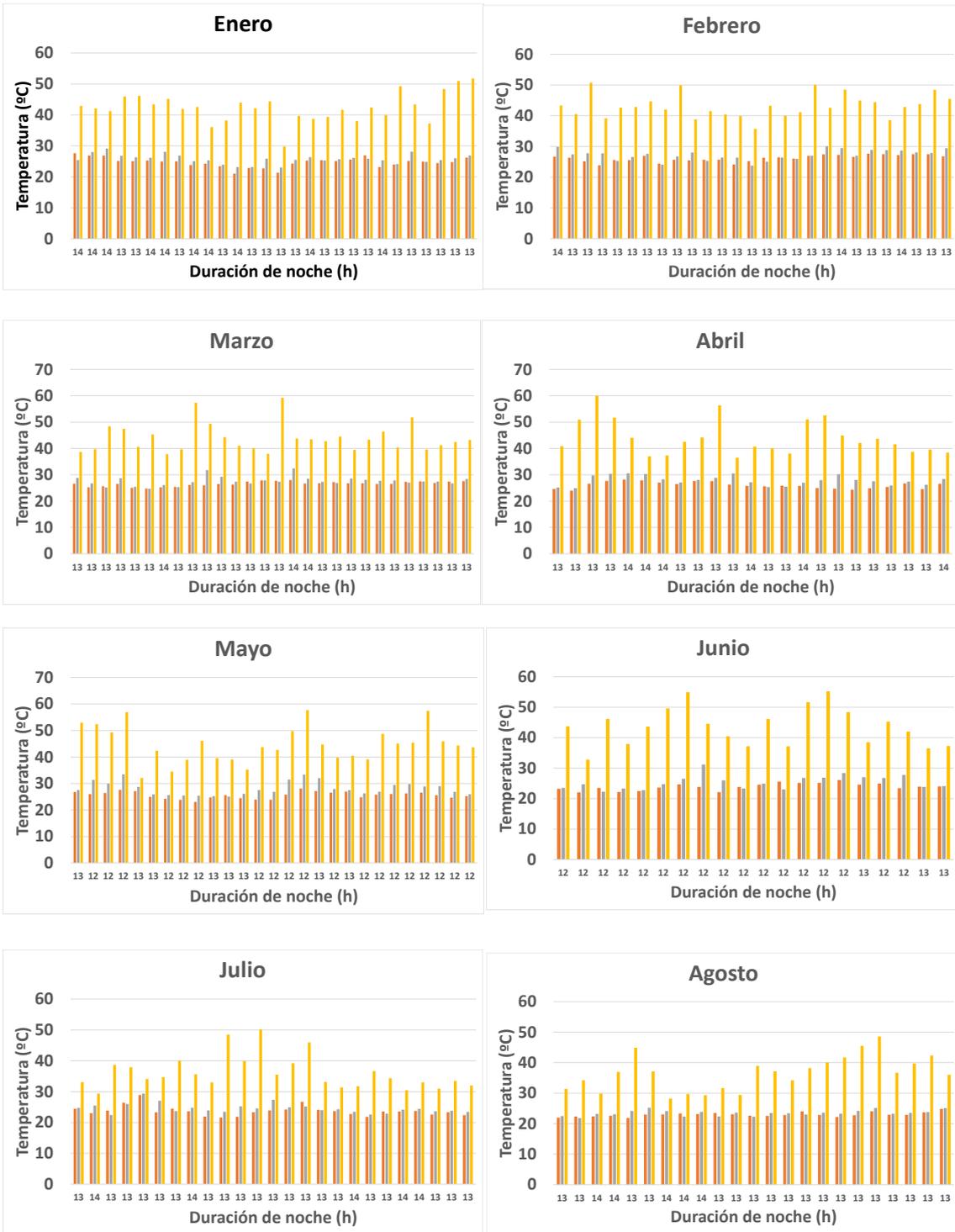
<b>Figura 17: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 30 °C. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 18: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 30 °C. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 19: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una Tmelt de 30 °C. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 20: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 30 °C. ....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 21: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 35 °C. ....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 22: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 35 °C. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 23: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una Tmelt de 35 °C. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 24: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 35 °C. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 25: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 40 °C. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 26: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 40 °C. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 27: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una Tmelt de 40 °C. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 28: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 40 °C. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 29: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 45 °C. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 30: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 45 °C. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 31: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una Tmelt de 45 °C. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 32: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 45 °C. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 33: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 50 °C. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 34: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 50 °C. ....</b>	<b>51</b>

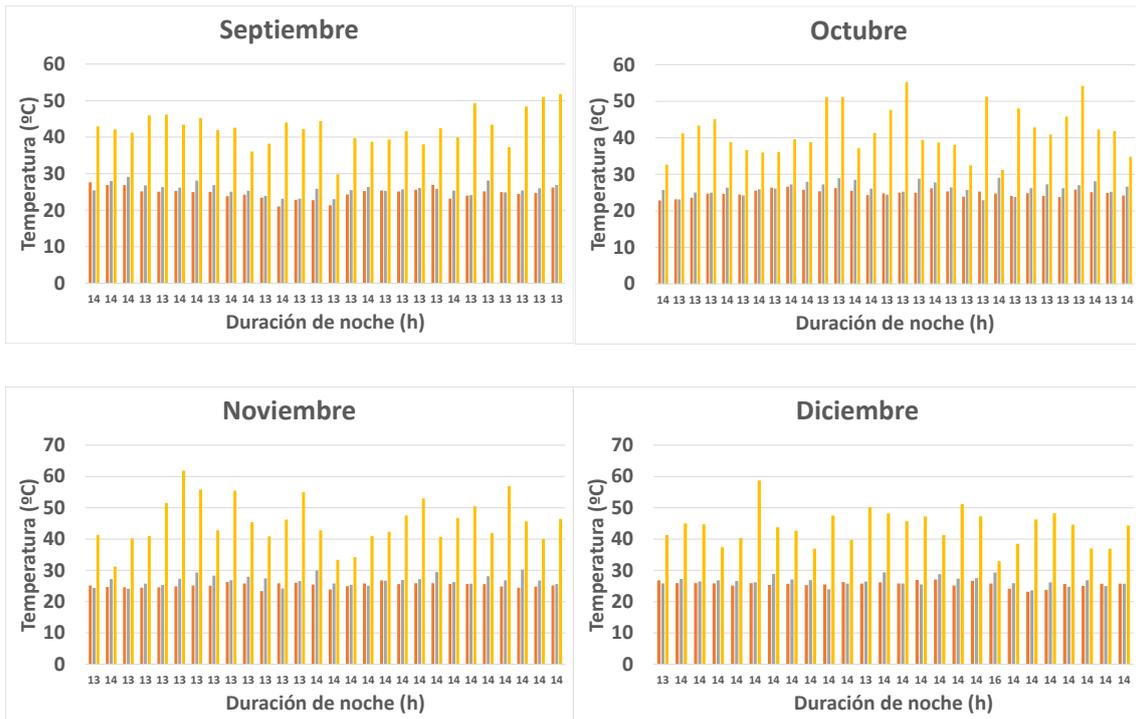
<b>Figura 35: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.</b>	51
<b>Figura 36: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.</b>	52
<b>Figura 37: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada <math>T_{melt}</math> analizada.</b>	53

## 8.2 Índice de tablas para Nzema

<b>Tabla 1: datos promediados para la representación de la figura 4 para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C.</b>	20
<b>Tabla 2: datos promediados para la representación de la figura 8 para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C.</b>	24
<b>Tabla 3: datos promediados para la representación de la figura 12 para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C.</b>	28
<b>Tabla 4: datos promediados para la representación de la figura 16 para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C.</b>	32
<b>Tabla 5: datos promediados para la representación de la figura 20 para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C.</b>	36
<b>Tabla 6: datos promediados para la representación de la figura 24 para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C.</b>	40
<b>Tabla 7: datos promediados para la representación de la figura 28 para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C.</b>	44
<b>Tabla 8: datos promediados para la representación de la figura 32 para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C.</b>	48
<b>Tabla 9: datos promediados para la representación de la figura 36 para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.</b>	52
<b>Tabla 10: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.</b>	53

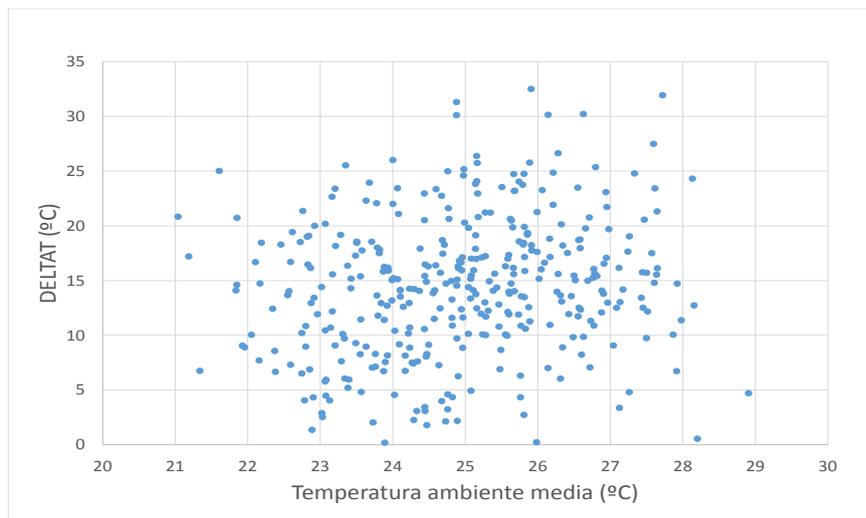
$T_{melt} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$





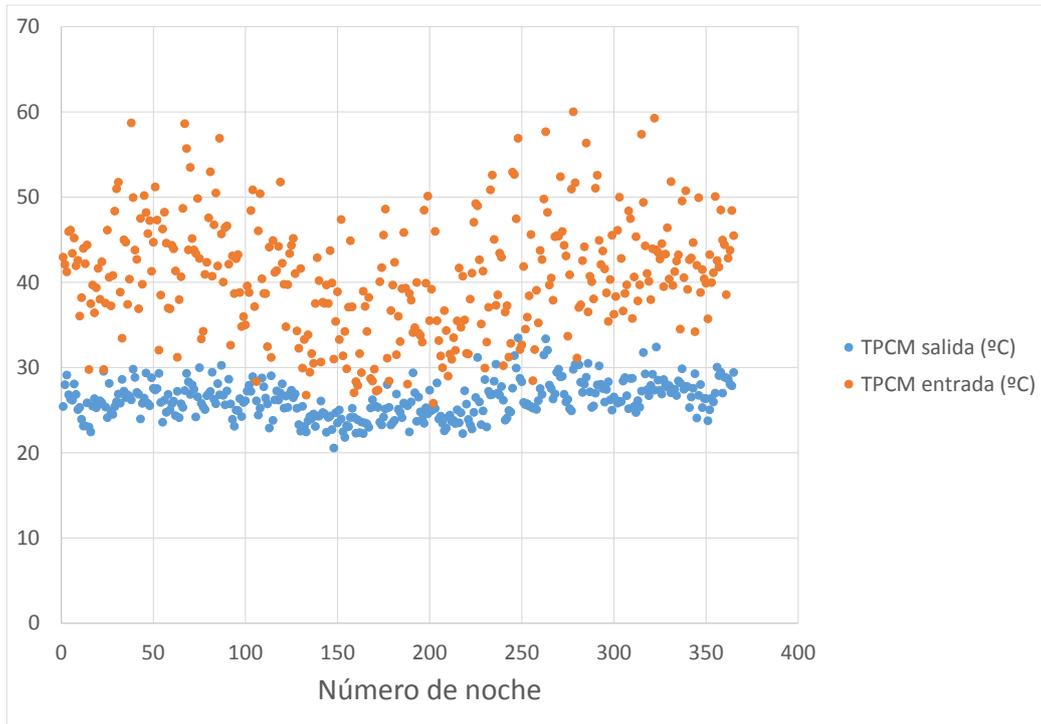
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Para las primeras  $T_{melt}$  elegidas puede verse que su influencia es nula debido a que las temperaturas del PCM a la entrada y salida son superiores. Esto se ve reflejado en la figura 3 donde se analiza el número de noches en el que se produce una transición en el PCM de un estado inicial a un estado final.



**Figura 1: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C**

Se puede ver que para un rango de temperatura ambiente media de 21 °C a 29 °C, los valores del salto de temperatura DELTAT son más abundantes en la banda de 5 °C a 20 °C.



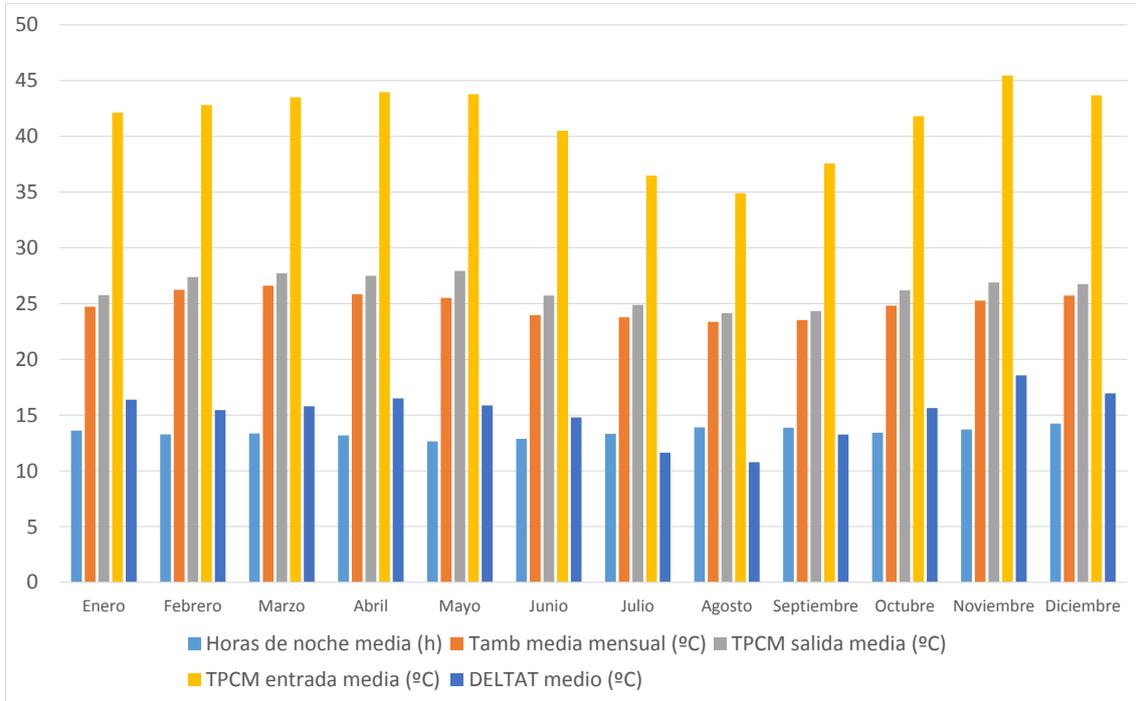
**Figura 2:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C

Para una temperatura  $T_{melt}$  de 10 °C, se ve en la figura 2 que la temperatura de salida del PCM está muy concentrada en la banda de 20 °C a 30 °C, mientras que la temperatura de entrada del PCM es muy difusa, variando de 30 °C a 60 °C.



**Figura 3:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Se explica brevemente la interpretación de la gráfica de la figura 3: si el PCM comienza la noche en el estado 1 y finaliza en el estado 1, esto se definirá como “Estado 11”. Como se ha mencionado antes, el PCM no es capaz de recuperarse dado que las temperaturas a la entrada y a la salida son muy superiores a la  $T_{melt}$  establecida.



**Figura 4:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

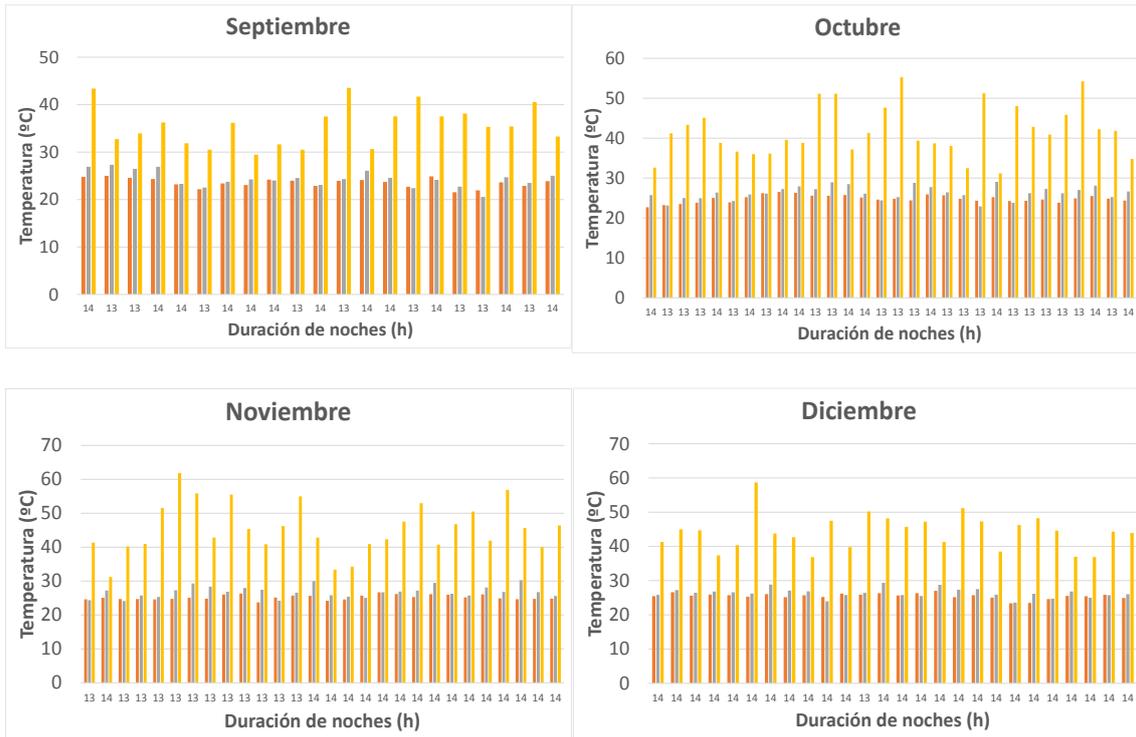
Como se ve, la temperatura media del PCM de entrada no supera los 45 °C, mientras que la temperatura de salida del PCM apenas llega a los 15 °C.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,61	24,72	25,75	42,13	16,38
<b>Febrero</b>	13,28	26,23	27,37	42,81	15,44
<b>Marzo</b>	13,35	26,60	27,72	43,51	15,79
<b>Abril</b>	13,17	25,82	27,49	43,98	16,49
<b>Mayo</b>	12,65	25,51	27,92	43,79	15,86
<b>Junio</b>	12,87	23,96	25,72	40,51	14,79
<b>Julio</b>	13,32	23,77	24,87	36,49	11,62
<b>Agosto</b>	13,90	23,36	24,13	34,90	10,77
<b>Septiembre</b>	13,87	23,53	24,33	37,58	13,24
<b>Octubre</b>	13,42	24,81	26,19	41,82	15,62
<b>Noviembre</b>	13,70	25,27	26,89	45,45	18,56
<b>Diciembre</b>	14,23	25,71	26,73	43,68	16,95

**Tabla 1:** datos promediados para la representación de la figura 4 para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

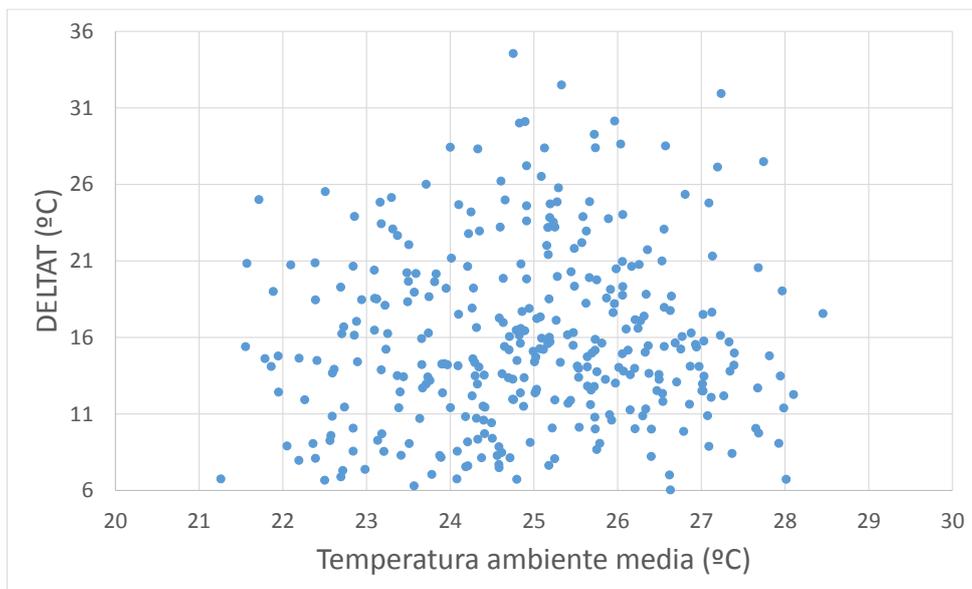
$T_{melt} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$





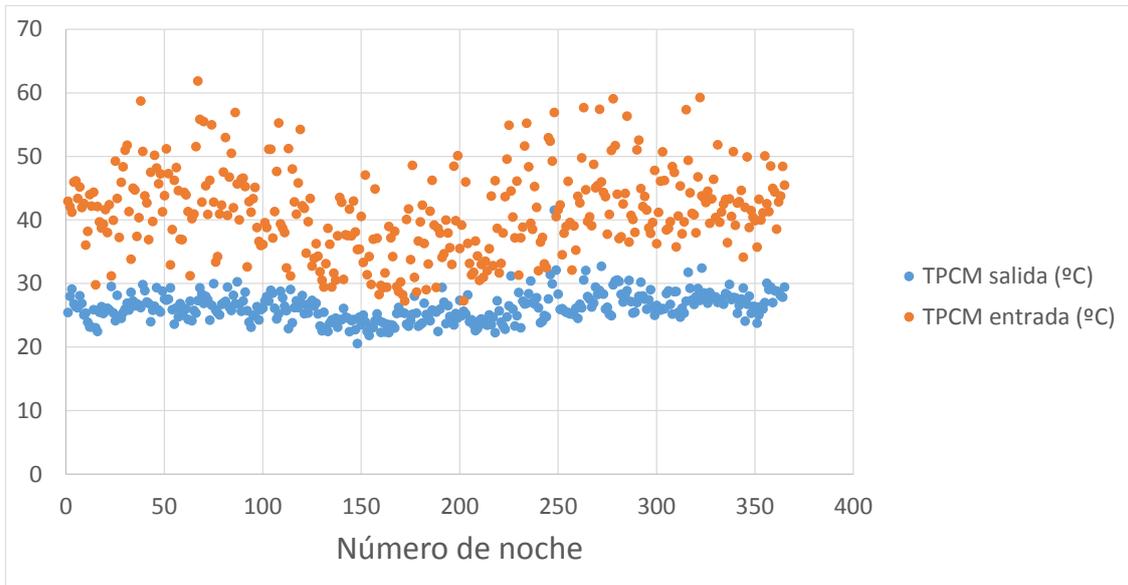
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se aprecia en el grupo de gráficas que ninguna de las temperaturas alcanza la temperatura establecida por la  $T_{melt}$ , debido a que la temperatura media ambiente nocturna supera los 15 °C establecidos.



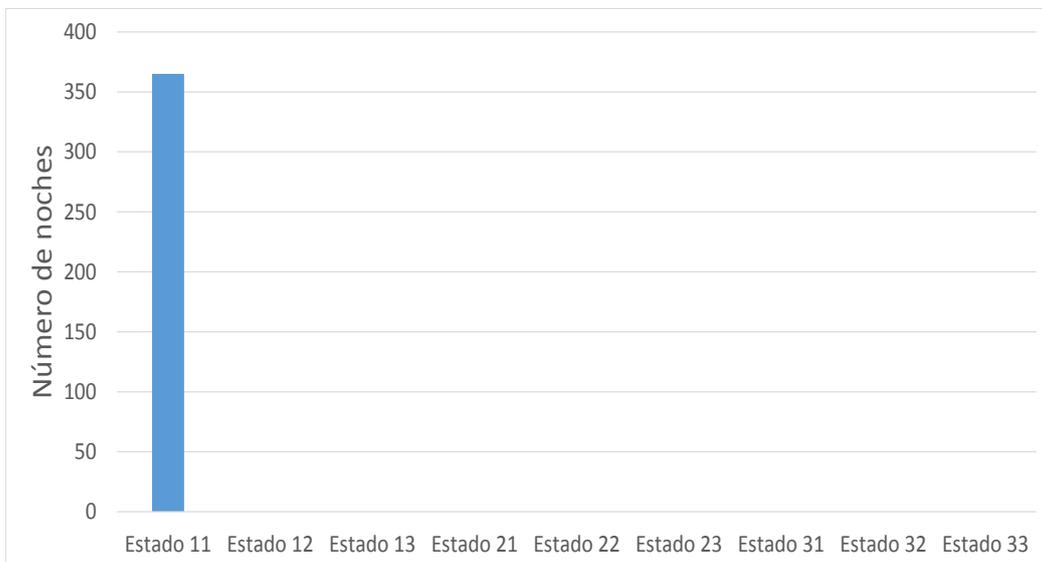
**Figura 5: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se observa en la figura 5 que para un rango de temperaturas ambiente media de 21 a 29 °C, los saltos de temperatura DELTAT son más abundantes en el rango de 6 °C a 21 °C.



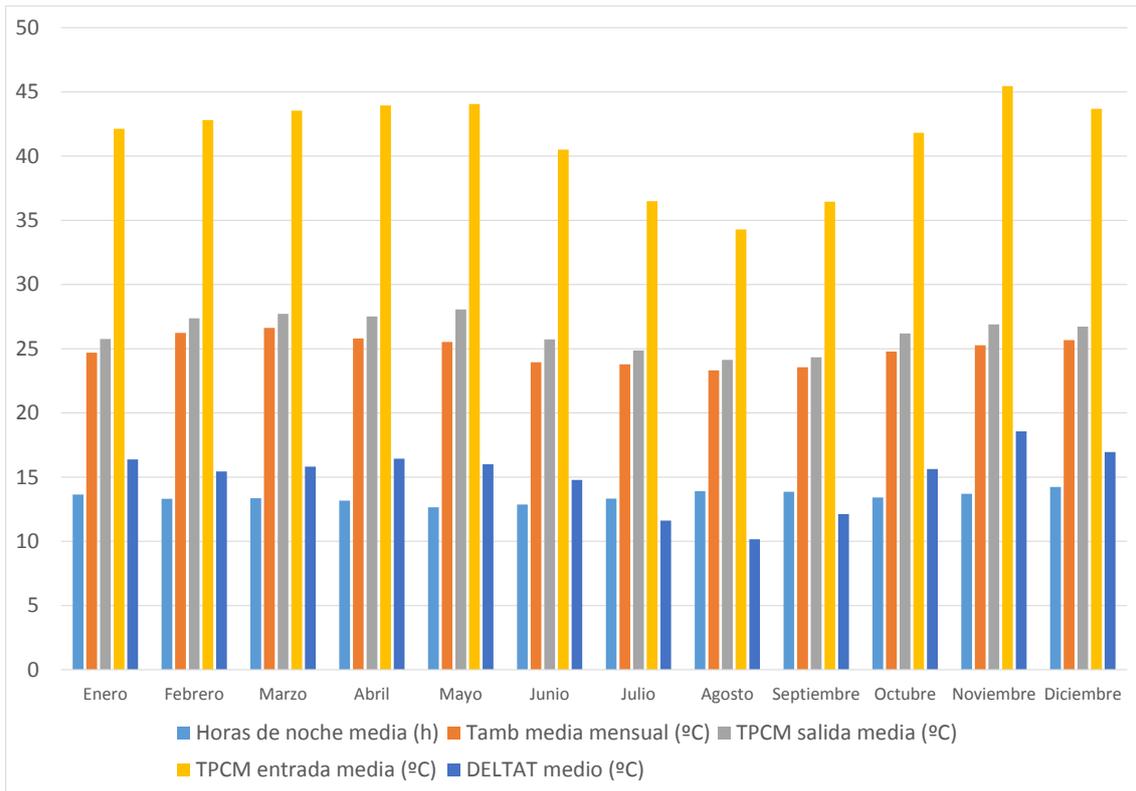
**Figura 6: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se concentran los valores de la temperatura del PCM a la salida en torno al rango 20-30 °C, mientras la temperatura del PCM a la entrada varía entre los 30 °C y los 60 °C.



**Figura 7: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

De nuevo, no hay transiciones de un estado a otro debido a la temperatura impuesta.



**Figura 8:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

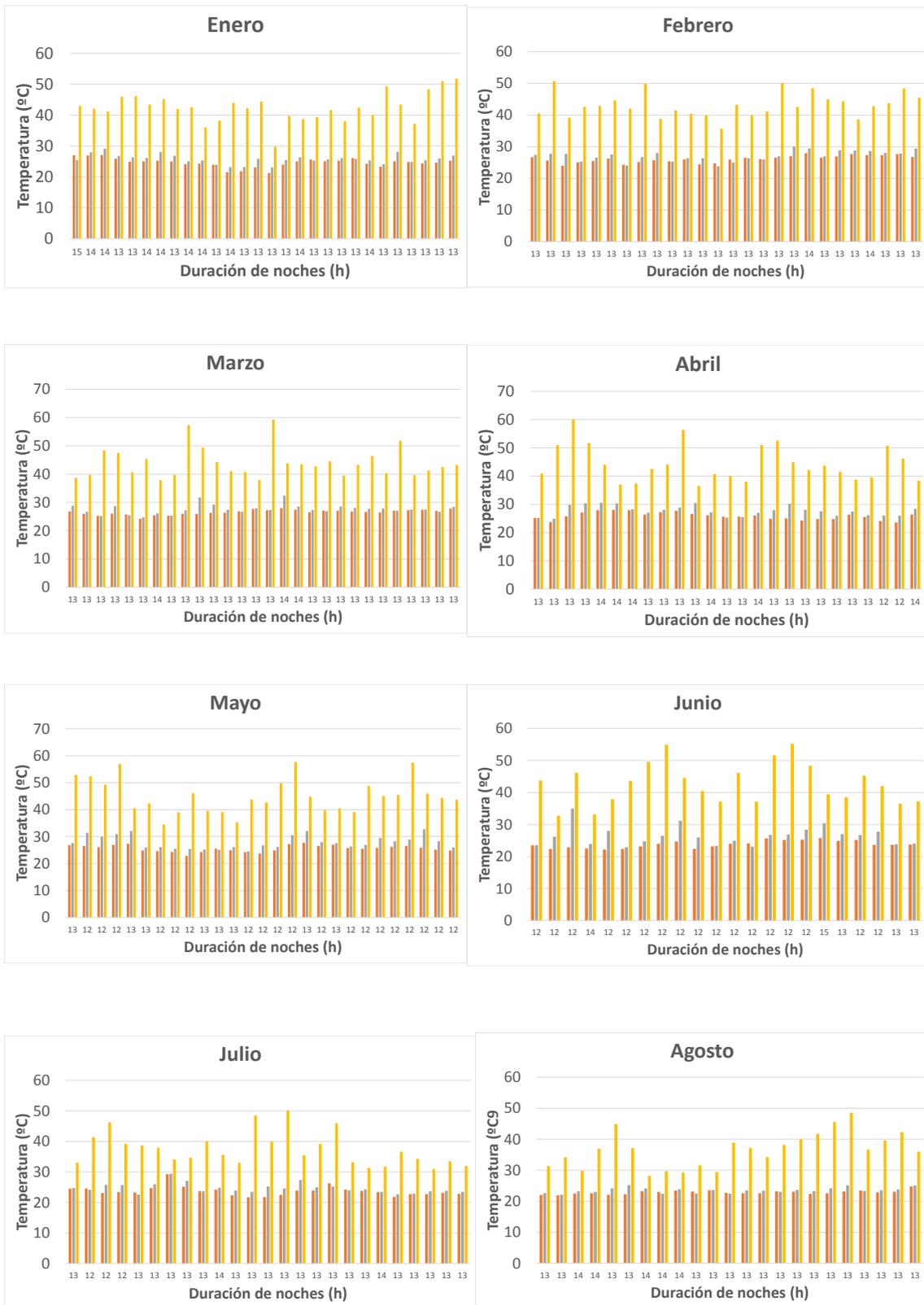
En la figura 8 se puede ver que las temperaturas de PCM a la entrada y la salida media mensual, y que la temperatura ambiente media mensual superan la temperatura impuesta, por lo que no se aprecia ningún efecto significativo.

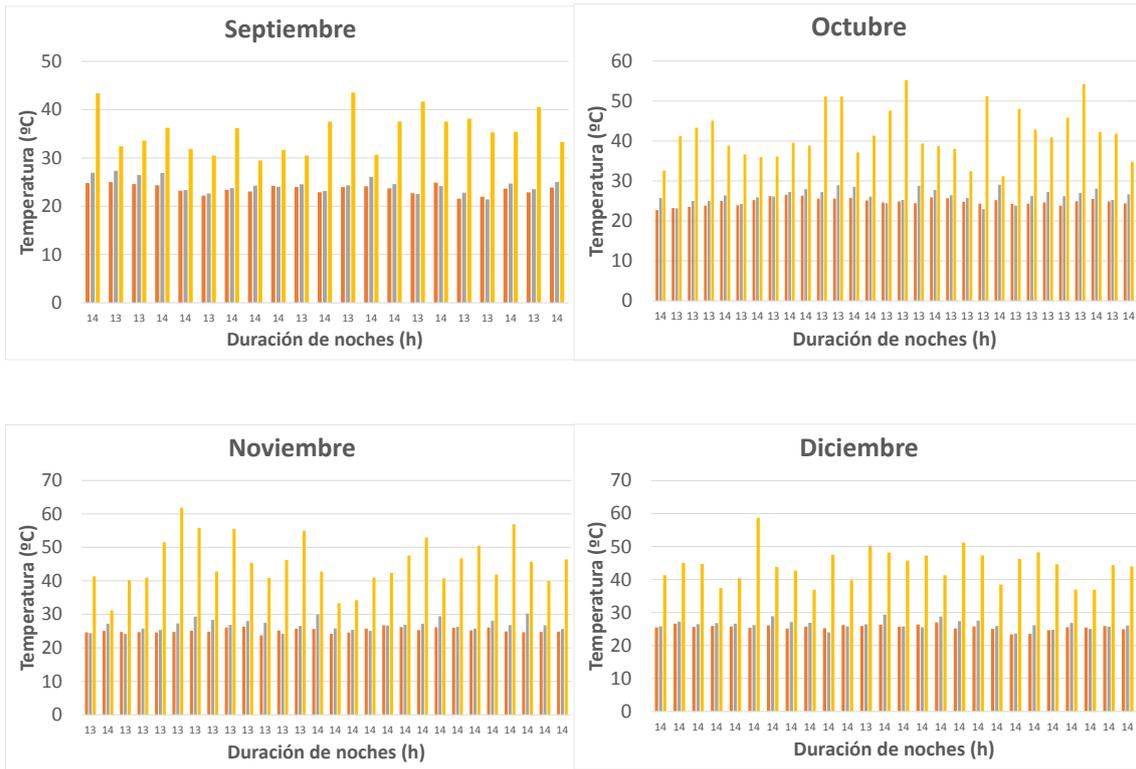
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	25,75	42,13	16,38
<b>Febrero</b>	13,31	26,23	27,37	42,81	15,44
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	27,72	43,53	15,81
<b>Abril</b>	13,17	25,80	27,51	43,94	16,43
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	28,06	44,06	16,00
<b>Junio</b>	12,87	23,95	25,72	40,51	14,79
<b>Julio</b>	13,32	23,79	24,87	36,49	11,62
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	24,13	34,30	10,16
<b>Septiembre</b>	13,87	23,55	24,33	36,45	12,11
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	26,19	41,82	15,62
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	26,89	45,45	18,56
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	26,73	43,68	16,95

**Tabla 2:** datos promediados para la representación de la figura 8 para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Lo anterior se justifica en la tabla 2, donde se puede ver que todas las temperaturas superan con creces la  $T_{melt}$  impuesta.

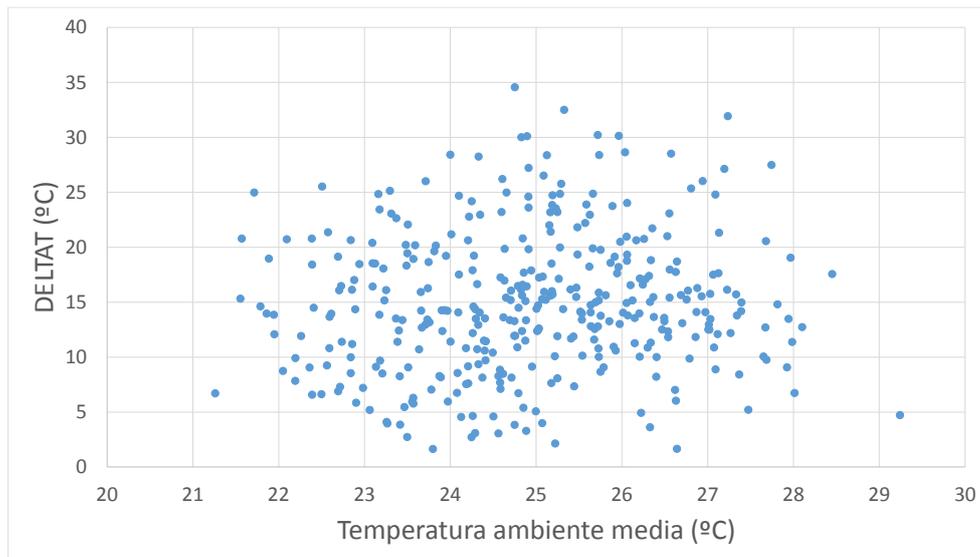
$T_{melt} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$





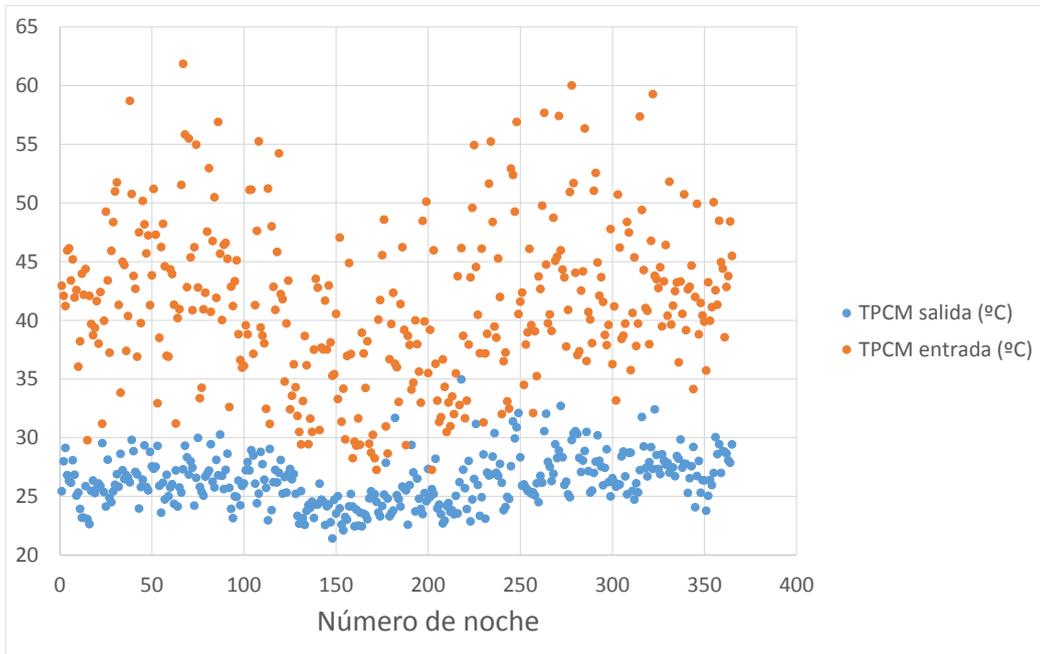
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Se puede ver en el grupo de gráficas que la temperatura melt impuesta se acerca a la temperatura ambiente media nocturna, pero todavía no se consigue ningún efecto considerable.



**Figura 9:** representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Los valores de temperatura ambiente media oscilan entre los 21 °C y 30 °C, mientras que los saltos de temperatura DELTAT son más abundantes en el rango de 5 °C a 25 °C.



**Figura 10:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

En la figura 10, se puede apreciar con detalle que los valores de la temperatura del PCM a la salida se mueven entre 20 °C y 30 °C, mientras que para la temperatura del PCM a la entrada algunos valores están dentro de ese rango y otros entre 30 °C y 60 °C.



**Figura 11:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se aprecia mínimamente que hay unas transiciones del estado 1 al estado 2, luego eso es señal de que se está acercando a una temperatura melt óptima, aun siendo ínfimo los cambios.

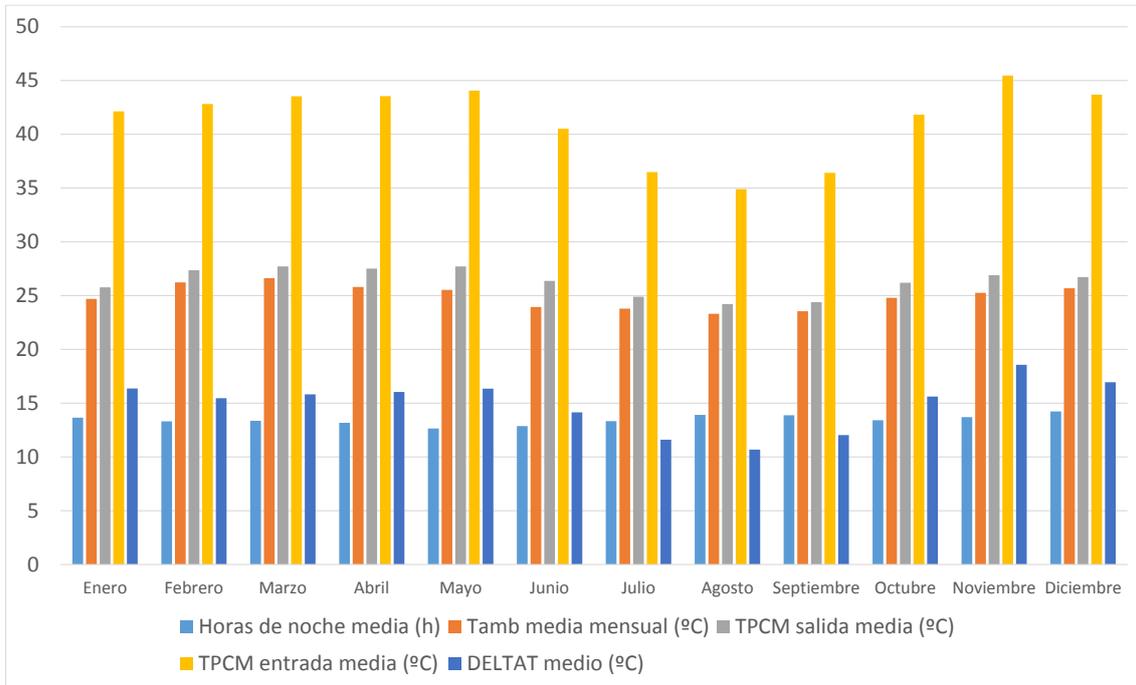


Figura 12: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 20 °C.

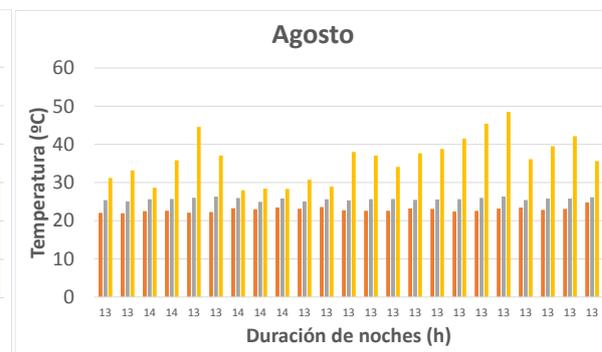
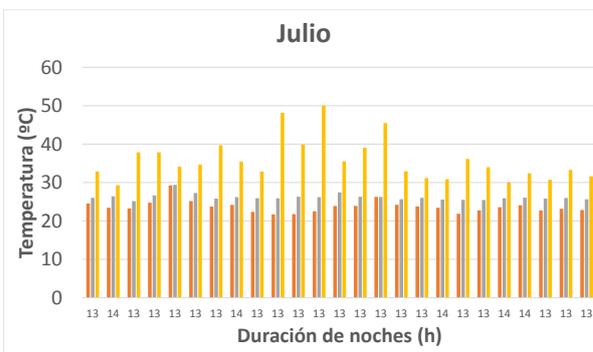
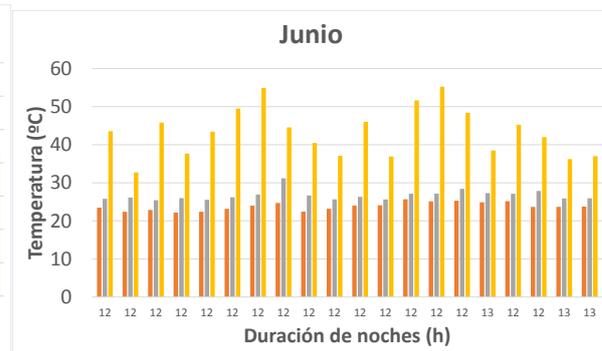
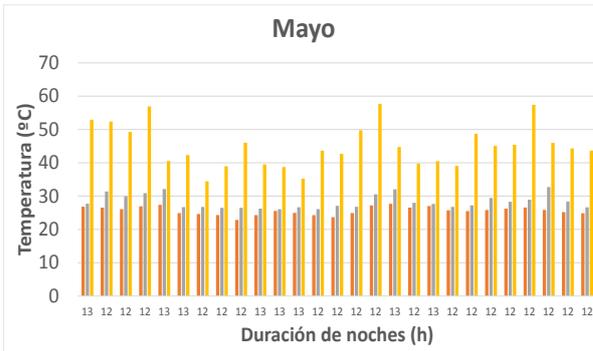
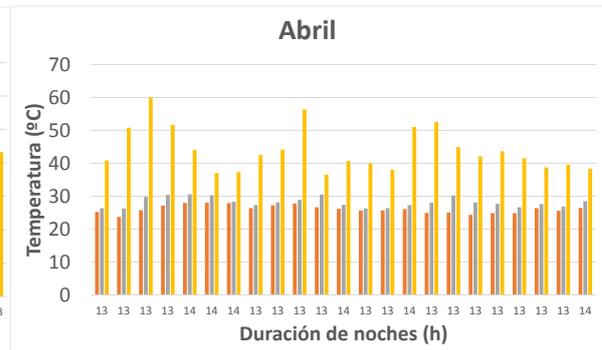
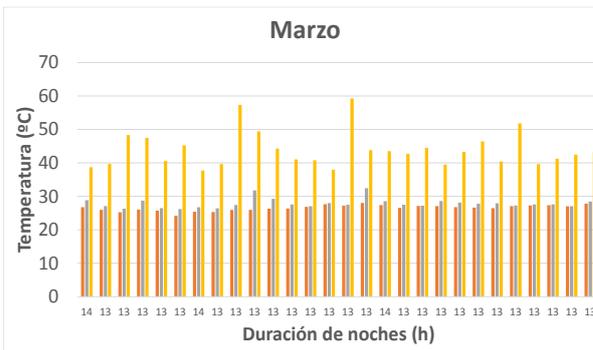
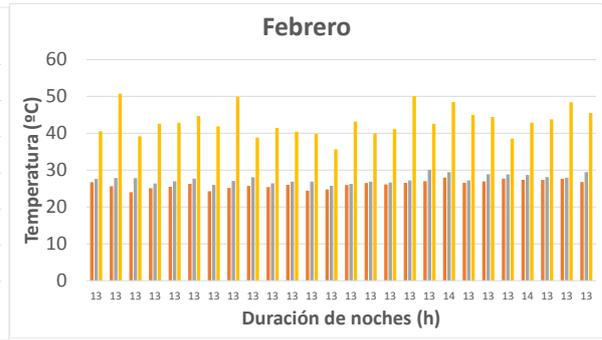
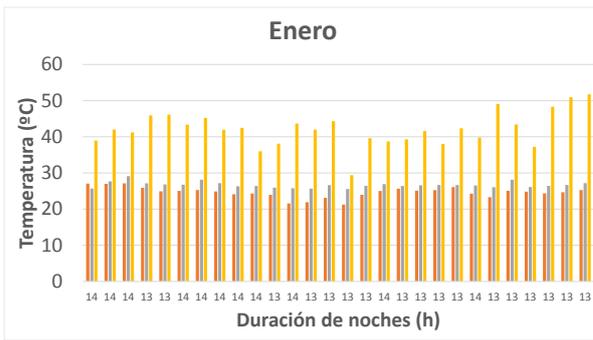
No se aprecian efectos significativos en las temperaturas como se muestra en la figura 12. Se parece a las anteriores mostradas.

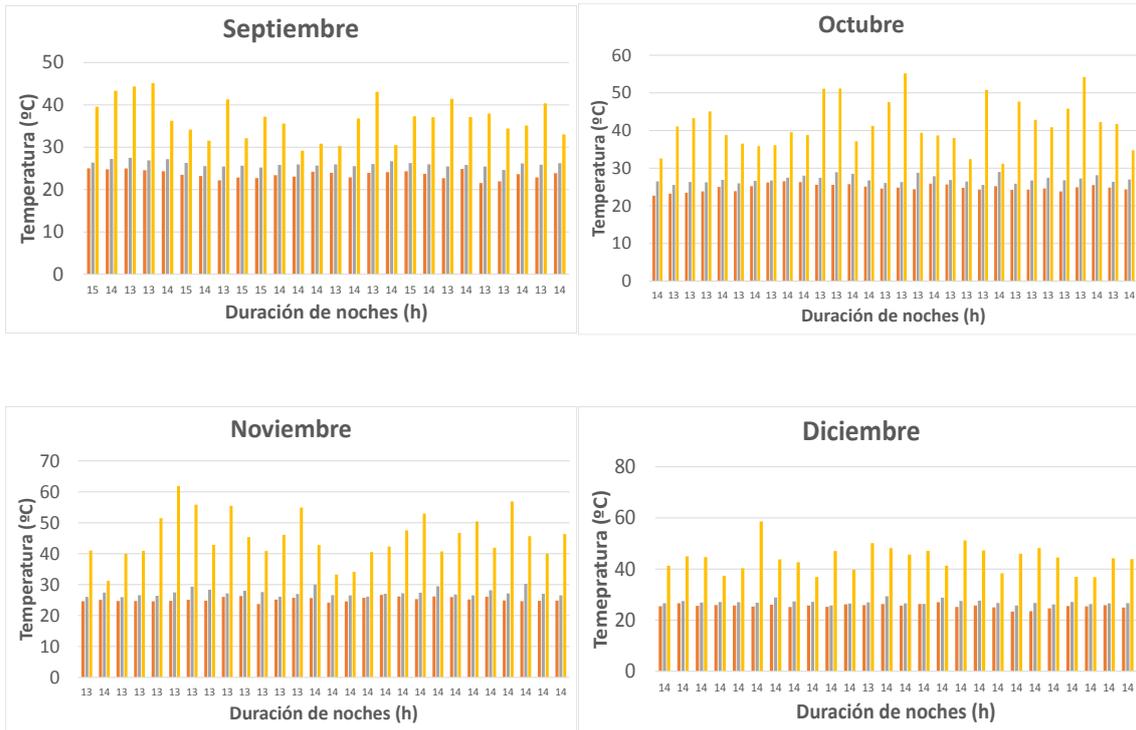
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	25,76	42,13	16,37
<b>Febrero</b>	13,31	26,23	27,35	42,81	15,46
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	27,72	43,53	15,81
<b>Abril</b>	13,17	25,80	27,51	43,54	16,03
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	27,72	44,06	16,34
<b>Junio</b>	12,87	23,95	26,36	40,51	14,15
<b>Julio</b>	13,32	23,79	24,89	36,49	11,60
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	24,22	34,90	10,68
<b>Septiembre</b>	13,87	23,55	24,39	36,42	12,03
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	26,20	41,82	15,62
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	26,89	45,45	18,56
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	26,73	43,68	16,95

Tabla 3: datos promediados para la representación de la figura 12 para una Tmelt de 20 °C.

En la tabla 3, se puede ver que, de nuevo, todas las temperaturas medias mensuales superan la Tmelt impuesta de 20 °C.

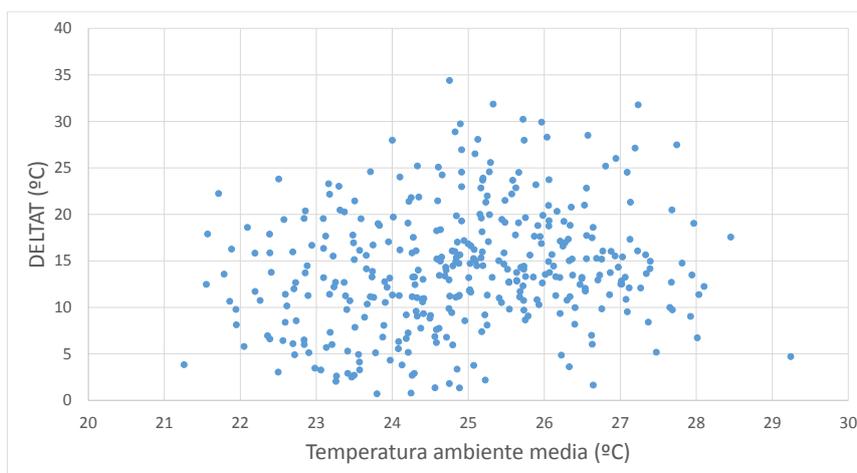
$T_{melt} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$





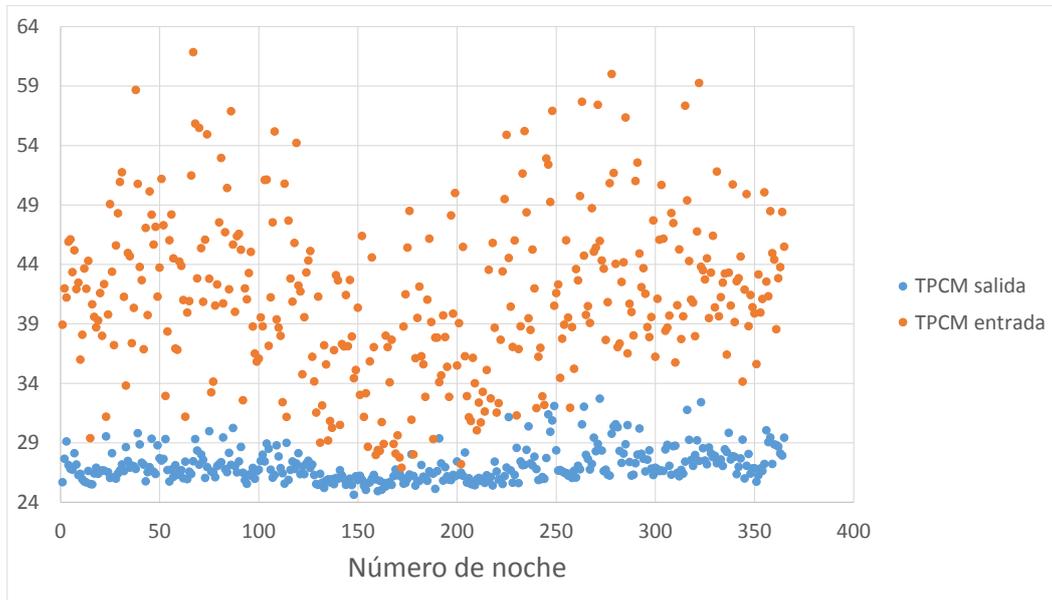
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Para  $T_{melt}$  intermedias, la temperatura del PCM a la salida tiende a equilibrarse en torno a ese valor y esto es debido al efecto de la temperatura ambiente nocturna el cual permite recuperarse parcialmente al PCM.



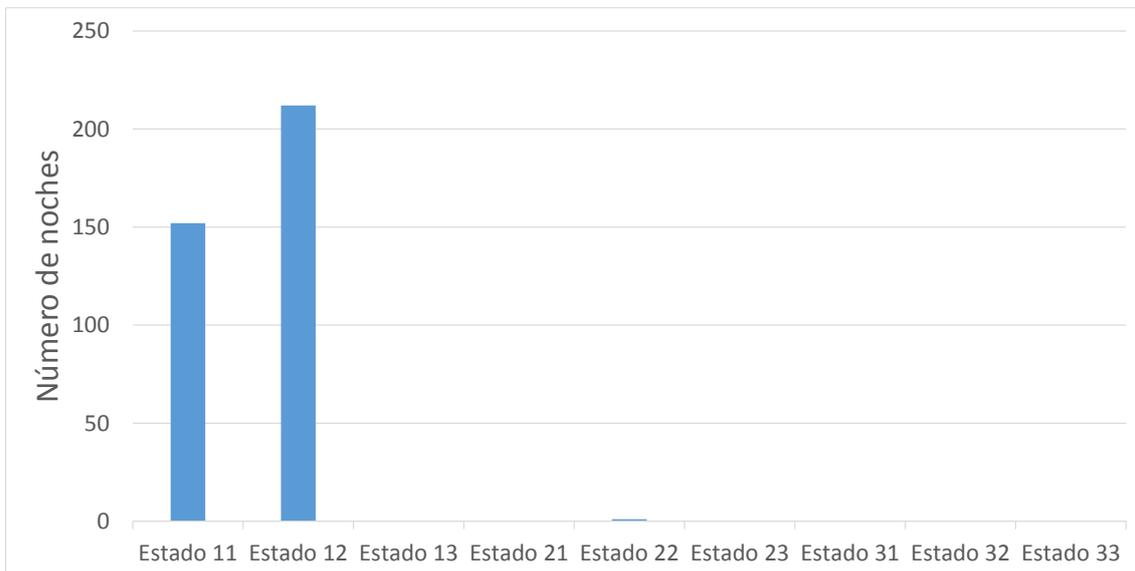
**Figura 13: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Los valores se concentran entre los 22 °C y los 27 °C para la temperatura ambiente media, y entre 5 °C y 25 °C para el salto de temperatura DELTAT.



**Figura 14:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Igual que las anteriores gráficas, en la figura 14 la temperatura de PCM a la salida se concentra en el rango de 24 °C a 29 °C. La temperatura de PCM a la entrada está dispersa y se mueve en los rangos de 27 °C a 63 °C.



**Figura 15:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Comienzan las transiciones de estados como se aprecia en la figura 15, como se había estado diciendo para  $T_{melt} = 20$  °C. Se puede apreciar muy pocos estados 22.

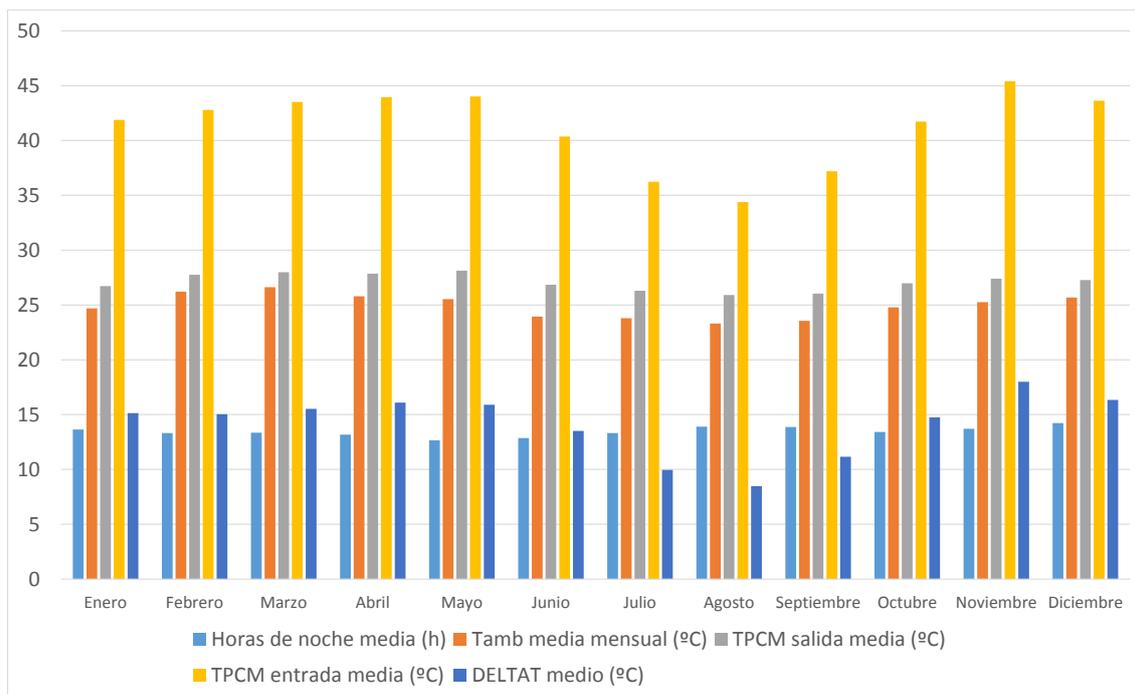


Figura 16: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

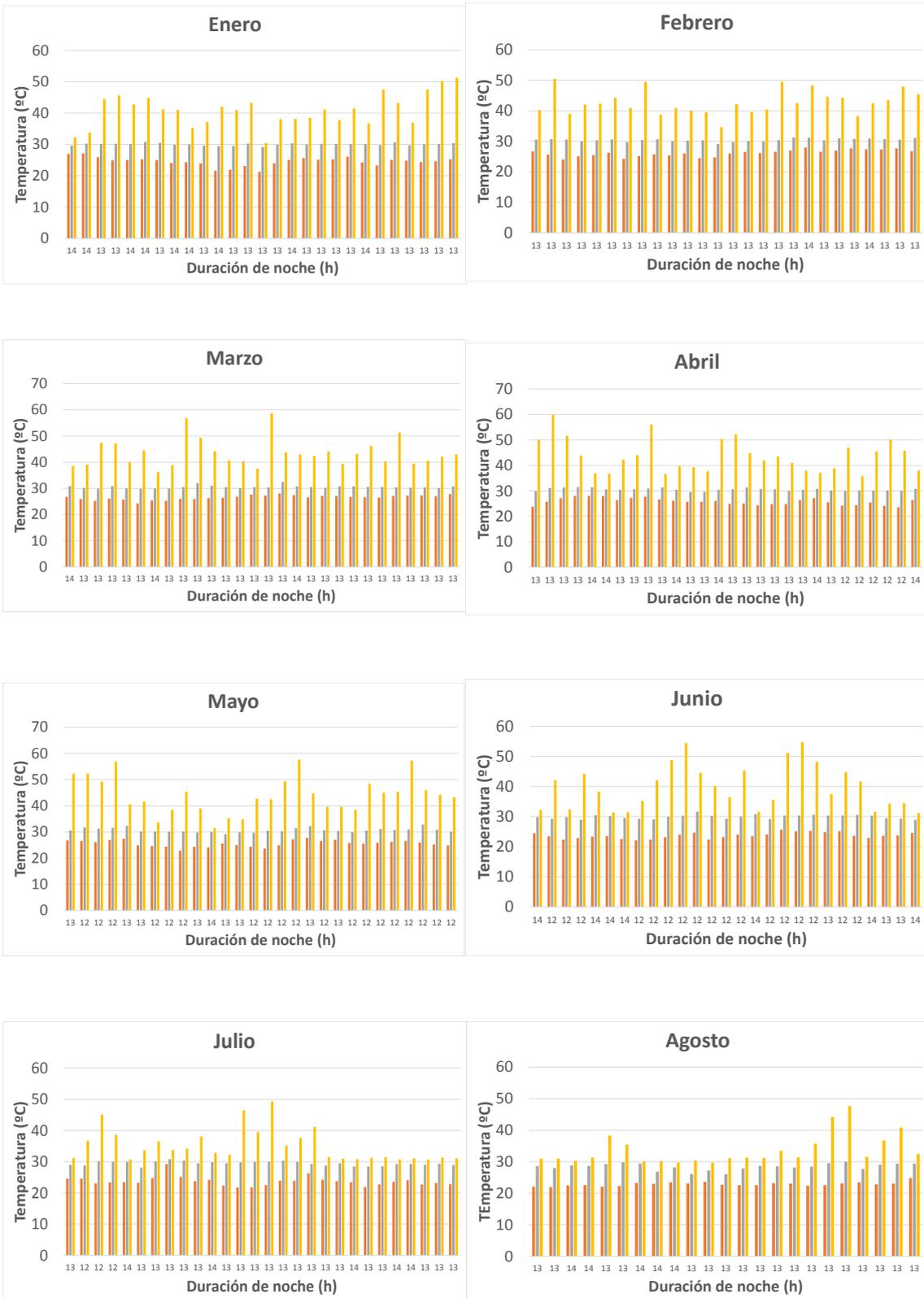
Se puede apreciar, en la figura 16, que las temperaturas de salida del PCM media mensual se acercan bastante a la temperatura melt impuesta, debido a que este valor casi coincide con la temperatura ambiente media mensual nocturna.

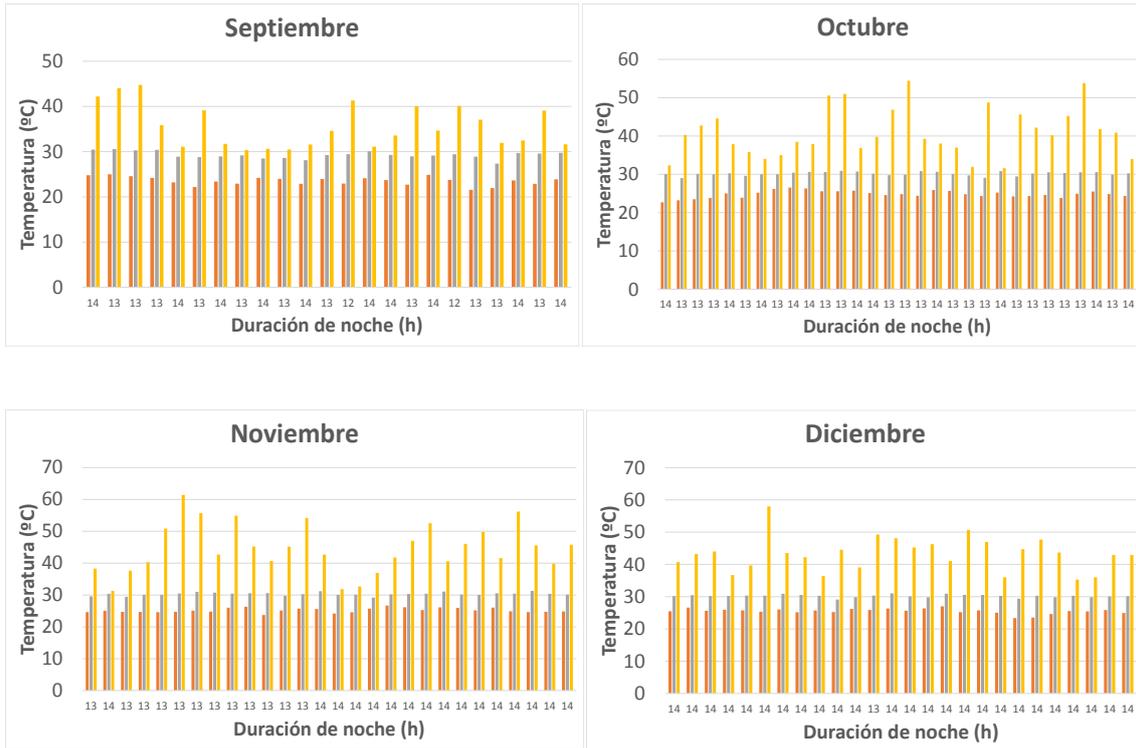
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	26,73	41,87	15,14
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	27,76	42,79	15,03
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	27,99	43,52	15,53
<b>Abril</b>	13,17	25,80	27,86	43,95	16,10
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	28,13	44,02	15,89
<b>Junio</b>	12,87	23,95	26,85	40,37	13,51
<b>Julio</b>	13,32	23,79	26,30	36,24	9,95
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	25,91	34,38	8,47
<b>Septiembre</b>	13,87	23,55	26,04	37,20	11,16
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	26,98	41,72	14,75
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	27,40	45,40	17,99
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	27,28	43,62	16,34

Tabla 4: datos promediados para la representación de la figura 16 para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

En la tabla 4 se puede ver que los valores de la temperatura mensual media del PCM a la salida tienen valores muy aproximados a la temperatura de cambio de fase seleccionada.

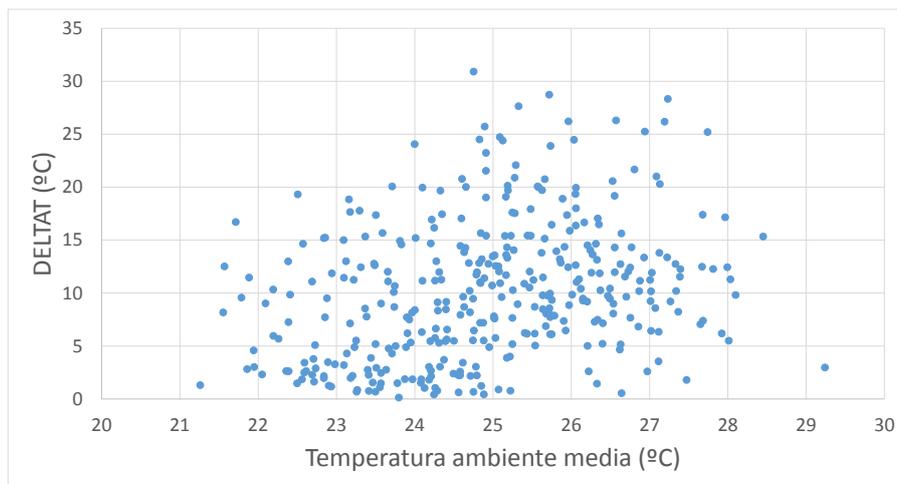
$T_{melt} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$





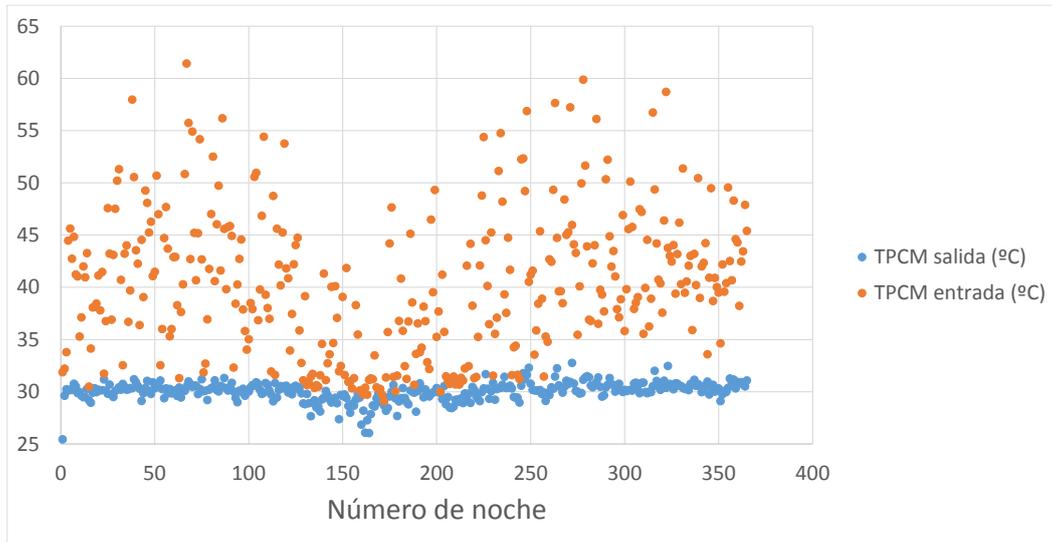
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Para una  $T_{melt}$  de 30 °C se observa que la temperatura del PCM a la salida alcanza ese valor en todos los meses independientemente de la temperatura ambiente nocturna. El efecto nocturno se hace claramente necesario para conseguir llegar a las temperaturas impuestas.



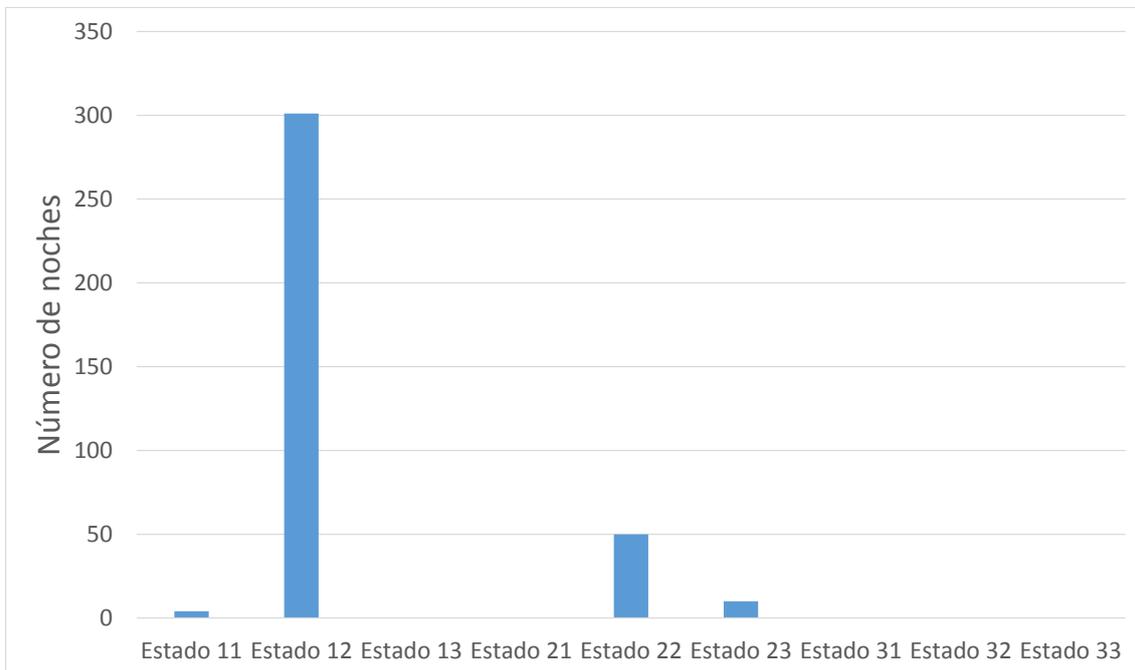
**Figura 17: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA $T$ ) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Los valores de la temperatura ambiente media no varían con respecto a los que se han estado viendo, mientras que los saltos de temperatura DELTAT se concentran en el rango de 0 °C a 15 °C.



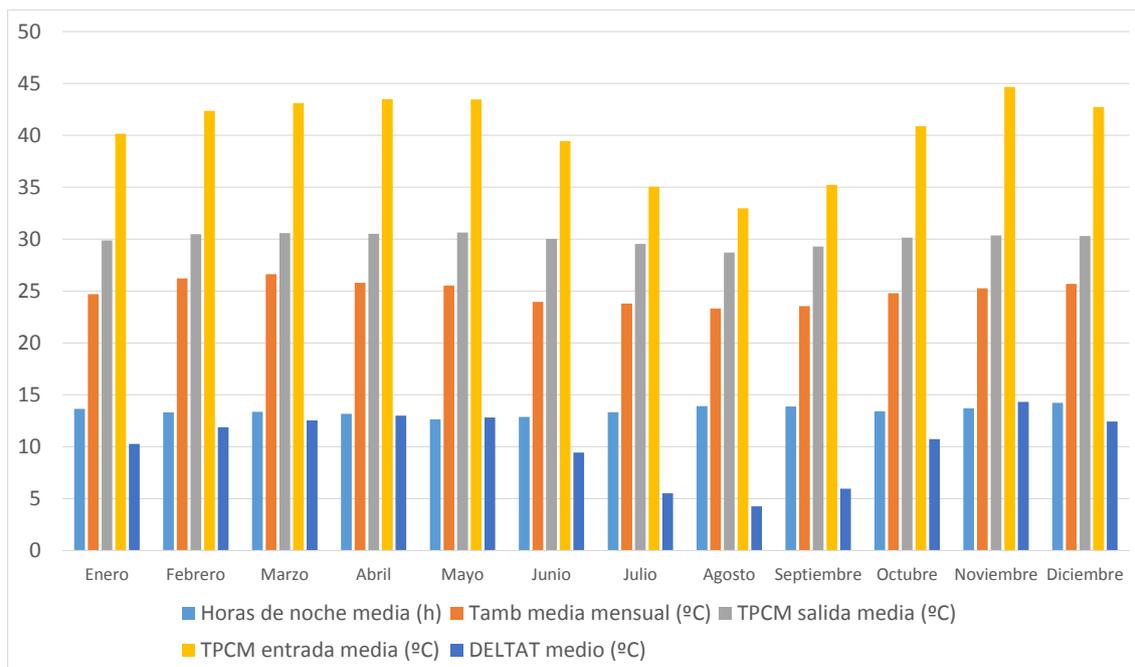
**Figura 18:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Se pone de manifiesto que la temperatura melt impuesta está siendo óptima debido a que la temperatura del PCM a la salida se mantiene en ese valor.



**Figura 19:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Como se ve, ya empiezan a producirse más transiciones entre otros estados.



**Figura 20:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 30 °C.

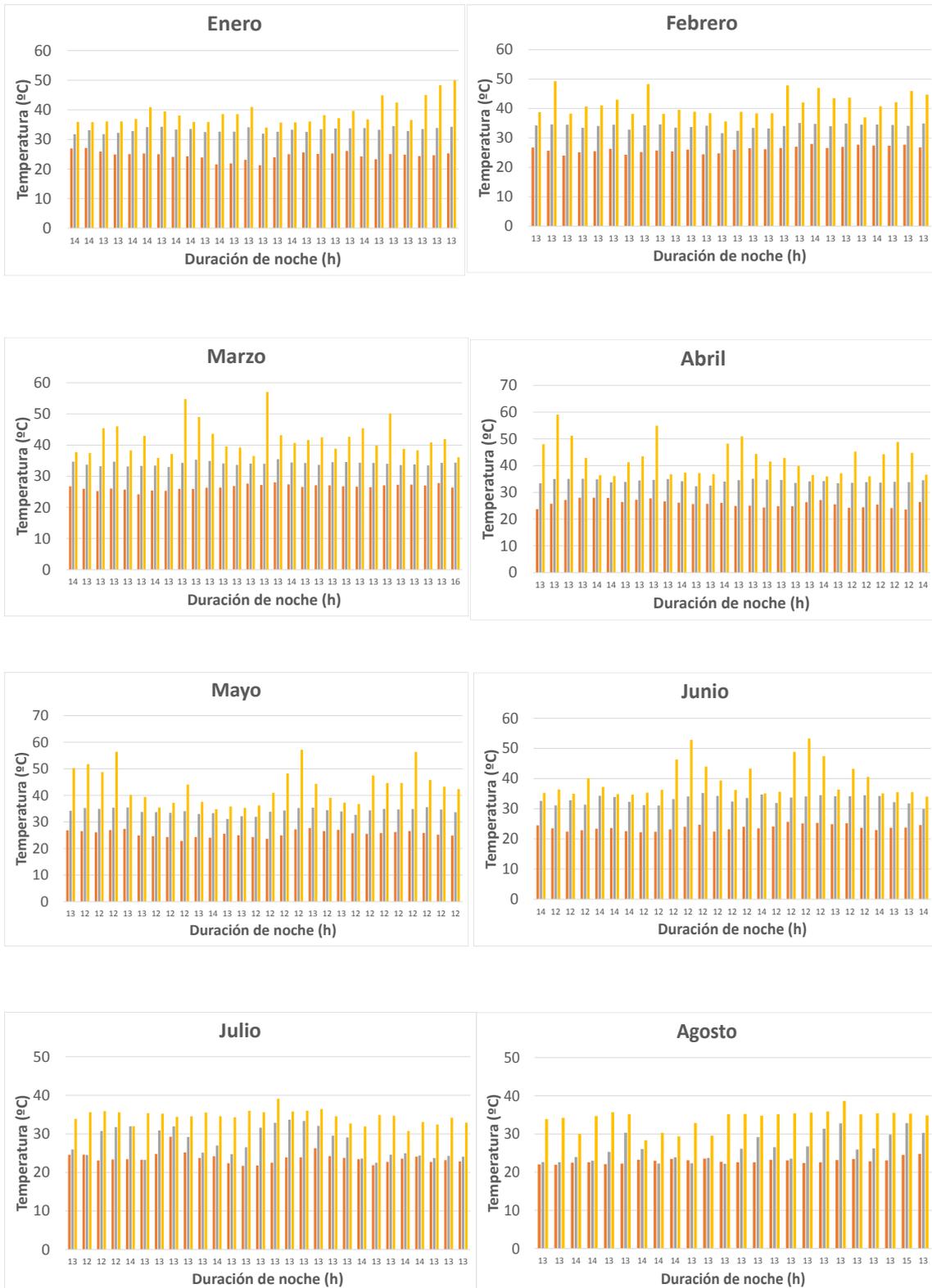
Se observa claramente que la temperatura del PCM a la salida media mensual tiene el mismo valor que la temperatura melt impuesta en casi todos los meses. El efecto nocturno se va haciendo significativo.

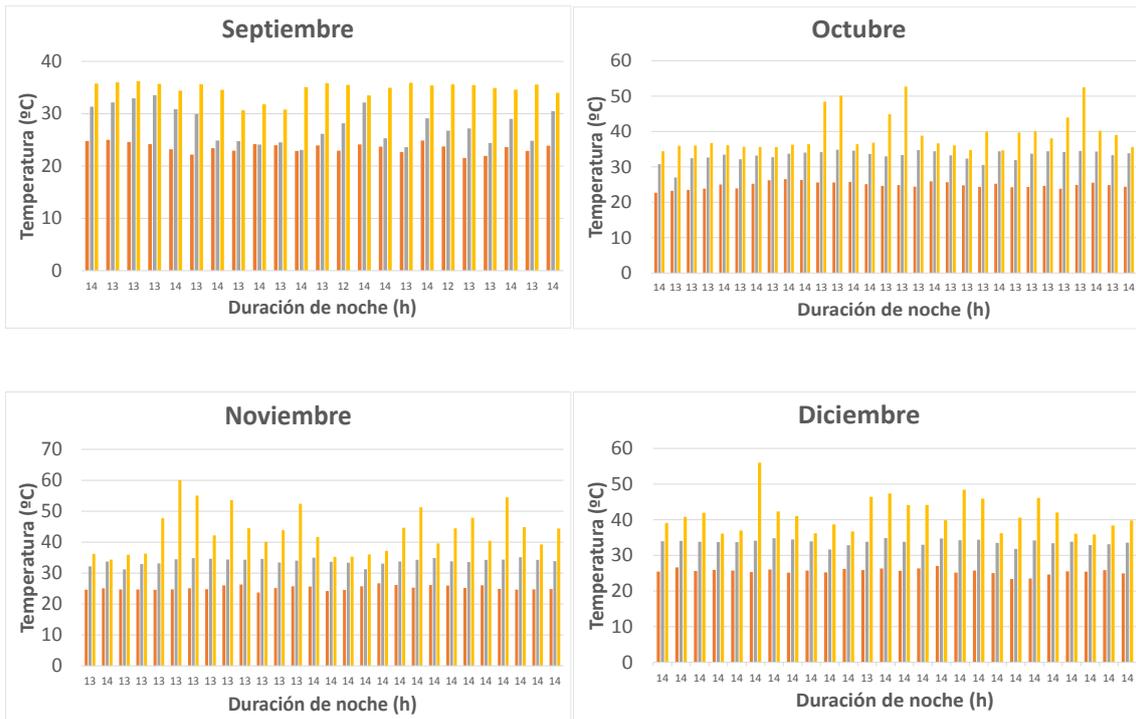
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	29,88	40,14	10,26
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	30,48	42,37	11,88
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	30,58	43,11	12,53
<b>Abril</b>	13,17	25,80	30,51	43,49	12,98
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	30,63	43,45	12,82
<b>Junio</b>	12,87	23,95	30,01	39,45	9,44
<b>Julio</b>	13,32	23,79	29,53	35,05	5,51
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	28,72	32,97	4,25
<b>Septiembre</b>	13,87	23,54	29,29	35,24	5,95
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	30,15	40,87	10,72
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	30,35	44,67	14,32
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	30,31	42,74	12,43

**Tabla 5:** datos promediados para la representación de la figura 20 para una Tmelt de 30 °C.

En la tabla 5 se aprecian cómo los valores de la temperatura del PCM a la salida están muy cerca de la Tmelt seleccionada.

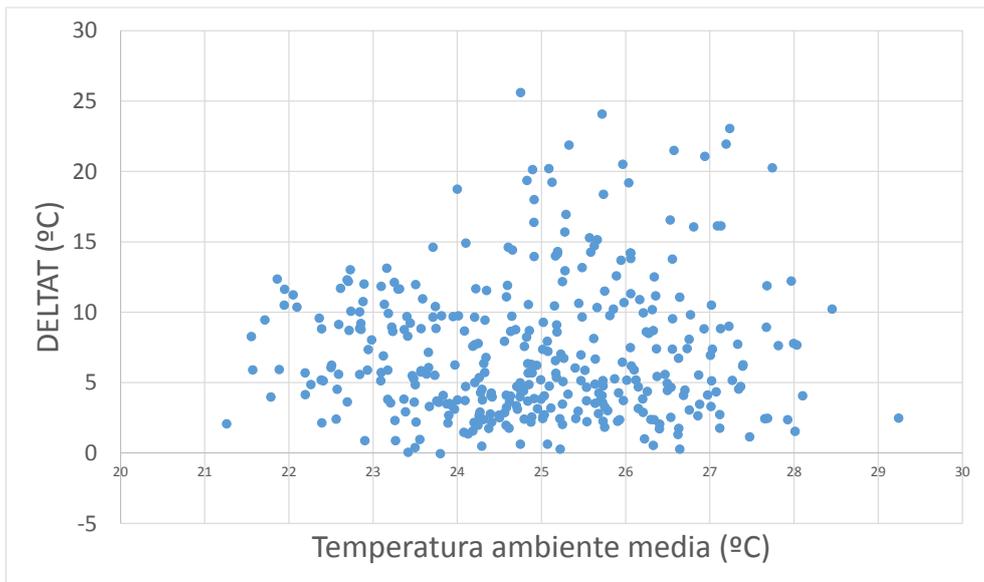
$T_{melt} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$





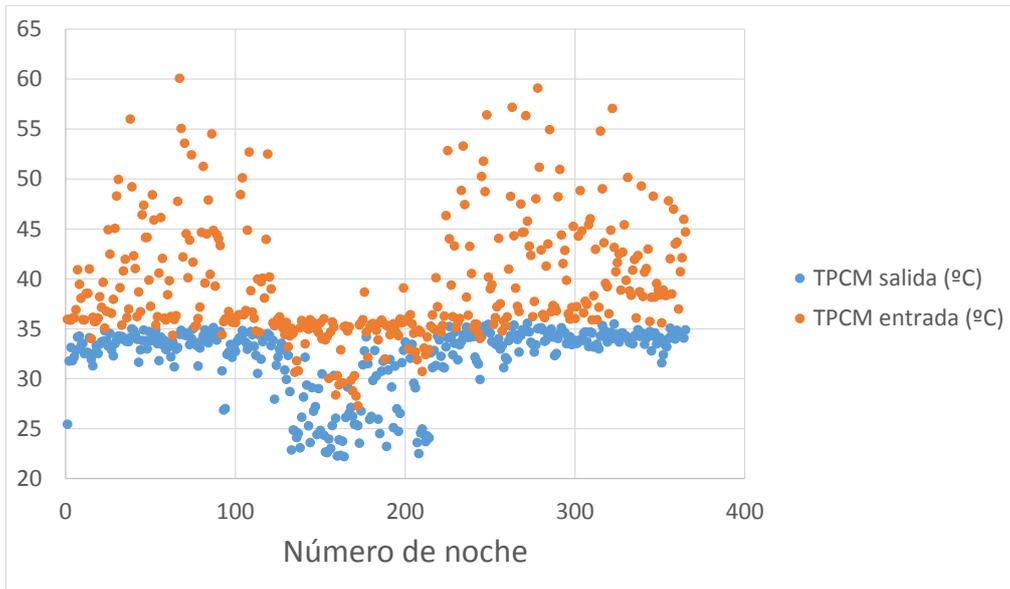
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Para la  $T_{melt}$  seleccionada de 35 °C se puede empezar a ver que la temperatura del PCM a la entrada comienza a llegar a dicha temperatura seleccionada.



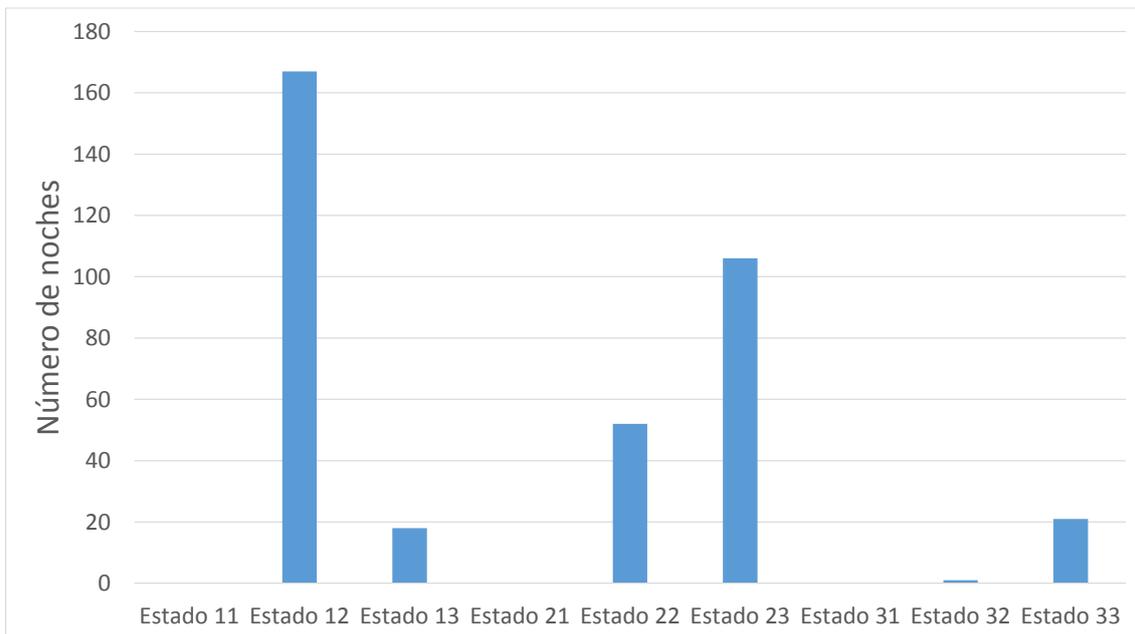
**Figura 21: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Los valores de DELTAT se ven modificados en saltos más pequeños y concentrados en el rango de 0 °C a 15 °C.



**Figura 22:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Puede verse que ahora tanto los valores de PCM a la entrada como a la salida se concentran en torno a la temperatura melt impuesta.



**Figura 23:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

En la figura 23 se ver reflejado que ambas temperaturas comienzan a igualarse y que hay más transiciones de estados del PCM.

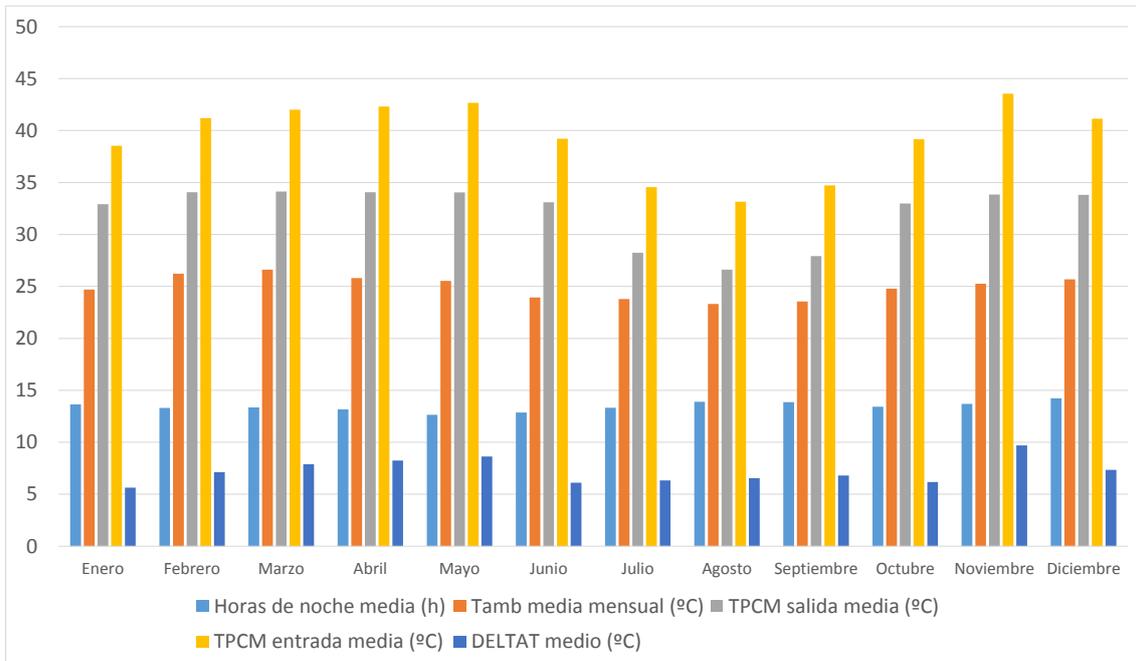


Figura 24: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

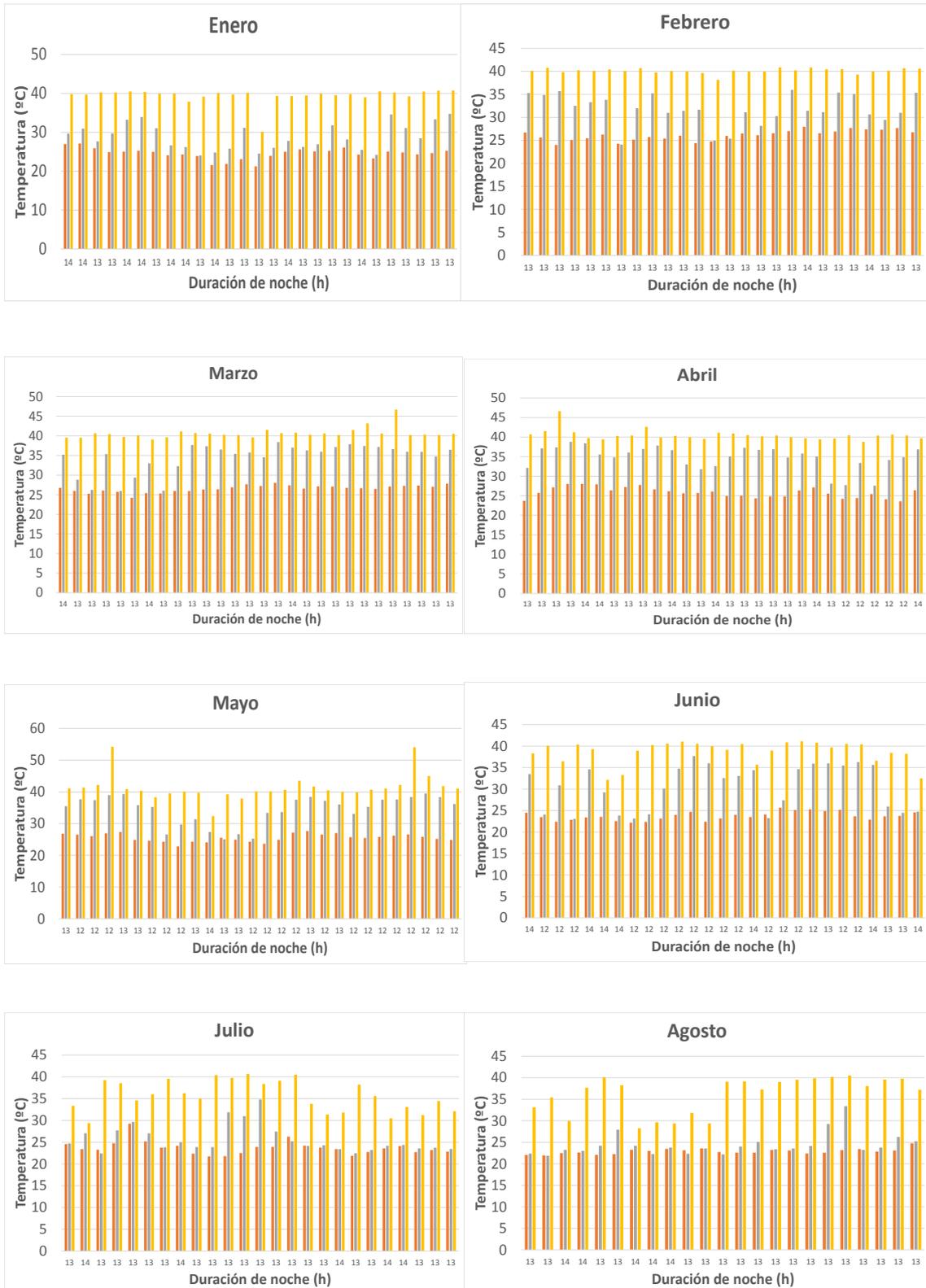
En la figura 24, las temperaturas medias mensuales del PCM a la entrada van acercándose cada vez más a las temperaturas impuestas.

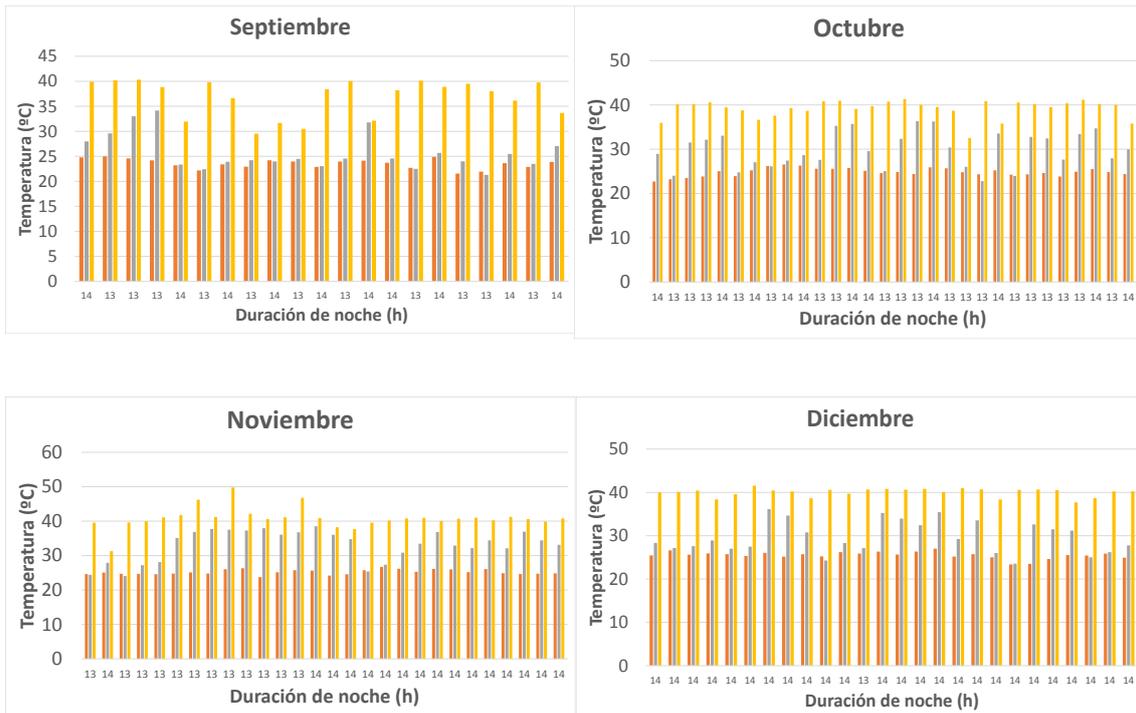
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	32,91	38,54	5,63
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	34,07	41,19	7,12
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	34,13	42,01	7,88
<b>Abril</b>	13,17	25,80	34,07	42,32	8,25
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	34,04	42,67	8,62
<b>Junio</b>	12,87	23,95	33,10	39,21	6,11
<b>Julio</b>	13,32	23,79	28,24	34,56	6,32
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	26,61	33,16	6,54
<b>Septiembre</b>	13,87	23,54	27,92	34,73	6,80
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	32,98	39,16	6,18
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	33,85	43,55	9,70
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	33,81	41,15	7,34

Tabla 6: datos promediados para la representación de la figura 24 para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Lo descrito en la figura 24, puede verse reflejado en los valores de la temperatura media mensual del PCM a la salida de la tabla 6.

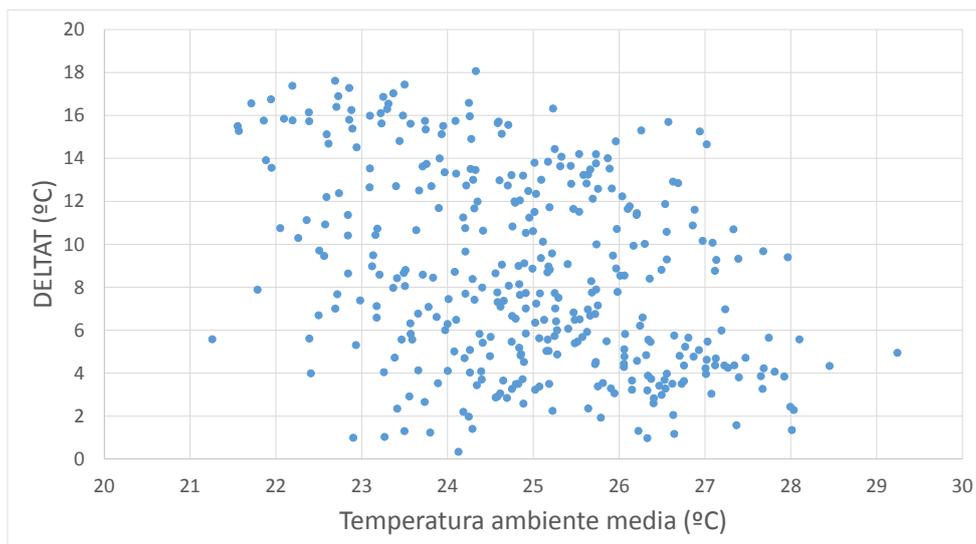
$T_{melt} = 40\text{ }^\circ\text{C}$





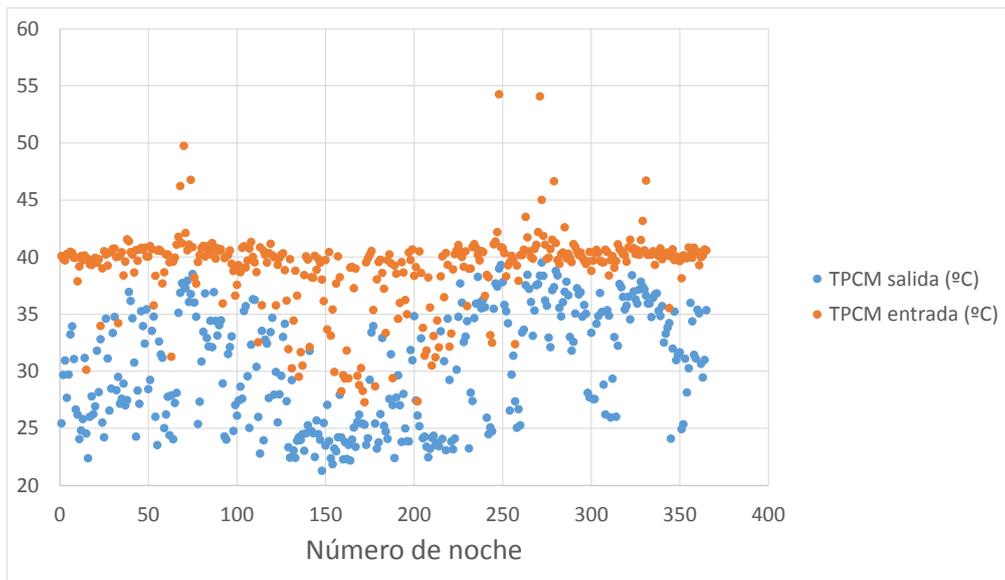
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

La temperatura del PCM a la entrada alcanza la temperatura impuesta en todos los meses, mientras que la temperatura del PCM a la salida nunca alcanza dicho valor.



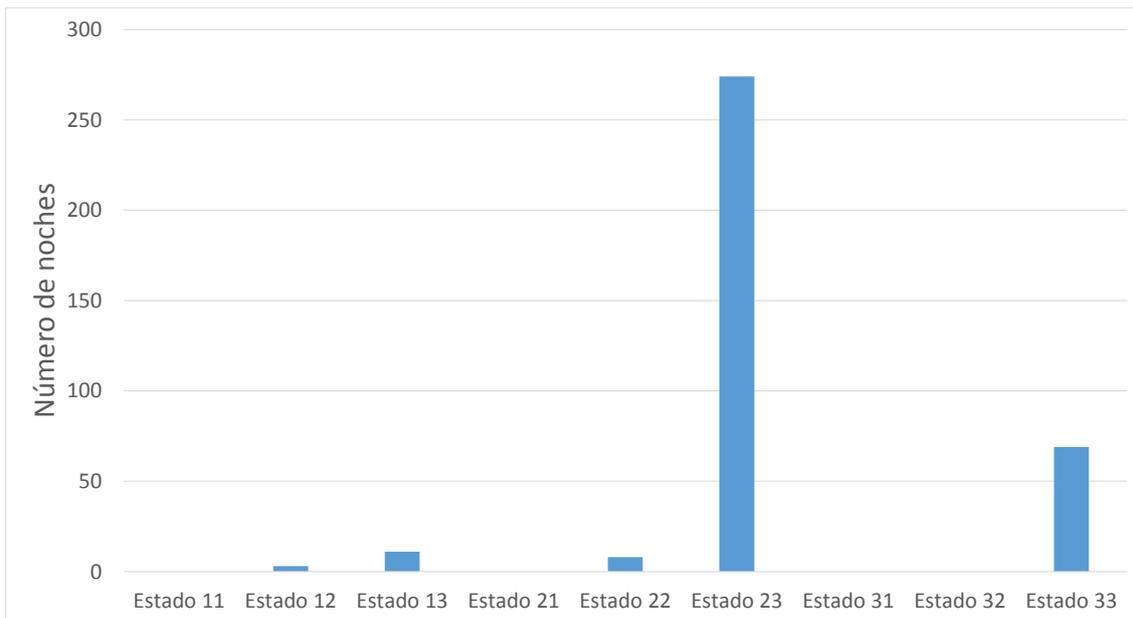
**Figura 25: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Los saltos de temperatura DELAT se hacen mucho más dispersos y en un rango de 0 °C a 18 °C.



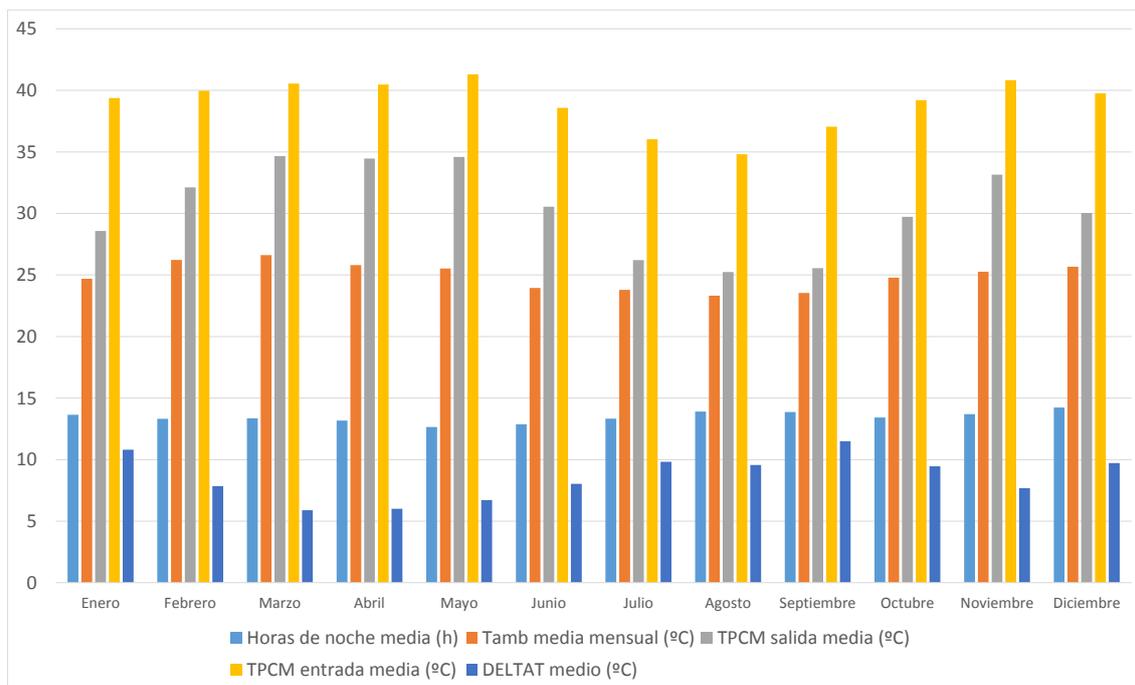
**Figura 26:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Puede verse en la figura 26 que la temperatura del PCM a la entrada se mantiene casi uniforme y constante con la  $T_{melt}$  seleccionada mientras que la temperatura del PCM a la salida adquiere diversos valores entre los intervalos de 20 °C y la  $T_{melt}$  impuesta.



**Figura 27:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Se pone de manifiesto que el estado 23 es el que más predomina para esta temperatura melt.



**Figura 28:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

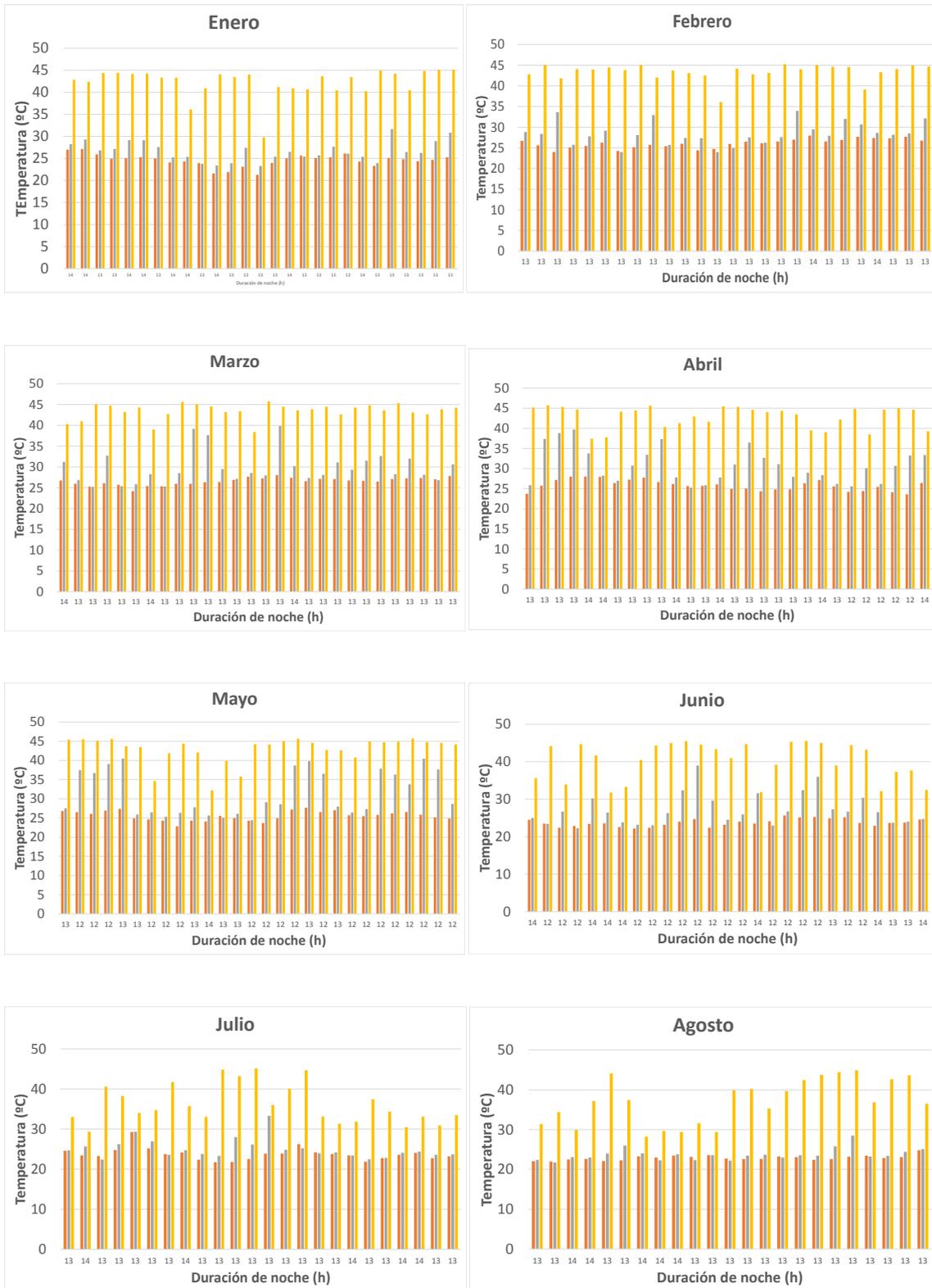
Se pone de manifiesto la temperatura melt de 40 °C con los valores de la temperatura del PCM a la entrada media mensual de la figura 28, en la que estos valores se acercan y alcanzan dicha temperatura.

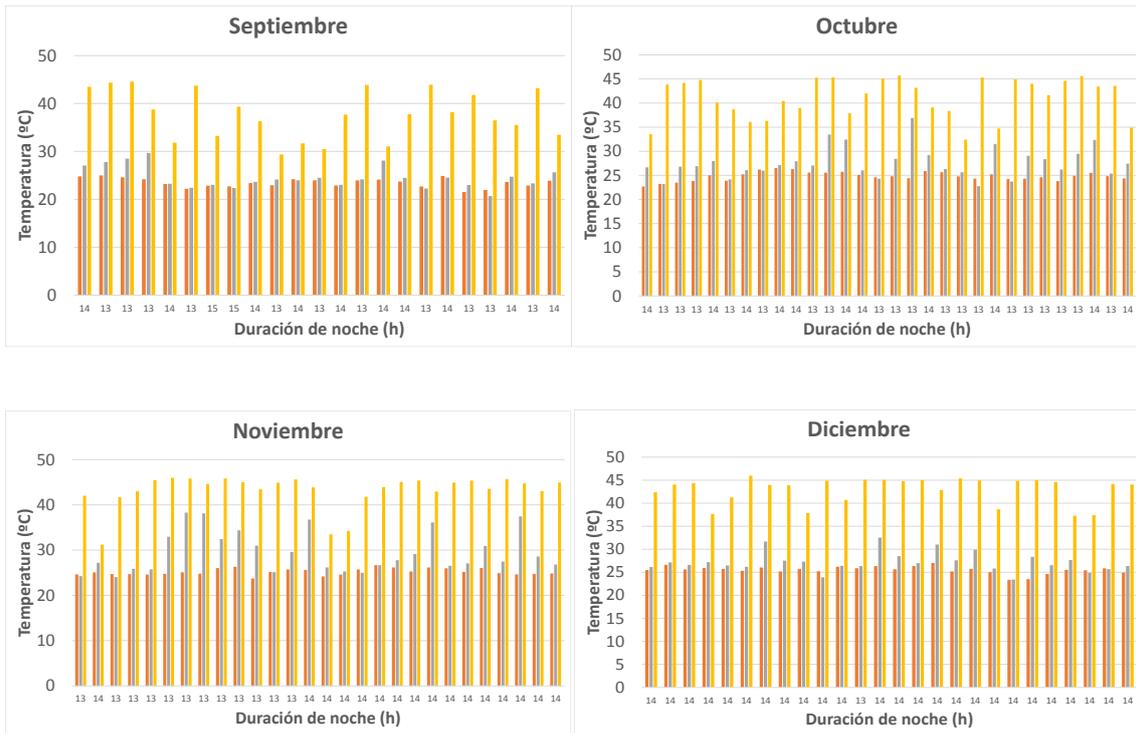
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	28,57	39,38	10,81
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	32,12	39,97	7,84
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	34,66	40,55	5,89
<b>Abril</b>	13,17	25,80	34,46	40,47	6,01
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	34,58	41,29	6,71
<b>Junio</b>	12,87	23,95	30,55	38,58	8,03
<b>Julio</b>	13,32	23,79	26,20	36,03	9,83
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	25,24	34,81	9,57
<b>Septiembre</b>	13,87	23,54	25,55	37,05	11,50
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	29,73	39,19	9,46
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	33,16	40,83	7,68
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	30,04	39,76	9,72

**Tabla 7:** datos promediados para la representación de la figura 28 para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

En la tabla 7, se puede ver que los valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada se aproximan mucho a la temperatura de cambio de fase impuesta.

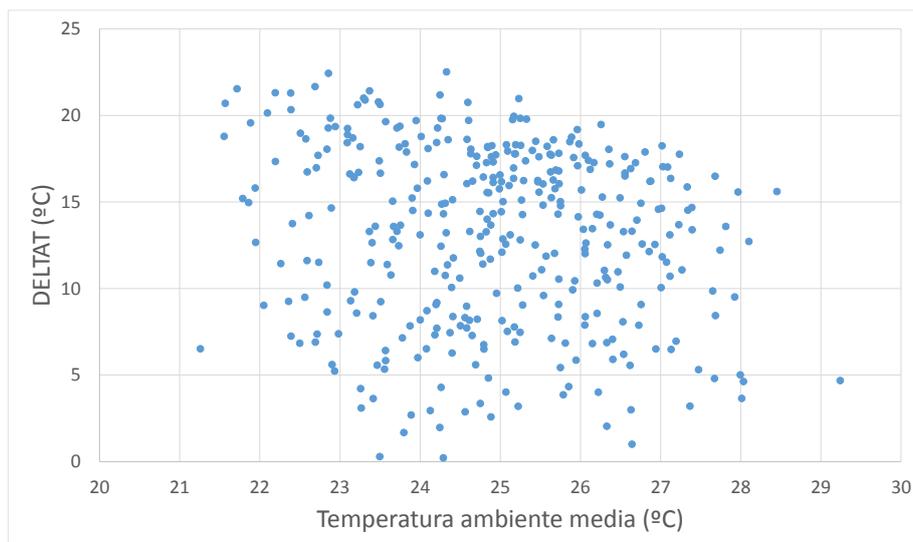
$T_{melt} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$





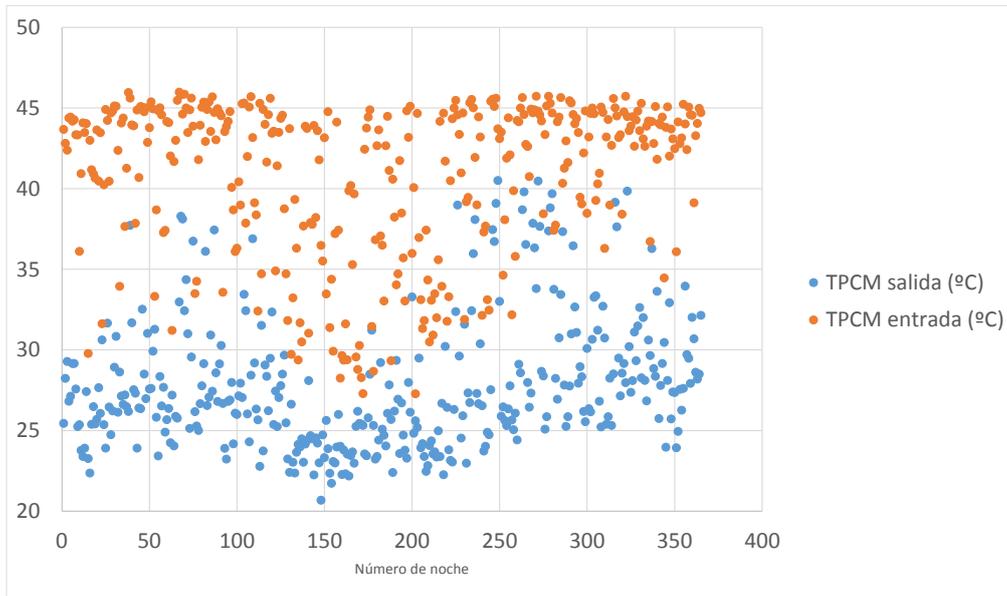
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Para el este valor hay algunas variaciones en algunos meses pero con el comportamiento similar a  $T_{melt} = 40$  °C.



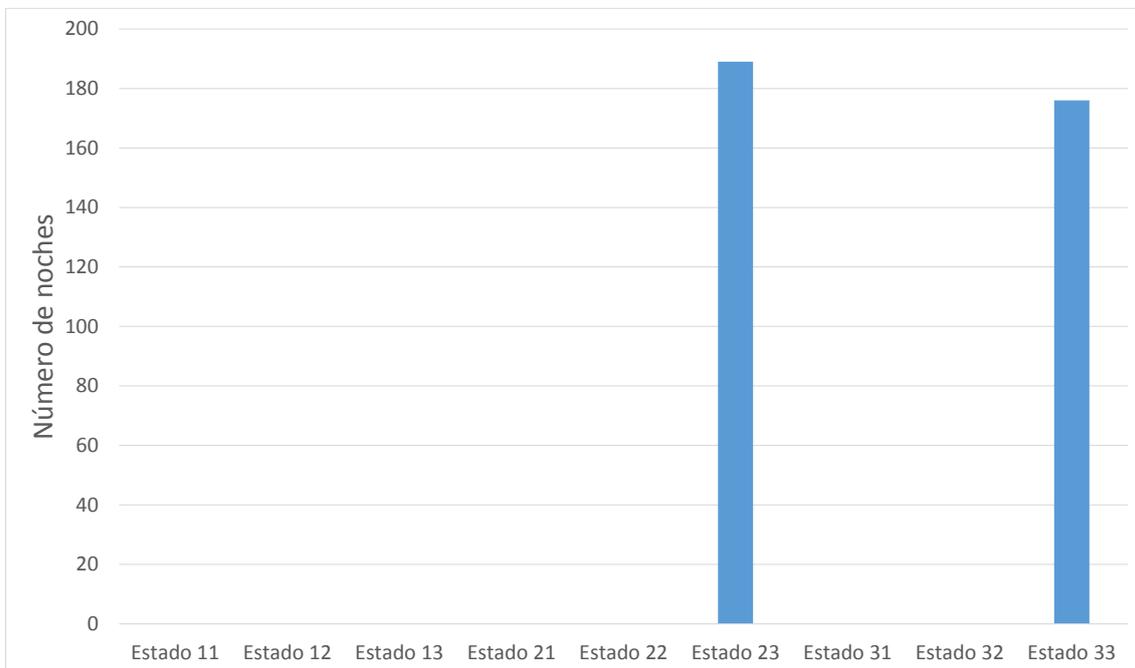
**Figura 29: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Se puede ver mucha dispersión en los valores de DELTAT, al igual que en la temperatura melt de 40 °C.



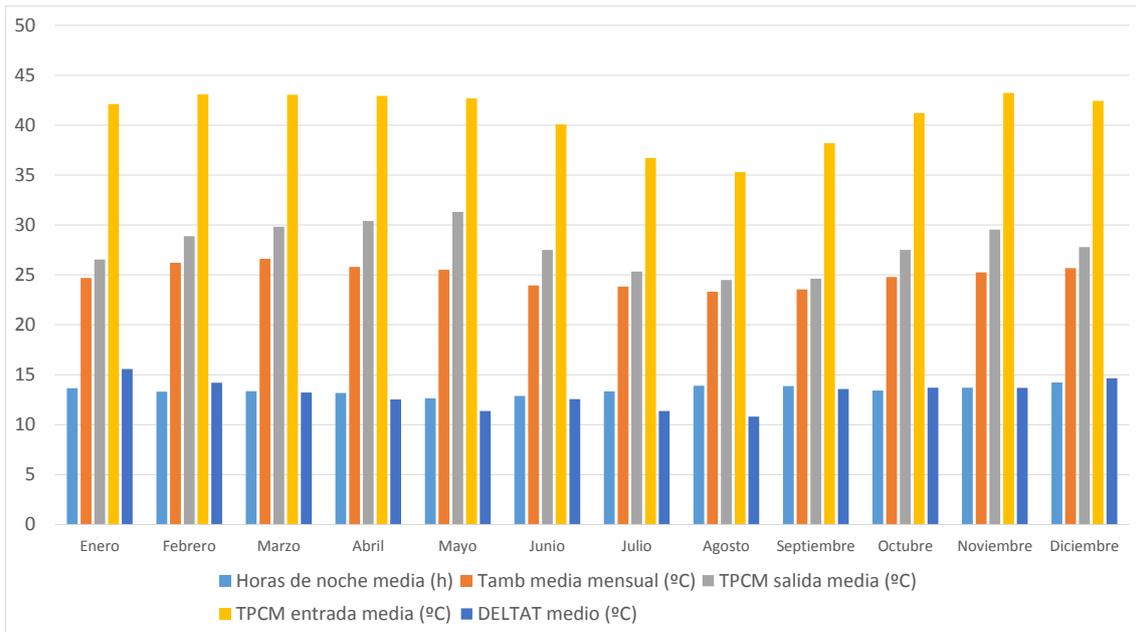
**Figura 30:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Para una  $T_{melt}$  de 45 °C la temperatura del PCM a la entrada, de nuevo, vuelve a ser uniforme y constante en torno al valor seleccionado y la temperatura del PCM a la salida tiene valores cercanos a la temperatura ambiente nocturna.



**Figura 31:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Predominan los estados 23 y 33. Esto quiere decir que el PCM se mantiene en un estado y cambia al estado de transición.



**Figura 32:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

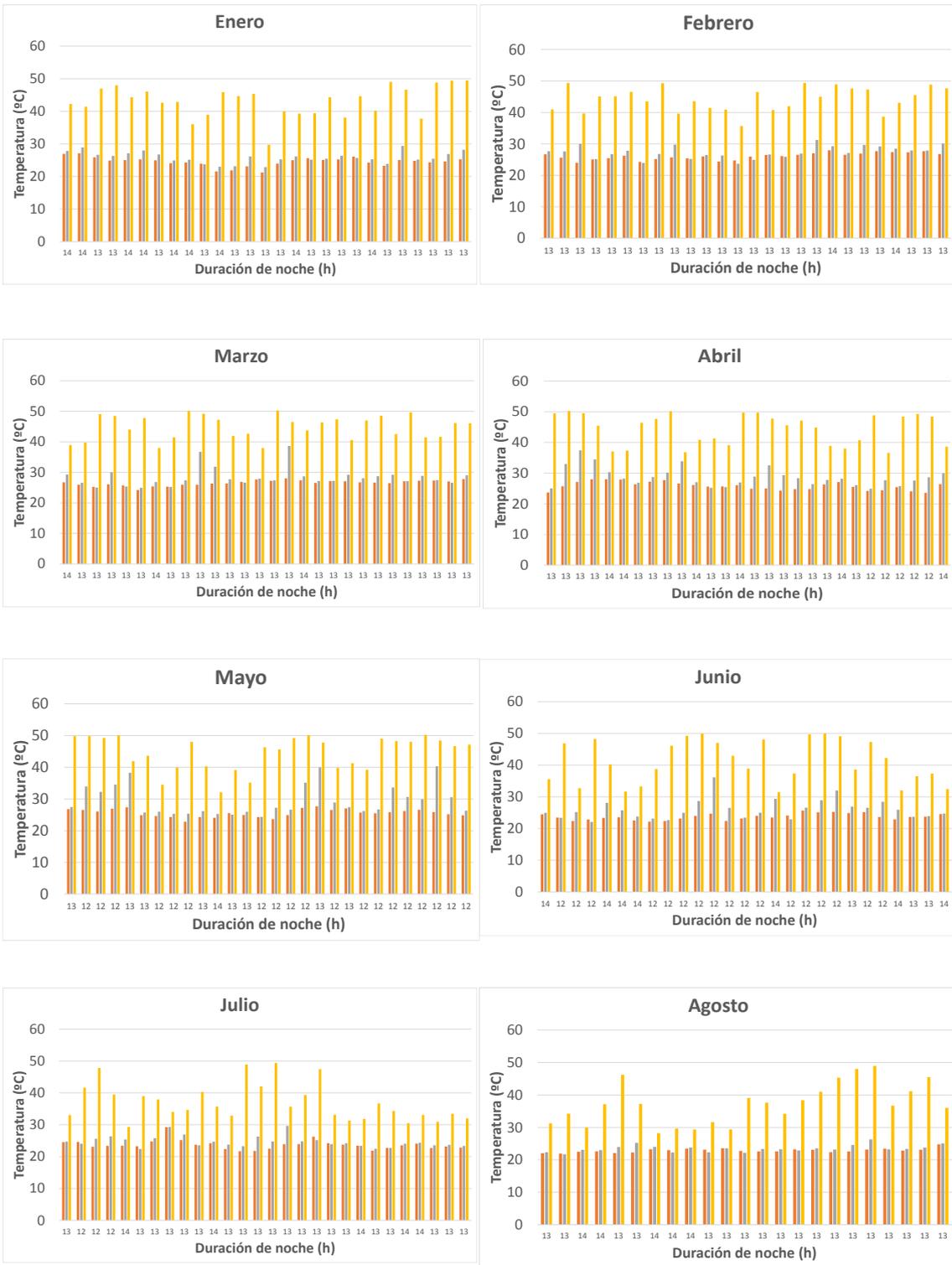
Se aprecia, en la figura 32, que en ningún momento las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida media mensual alcanzan el valor impuesto de la  $T_{melt}$ .

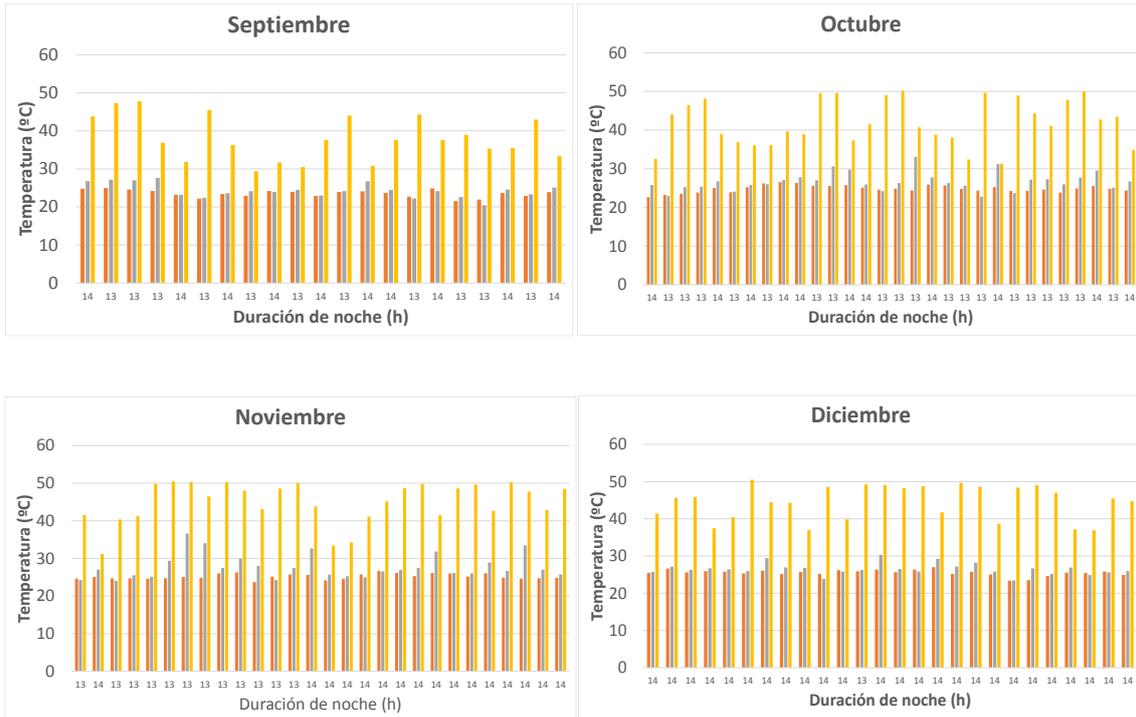
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	26,55	42,12	15,58
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	28,87	43,08	14,20
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	29,83	43,05	13,22
<b>Abril</b>	13,17	25,80	30,40	42,93	12,53
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	31,31	42,68	11,37
<b>Junio</b>	12,87	23,95	27,50	40,06	12,56
<b>Julio</b>	13,33	23,83	25,34	36,71	11,37
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	24,49	35,30	10,81
<b>Septiembre</b>	13,87	23,54	24,63	38,20	13,57
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	27,51	41,21	13,69
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	29,54	43,23	13,69
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	27,78	42,43	14,65

**Tabla 8:** datos promediados para la representación de la figura 32 para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

En la tabla 8, puede verse que ninguno de los valores medios mensuales de la temperatura del PCM alcanza el valor de la  $T_{melt}$  seleccionada.

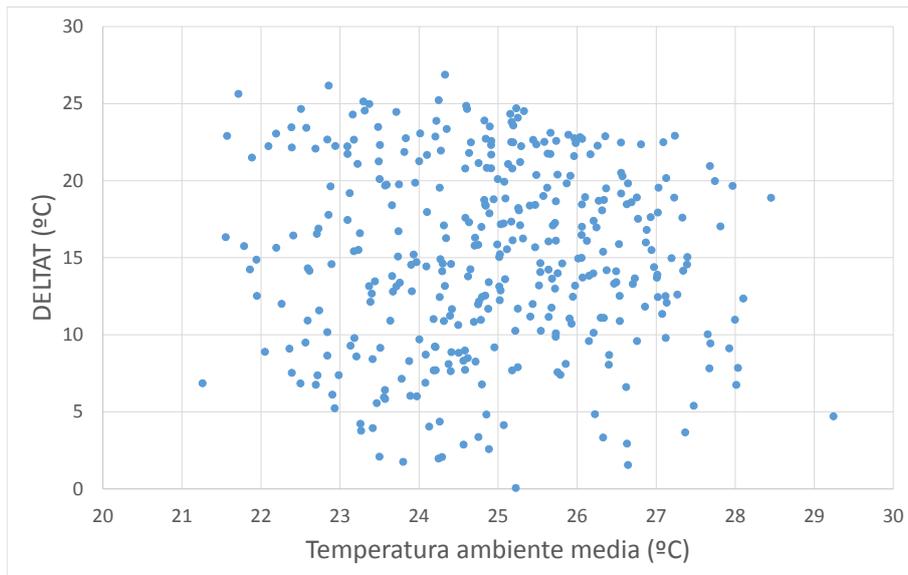
$T_{melt} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$





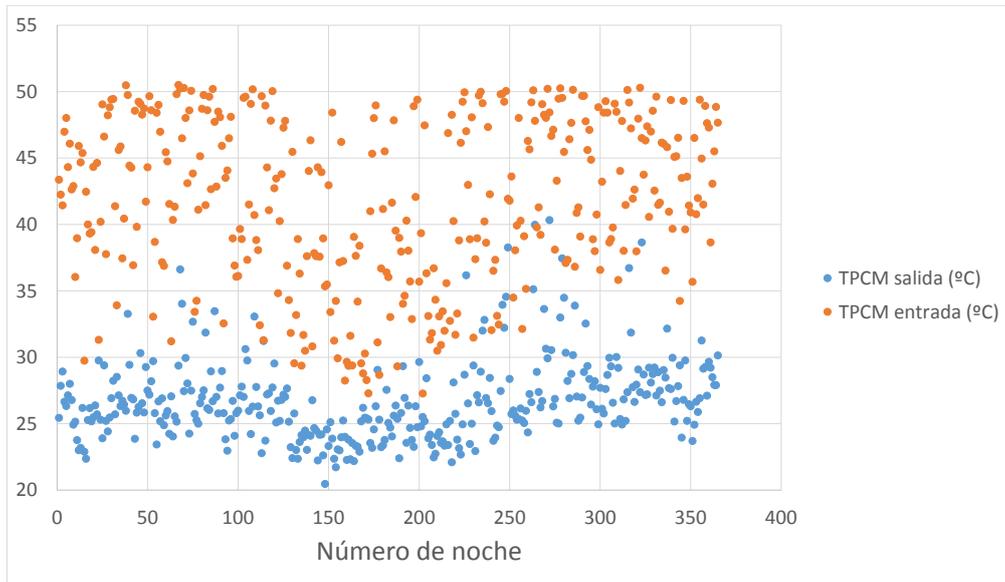
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Para una temperatura melt de 50 °C, se aprecian bastantes variaciones en cuanto al alcance de la temperatura de entrada del PCM a este valor.



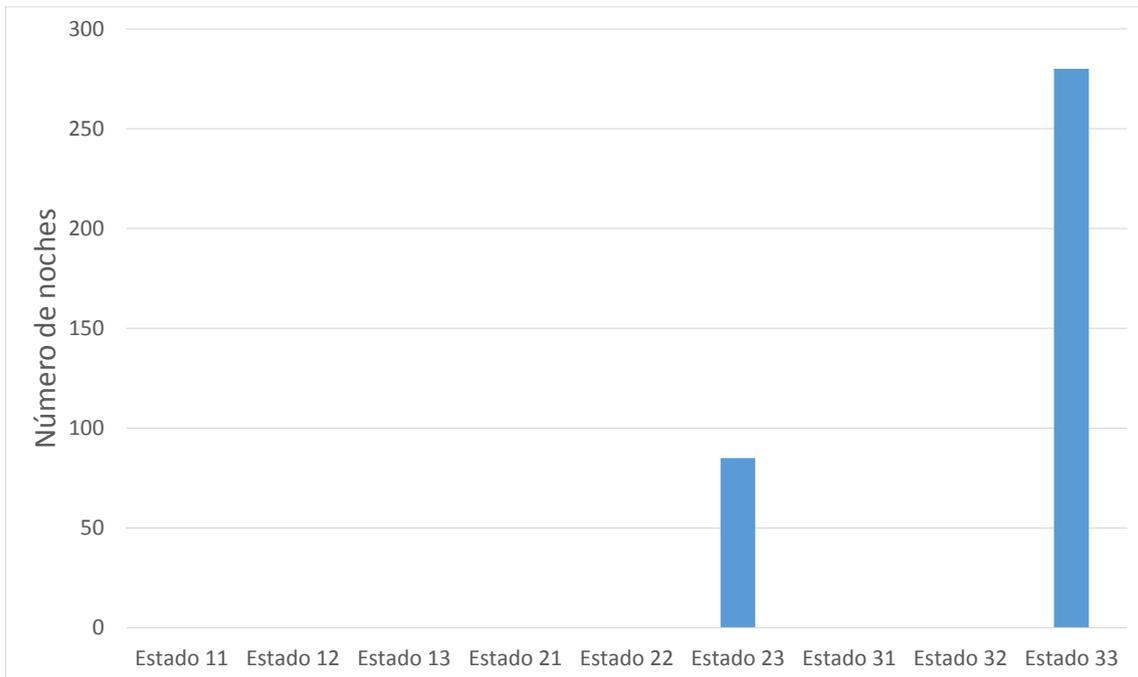
**Figura 33: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Se puede observar en la figura 33, como cabía esperar, una alta dispersión de los saltos de temperatura DELTAT en un rango muy amplio de valores.



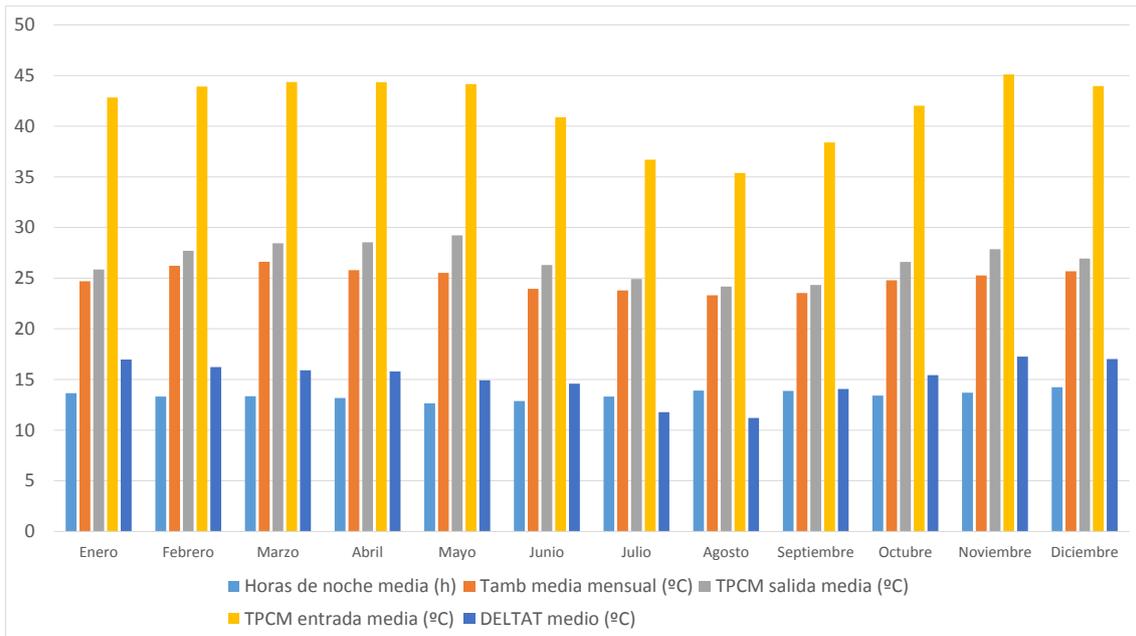
**Figura 34:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se observa que una  $T_{melt}$  de 50 °C hace que la temperatura del PCM a la entrada sea muy dispersa mientras que la temperatura del PCM a la salida vuelve a concentrarse en los valores medios de la temperatura ambiente nocturna.



**Figura 35:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Ahora la predominancia de estados es en el 33. Esto quiere decir que poner la máxima temperatura melt hace que no se produzca demasiado efecto de refrigeración para este clima.



**Figura 36:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se observa que al imponer una temperatura de  $T_{melt}$  muy alta hace que ninguno de los valores alcance dicha temperatura.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	13,65	24,69	25,85	42,83	16,98
<b>Febrero</b>	13,31	26,22	27,70	43,92	16,22
<b>Marzo</b>	13,35	26,62	28,44	44,35	15,91
<b>Abril</b>	13,17	25,80	28,55	44,35	15,80
<b>Mayo</b>	12,65	25,53	29,23	44,15	14,93
<b>Junio</b>	12,87	23,95	26,30	40,88	14,58
<b>Julio</b>	13,32	23,79	24,92	36,70	11,77
<b>Agosto</b>	13,90	23,31	24,18	35,38	11,20
<b>Septiembre</b>	13,87	23,54	24,33	38,39	14,07
<b>Octubre</b>	13,42	24,79	26,60	42,02	15,43
<b>Noviembre</b>	13,70	25,26	27,85	45,11	17,26
<b>Diciembre</b>	14,23	25,68	26,94	43,96	17,02

**Tabla 9:** datos promediados para la representación de la figura 36 para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Como se ve en la tabla 9, los valores medios de la temperatura del PCM a la entrada no consiguen llegar a la  $T_{melt}$  establecida.

### 8.3 Conclusiones finales de Nzema

Tmelt (°C)	Horas de noche anual media (h)	Tamb media anual (°C)	TPCM salida anual (°C)	TPCM entrada anual (°C)	DELTAT anual (°C)	POUT (W/m2)	Porcentaje de producción
10	13,45	24,94	26,26	41,39	15,13	224339,37	7,39
15	13,45	24,93	26,27	41,26	14,99	233872,08	11,95
20	13,45	24,93	26,31	41,28	14,97	233875,33	11,95
25	13,45	24,93	27,10	41,26	14,16	225500,88	7,94
30	13,45	24,93	30,04	40,29	10,26	235362,74	12,67
35	13,45	24,93	32,15	39,35	7,21	237880,84	13,87
40	13,45	24,93	30,41	38,99	8,59	238576,99	14,20
45	13,45	24,93	27,81	40,92	13,10	237698,08	13,78
50	13,45	24,93	26,74	41,84	15,10	236219,15	13,08
Sin PCM						208904,25	

Tabla 10: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.

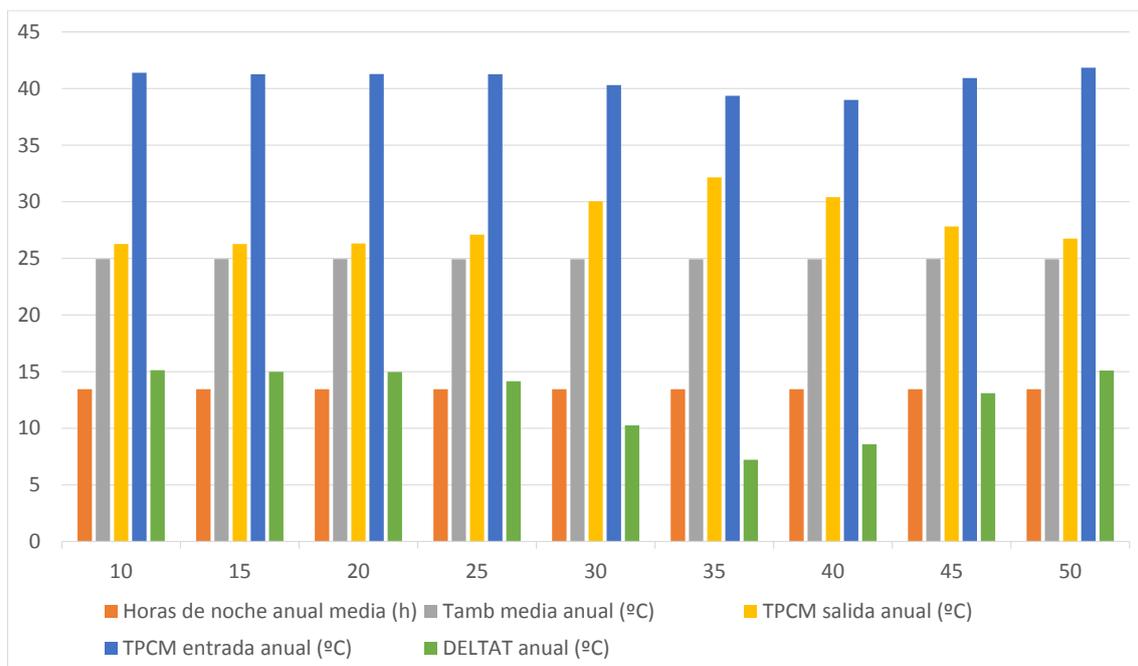


Figura 37: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada.

Se puede observar que las temperaturas de entrada y salida del PCM fluctúan en un rango aproximado de entre 27 °C y 40 °C. En la tabla 10, el pico de producción de potencia se obtiene a una temperatura Tmelt = 40 °C, coincidiendo con la temperatura óptima calculada para Nzema y usando el método de cálculo hora-hora.



## 9. Estudio de Neuhardenberg (Alemania)

### 9.1 Índice de figuras para Neuhardenberg

Figura 38: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 10 °C. ....	59
Figura 39: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 10 °C. ....	60
Figura 40: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 10 °C. ....	60
Figura 41: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 10 °C. ....	61
Figura 42: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	63
Figura 43: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	64
Figura 44: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	64
Figura 45: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 15 °C. ....	65
Figura 46: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	67
Figura 47: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	68
Figura 48: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	68
Figura 49: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 20 °C. ....	69
Figura 50: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 25 °C. ....	71
Figura 51: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 25 °C. ....	72
Figura 52: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 25 °C. ....	72
Figura 53: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre	

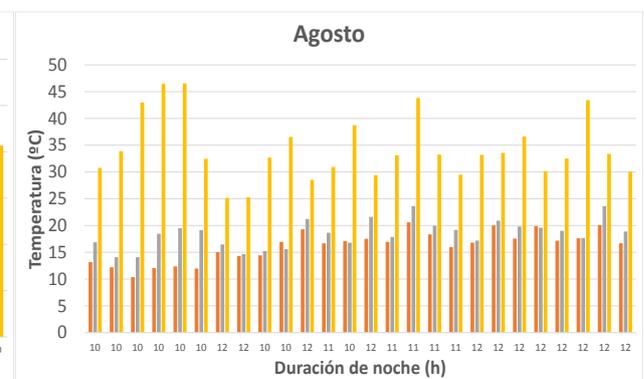
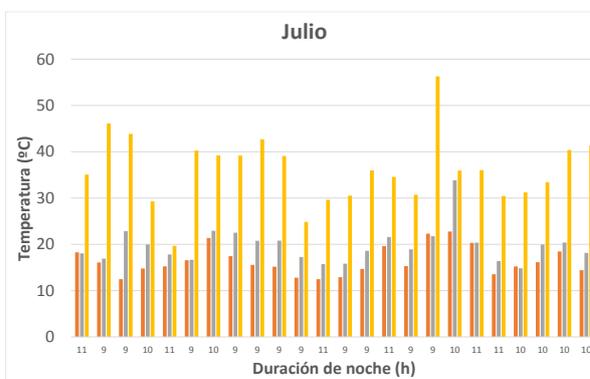
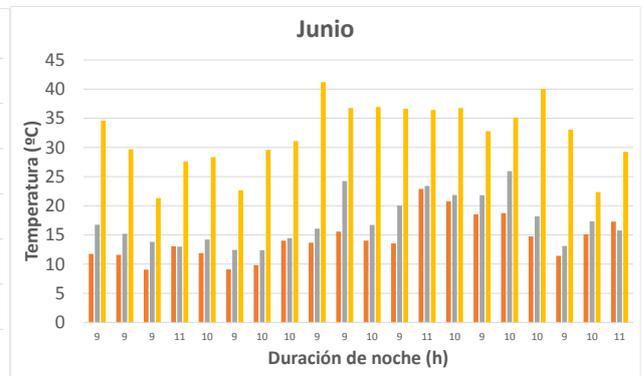
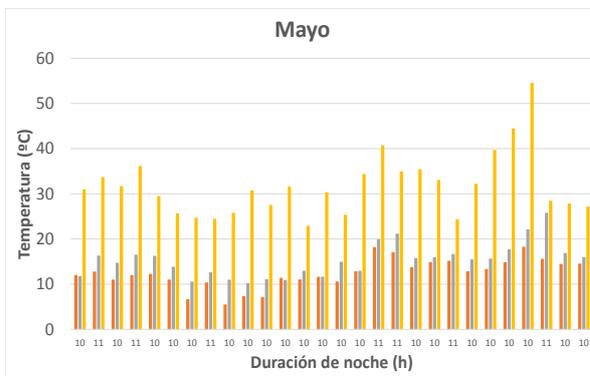
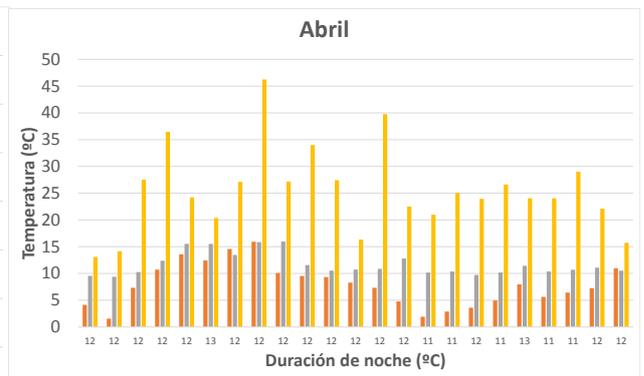
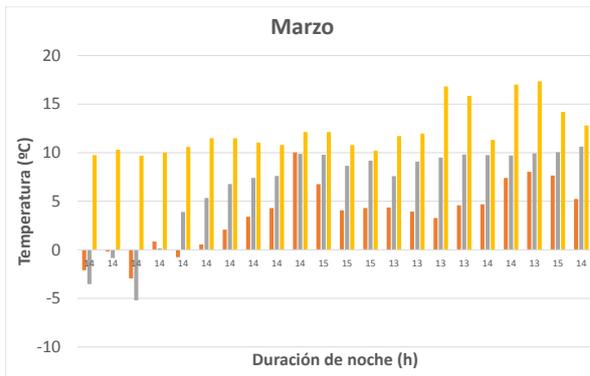
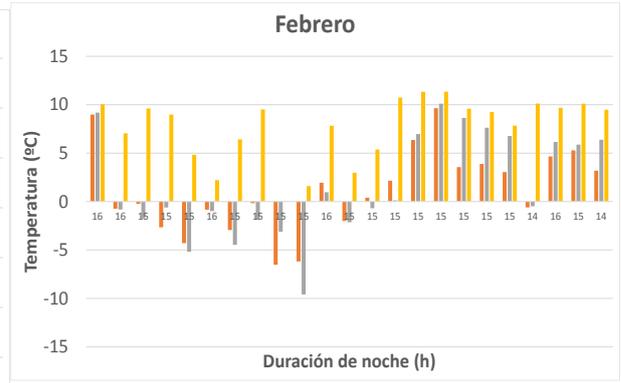
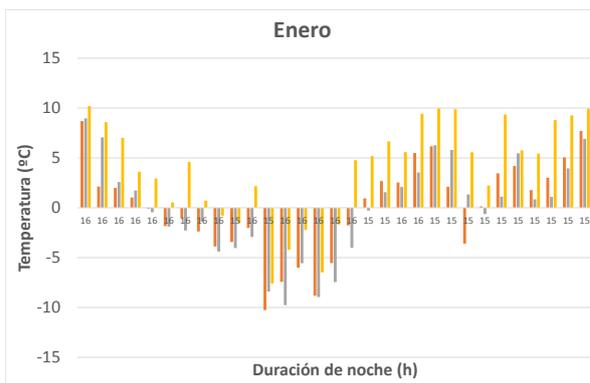
dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 25 °C.....	73
Figura 54: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 30 °C. ....	75
Figura 55: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 30 °C. ....	76
Figura 56: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 30 °C. ....	76
Figura 57: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 30 °C.....	77
Figura 58: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 35 °C. ....	79
Figura 59: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 35 °C. ....	80
Figura 60: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 35 °C. ....	80
Figura 61: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 35 °C.....	81
Figura 62: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 40 °C. ....	83
Figura 63: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 40 °C. ....	84
Figura 64: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 40 °C. ....	84
Figura 65: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 40 °C.....	85
Figura 66: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una $T_{melt}$ de 45 °C. ....	87
Figura 67: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una $T_{melt}$ de 45 °C. ....	88
Figura 68: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una $T_{melt}$ de 45 °C. ....	88
Figura 69: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una $T_{melt}$ de 45 °C.....	89

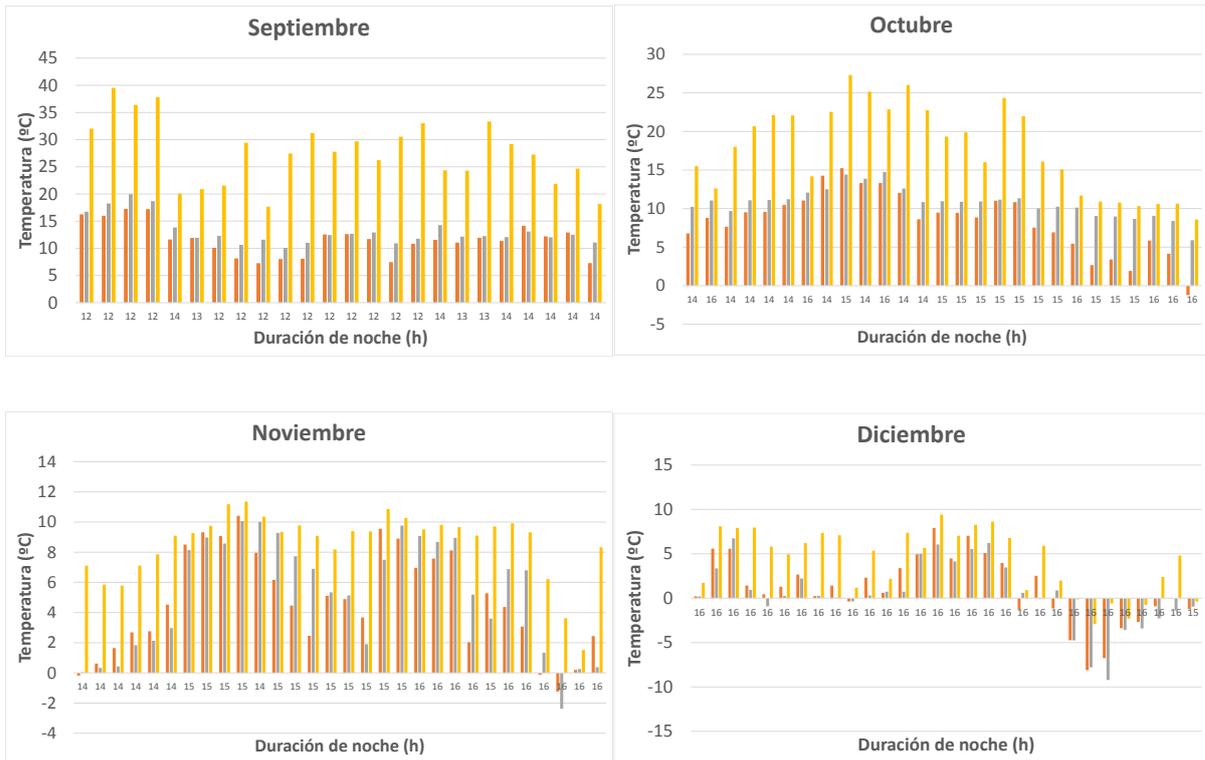
<b>Figura 70: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una Tmelt de 50 °C. ....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 71: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una Tmelt de 50 °C. ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 72: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una Tmelt de 50 °C. ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 73: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 50 °C.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 74: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada. 94</b>	<b>94</b>

## **9.2 Índice de tablas para Neuhardenberg**

<b>Tabla 11: datos promediados para la representación de la figura 41 para una Tmelt de 10 °C.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 12: datos promediados para la representación de la figura 45 para una Tmelt de 15 °C.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 13: datos promediados para la representación de la figura 49 para una Tmelt de 20 °C.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 14: datos promediados para la representación de la figura 53 para una Tmelt de 25 °C.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 15: datos promediados para la representación de la figura 57 para una Tmelt de 30 °C.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 16: datos promediados para la representación de la figura 61 para una Tmelt de 35 °C.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 17: datos promediados para la representación de la figura 65 para una Tmelt de 40 °C.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 18: datos promediados para la representación de la figura 69 para una Tmelt de 45 °C.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 19: datos promediados para la representación de la figura 73 para una Tmelt de 50 °C.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 20: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM. ....</b>	<b>94</b>

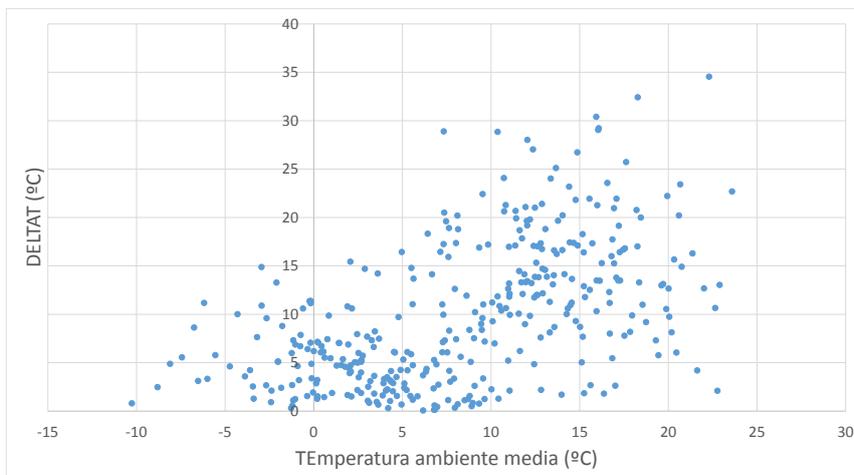
$T_{melt} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$





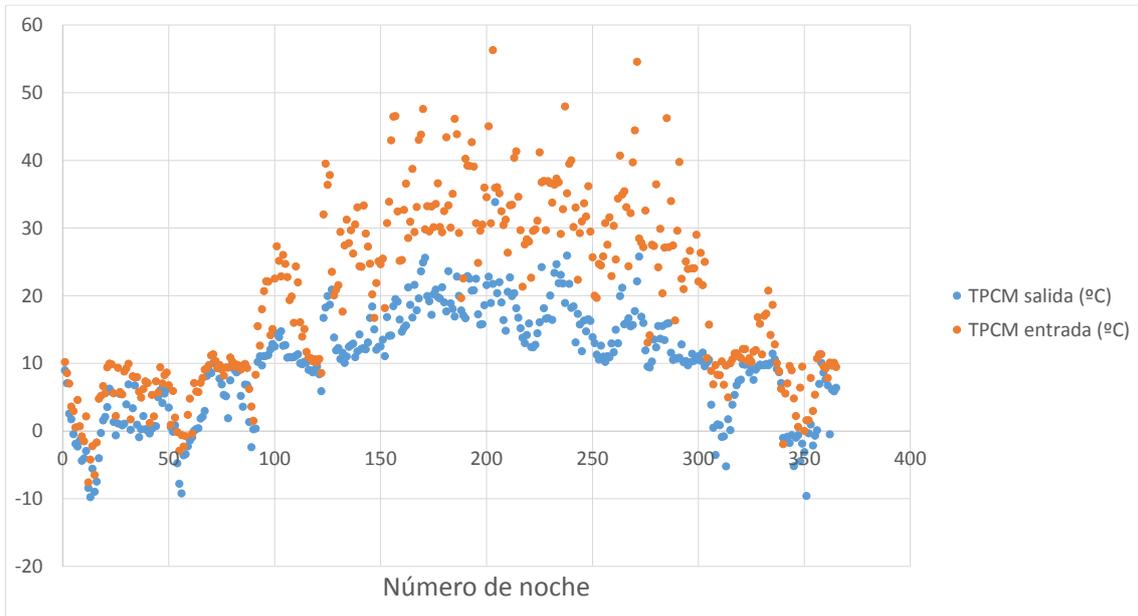
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

En primer lugar, se puede destacar que debido al clima de Neuhardenberg las temperaturas del PCM a la entrada y salida son muy inestables para las  $T_{melt}$  iniciales. Se puede añadir que el invierno en esta localización es bastante frío con lo que penaliza en gran medida el comportamiento del PCM. En ningún momento se alcanza la temperatura seleccionada, tanto para la entrada como la de salida.



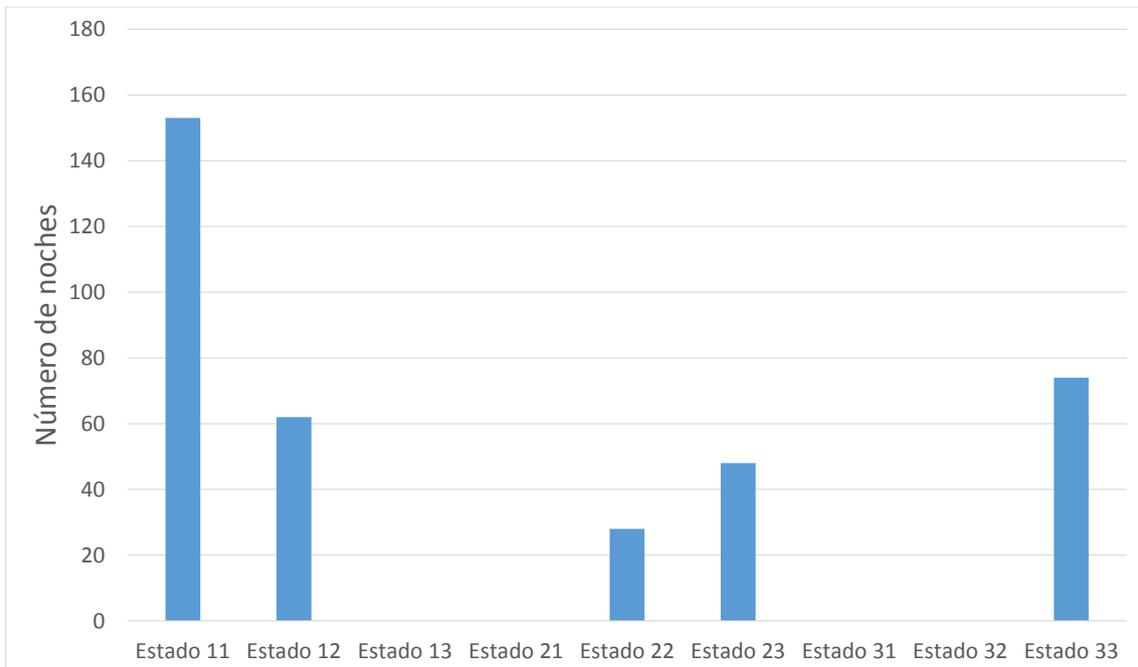
**Figura 38: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Se puede ver que para una  $T_{melt}$  baja y con un rango de temperaturas ambientes medias de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los saltos de temperatura DELTAT se concentran en el rango de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



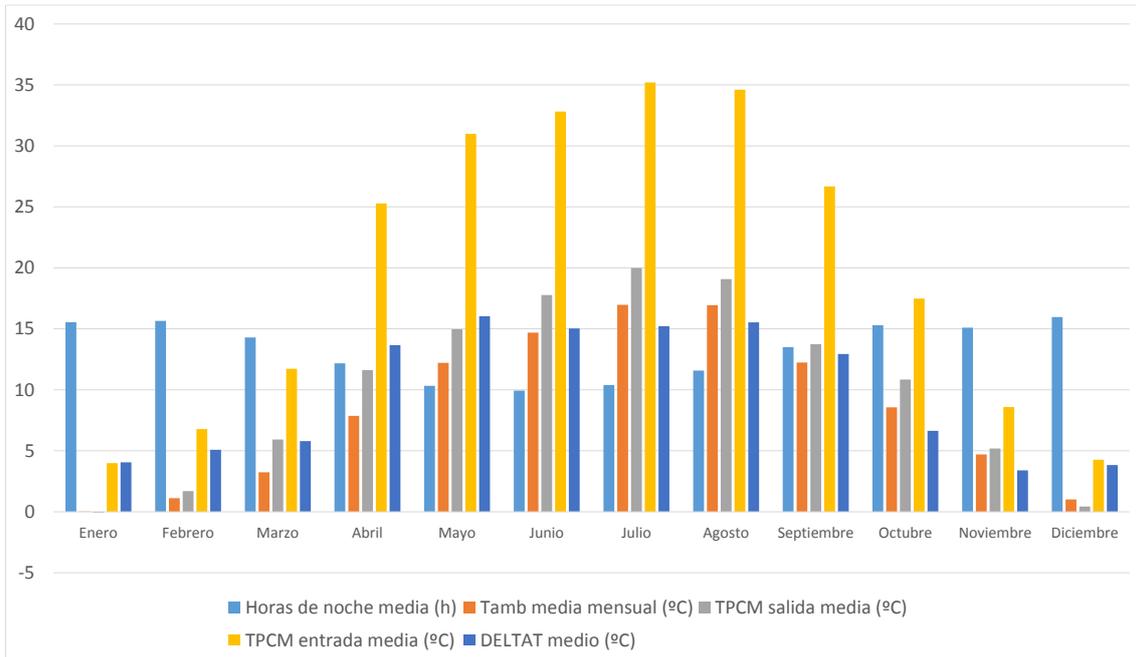
**Figura 39:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las temperaturas del PCM de salida y entrada son muy parecidas en los meses de invierno y otoño, como se observa en la figura 39.



**Figura 40:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A diferencia de Nzema, para este clima y la temperatura melt impuesta, hay varios estados en los que se encuentra el PCM a lo largo de un año, como se observa en la figura 40.



**Figura 41:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 10 °C.

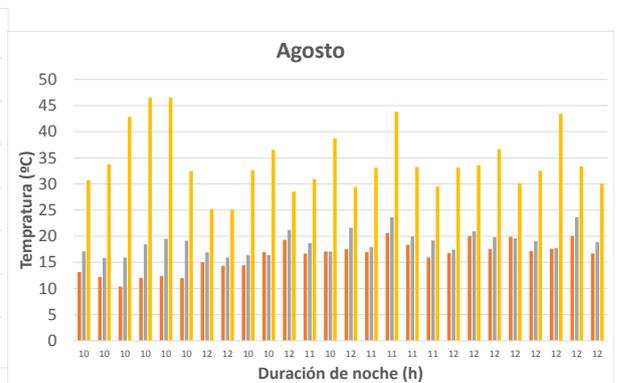
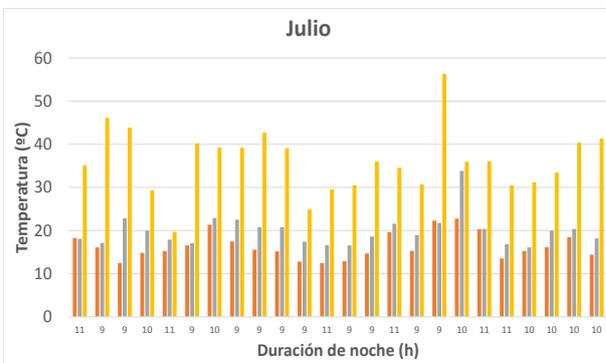
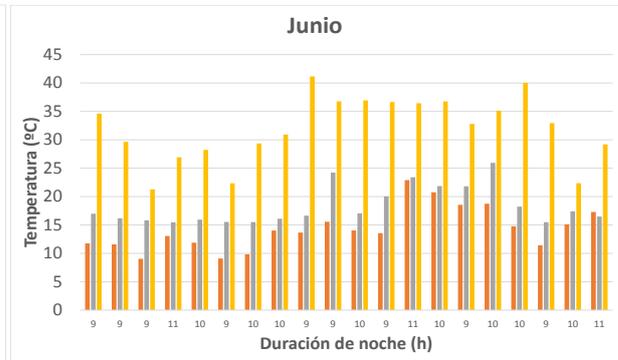
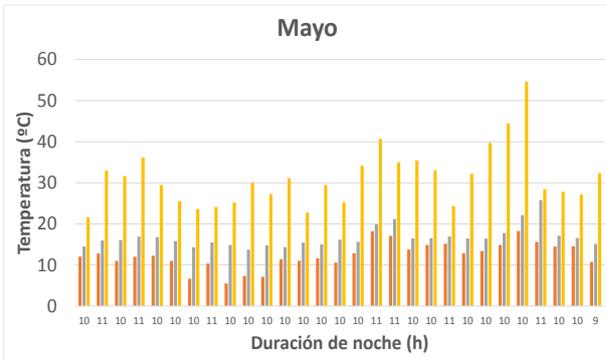
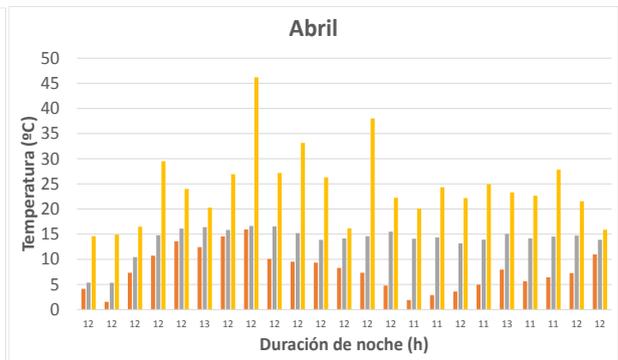
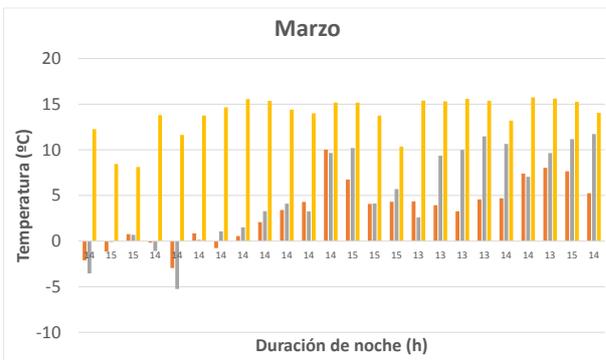
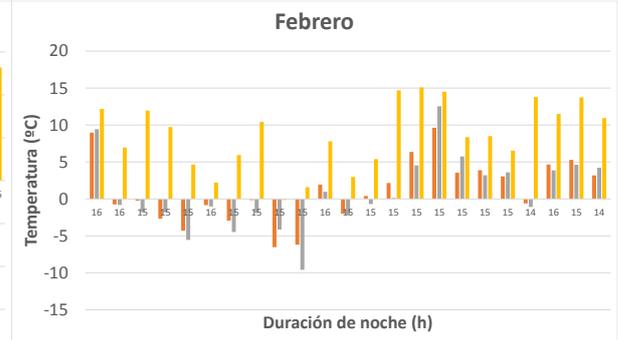
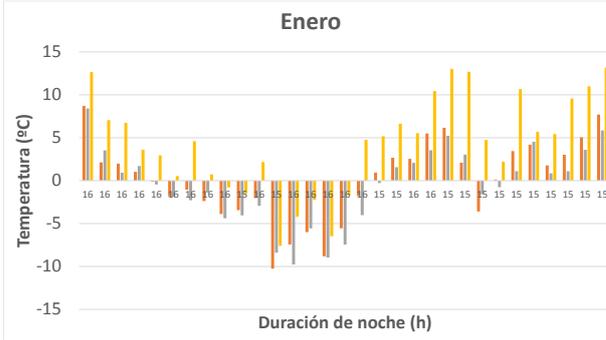
Para la Tmelt seleccionada, las temperaturas medias de entrada y salida del PCM varían en un amplio rango de 0 °C a 35 °C.

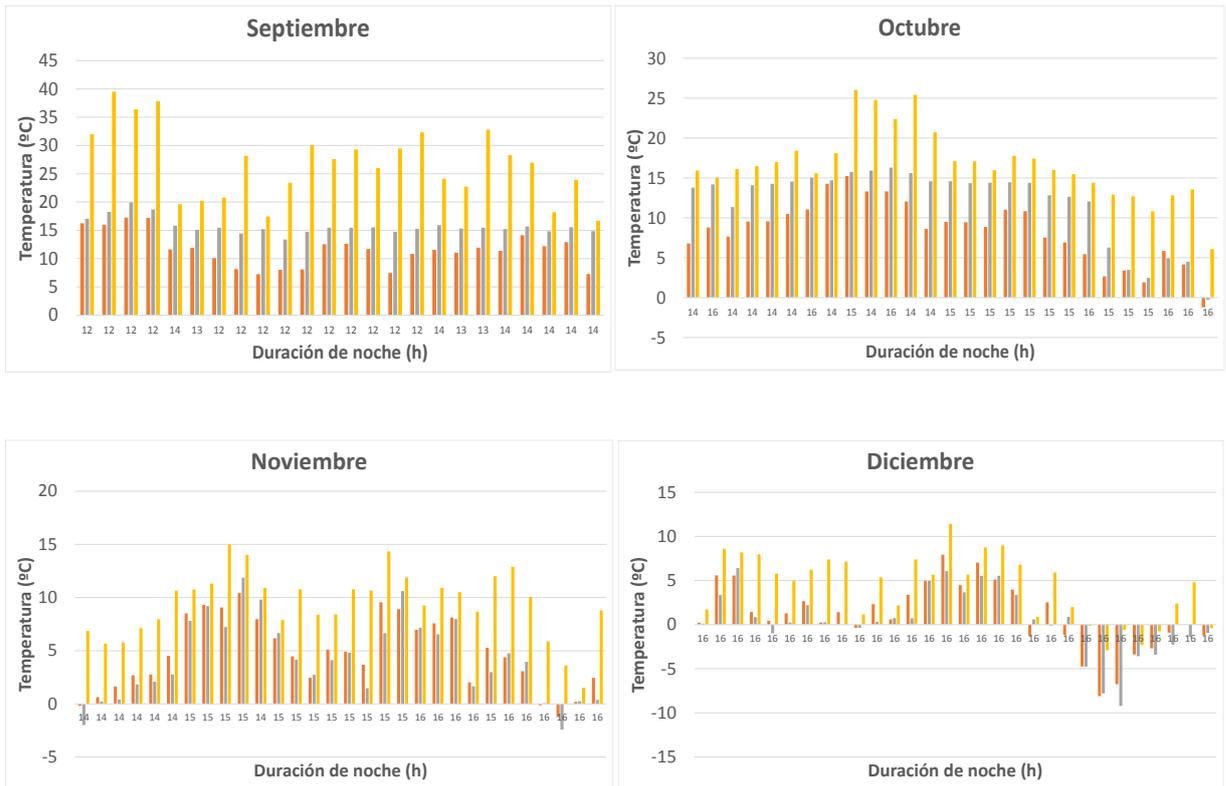
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,07	3,99	4,06
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	1,70	6,79	5,09
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	5,92	11,72	5,80
<b>Abril</b>	12,17	7,86	11,61	25,28	13,67
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	14,96	30,99	16,03
<b>Junio</b>	9,93	14,69	17,78	32,81	15,04
<b>Julio</b>	10,39	16,97	19,98	35,20	15,22
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	19,07	34,61	15,53
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	13,74	26,67	12,93
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	10,84	17,48	6,64
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	5,19	8,59	3,40
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,43	4,27	3,83

**Tabla 11:** datos promediados para la representación de la figura 41 para una Tmelt de 10 °C.

Como se puede ver en la tabla 11, la temperatura media mensual del PCM a la salida varía entre 0 °C y 19 °C, y la temperatura media mensual del PCM a la entrada se mueve entre los valores de 3 °C a 35 °C, como se ha visto en la figura 41.

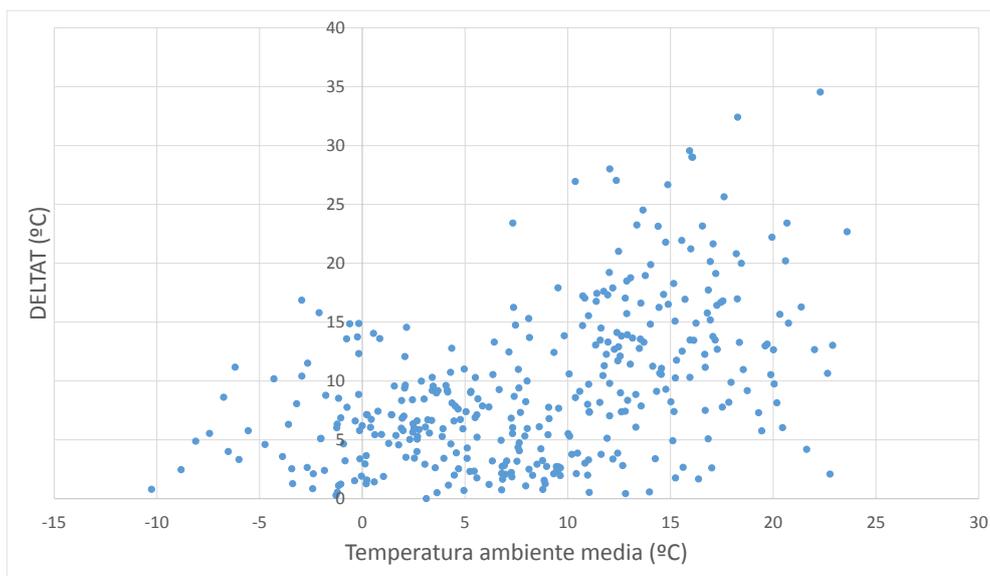
$T_{melt} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$





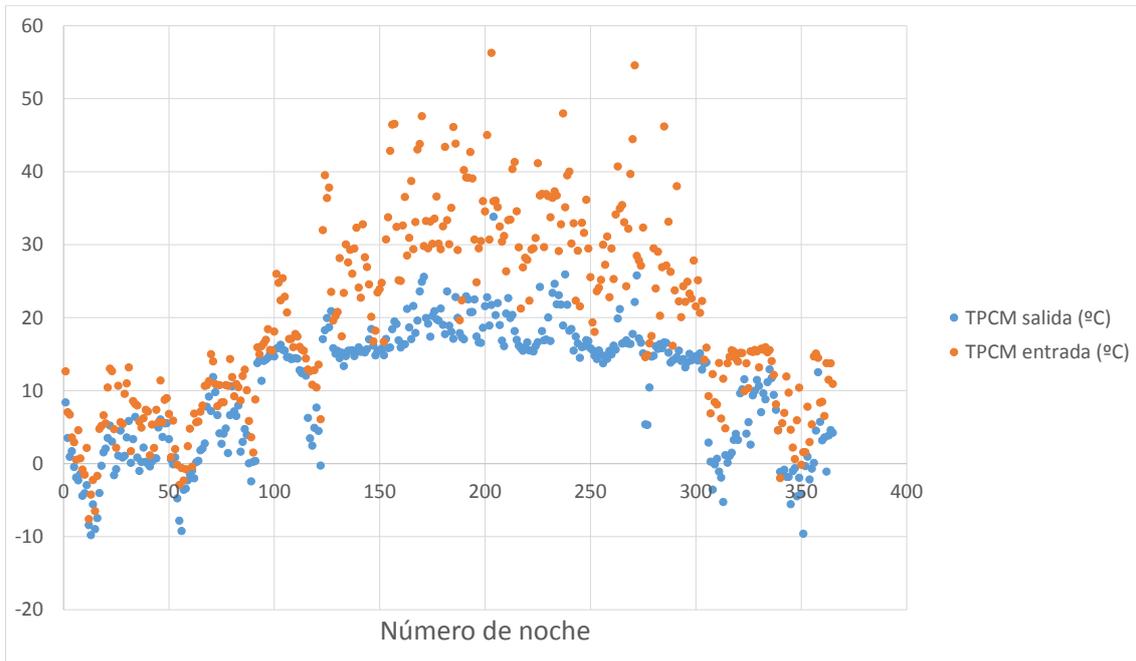
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se empieza ver, en el grupo de gráficas, que en algunos meses la temperatura de salida del PCM alcanza el valor impuesto de 15 °C.



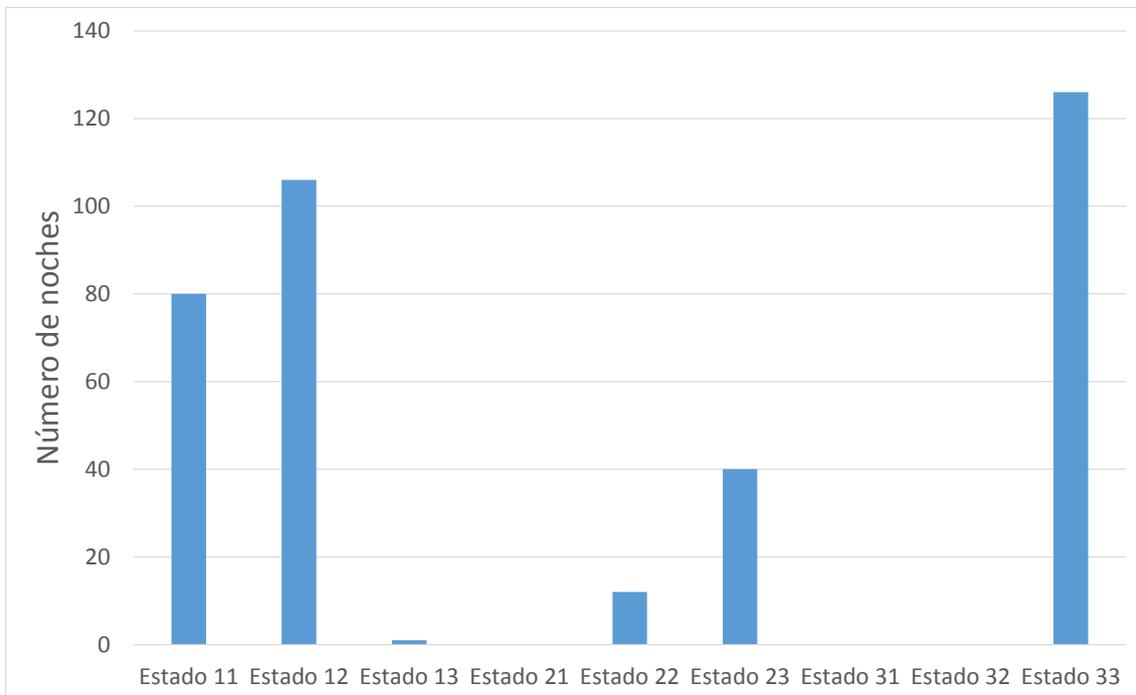
**Figura 42: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se observa en la figura 42 el mismo comportamiento y la misma variación de rango de temperaturas que para una  $T_{melt}$  de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



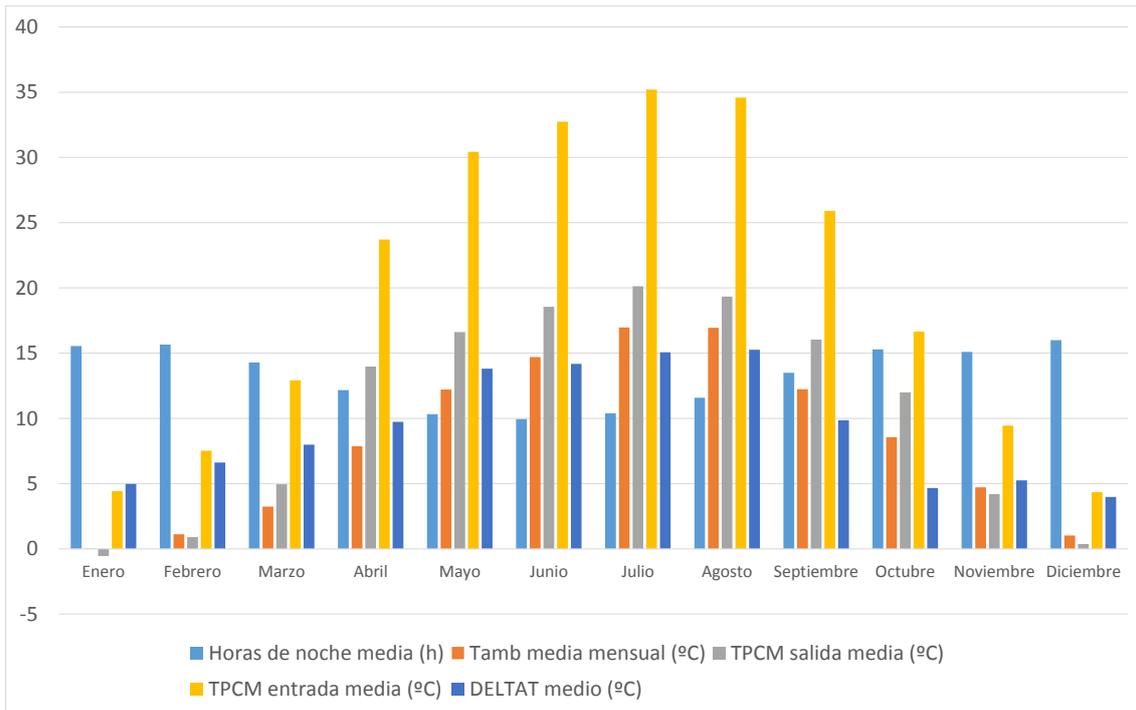
**Figura 43:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De nuevo, vuelven a coincidir las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida en los meses fríos de invierno y otoño.



**Figura 44:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Se reduce la cantidad de noches del Estado 11 para aumentar las noches en los estados 12 y 33.



**Figura 45:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una T<sub>melt</sub> de 15 °C.

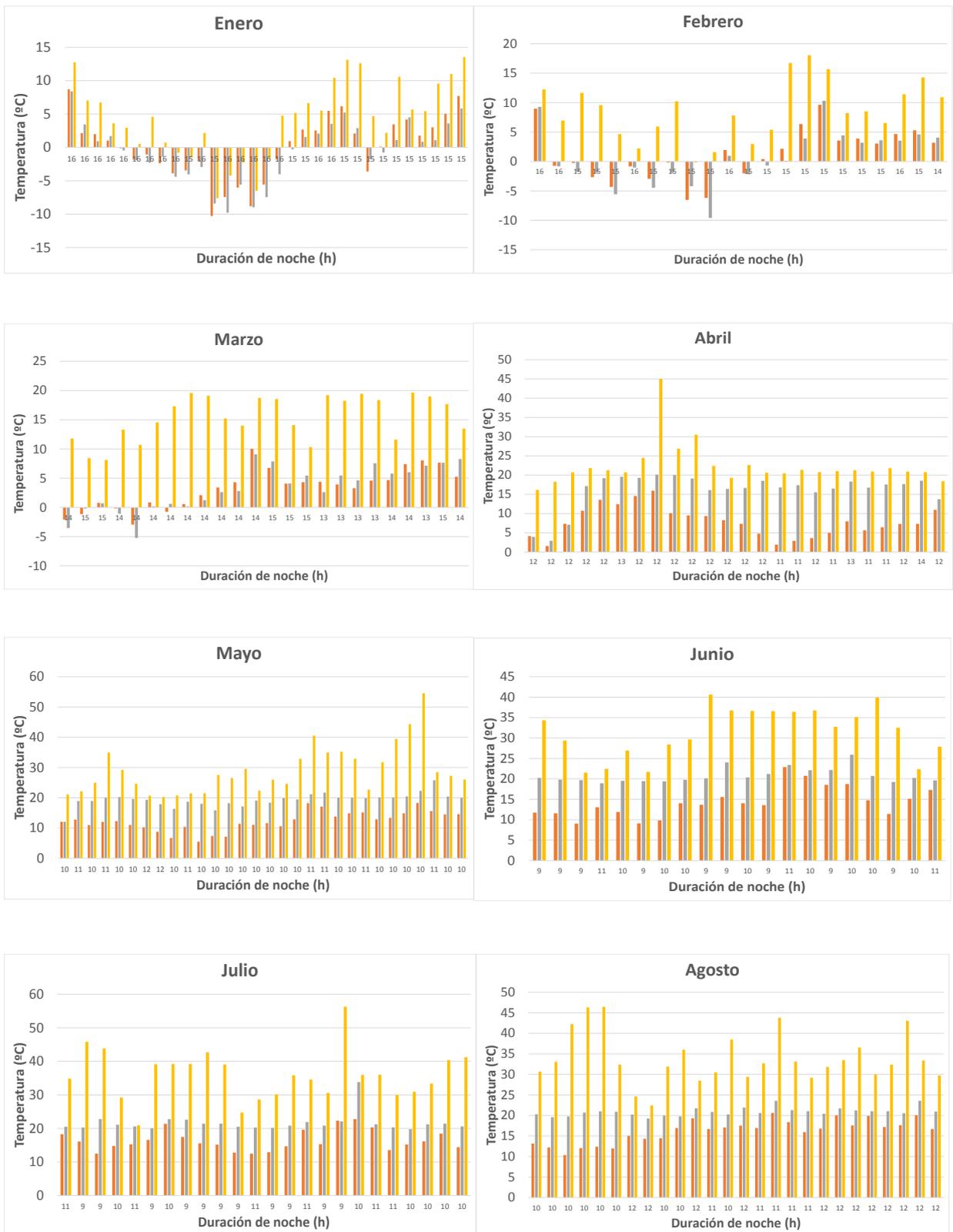
No se aprecia de manera significativa ningún cambio para en las temperaturas medias mensuales para una T<sub>melt</sub> de 15 °C, al igual que para un T<sub>melt</sub> de 10 °C.

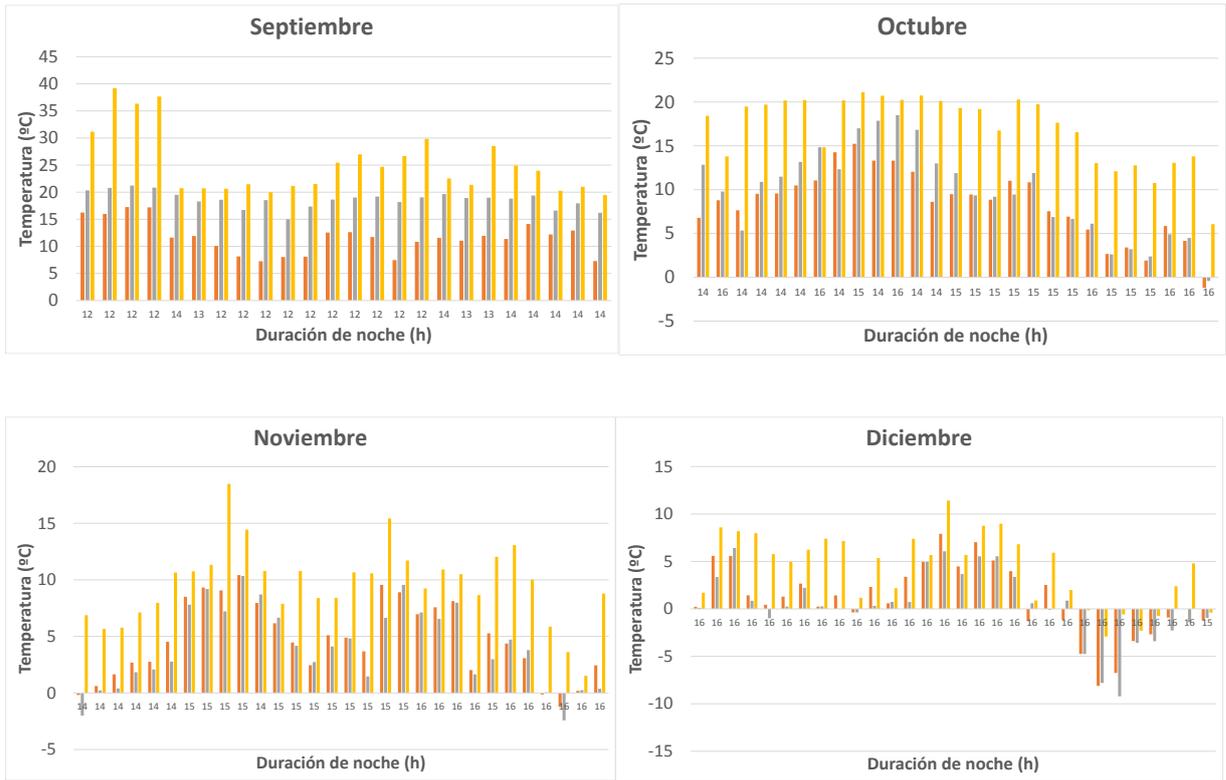
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,55	4,43	4,98
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,90	7,51	6,61
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	4,94	12,92	7,98
<b>Abril</b>	12,17	7,86	13,97	23,71	9,73
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	16,61	30,42	13,81
<b>Junio</b>	9,93	14,69	18,56	32,74	14,18
<b>Julio</b>	10,39	16,97	20,13	35,19	15,06
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	19,33	34,59	15,25
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	16,05	25,90	9,86
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	12,00	16,66	4,66
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,19	9,44	5,25
<b>Diciembre</b>	16,00	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 12:** datos promediados para la representación de la figura 45 para una T<sub>melt</sub> de 15 °C.

Si se compara la tabla 12 con la tabla 11, puede verse que son muy similares en los valores de la temperatura media mensual tanto de entrada como de salida del PCM.

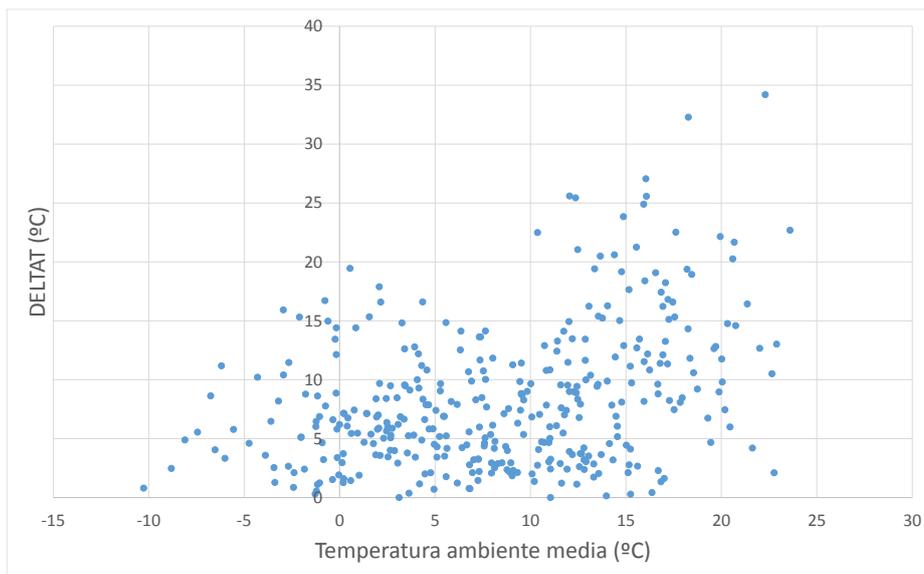
$T_{melt} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$





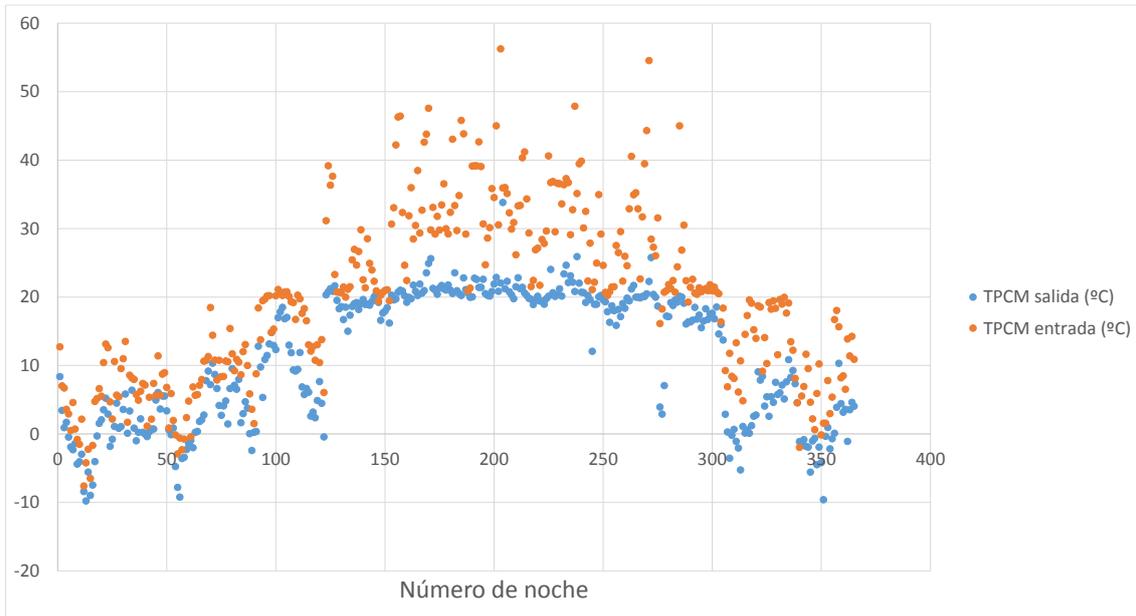
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Comienza a verse un efecto menor en las temperaturas de entrada y salida del PCM, dado que en varios meses se consigue llegar a la temperatura melt impuesta.



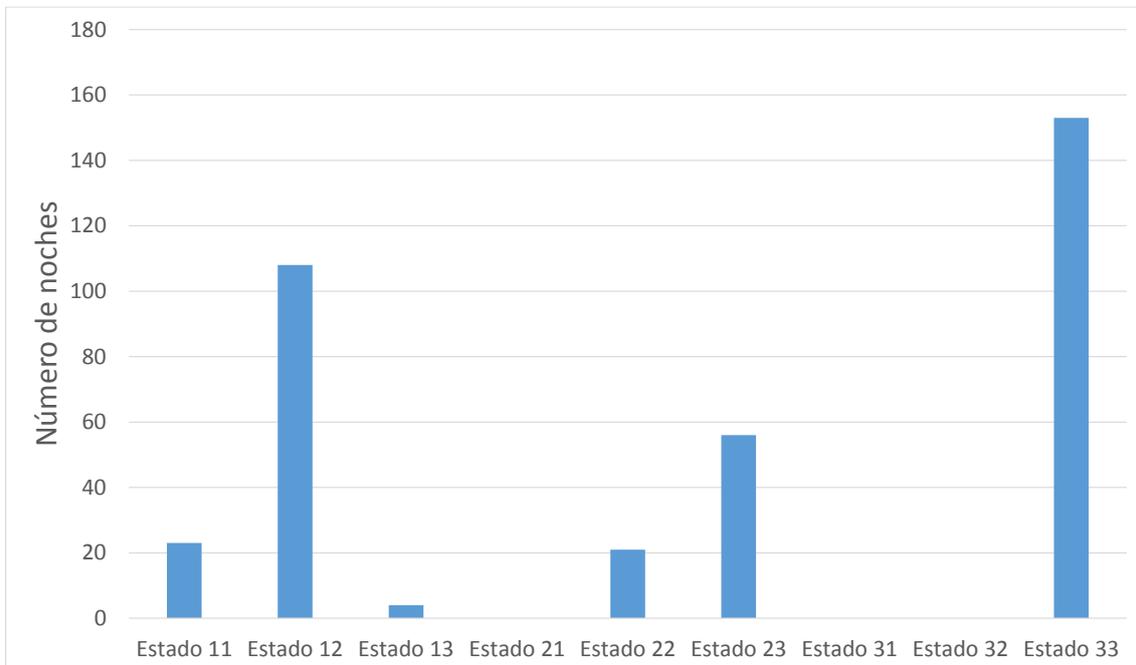
**Figura 46: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Continua habiendo dispersión de valores en una rango de temperaturas ambientes medias de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , concentrándose los valores de DELTAT en el rango de 0 a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



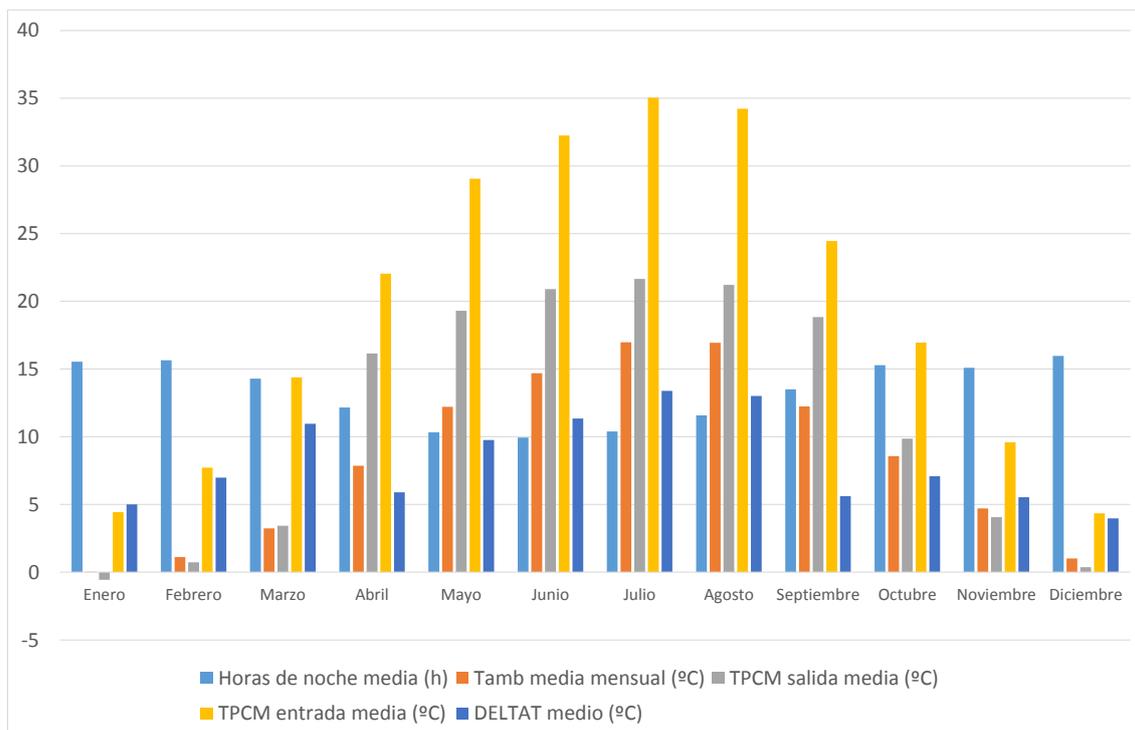
**Figura 47:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Las temperaturas de entrada y salida del PCM en los meses de primavera-verano comienzan a igualarse, como se observa en la figura 47.



**Figura 48:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los cambios de estados pasan a ser mucho más abundantes en el 33.



**Figura 49:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

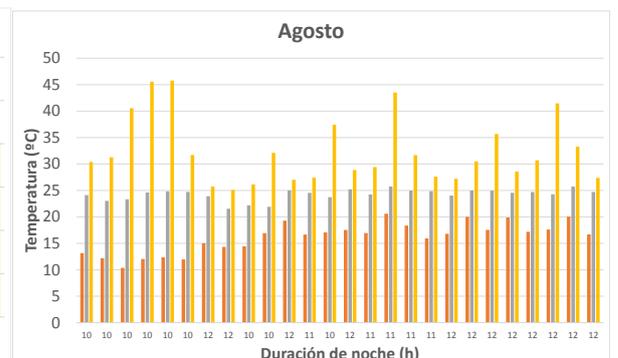
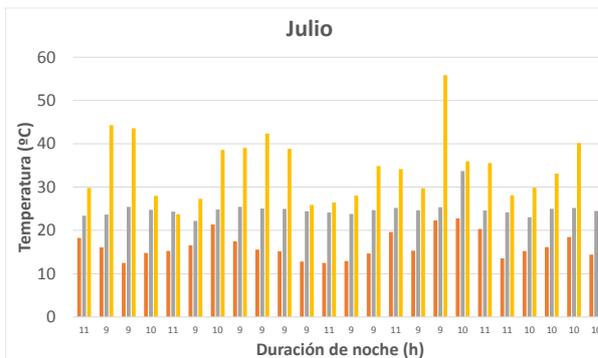
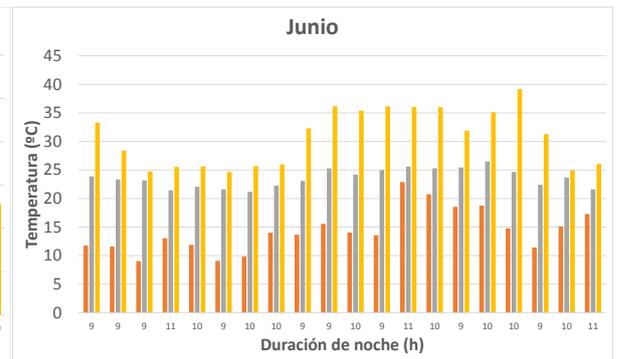
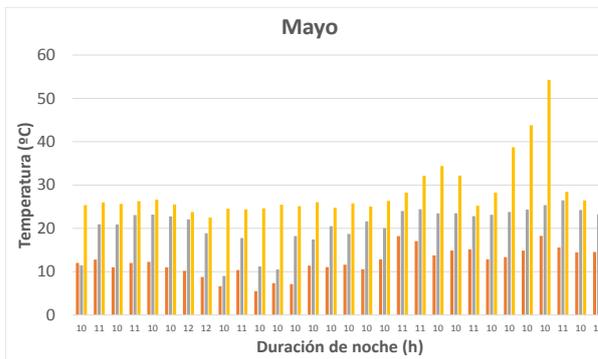
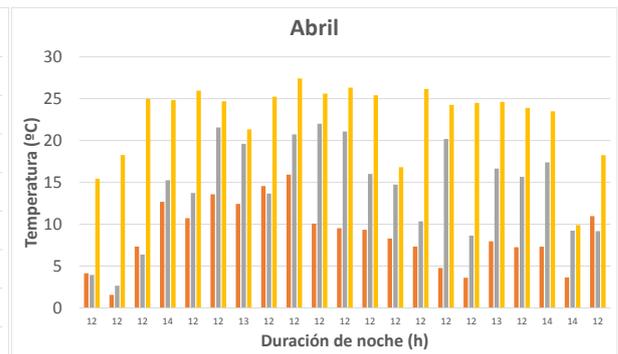
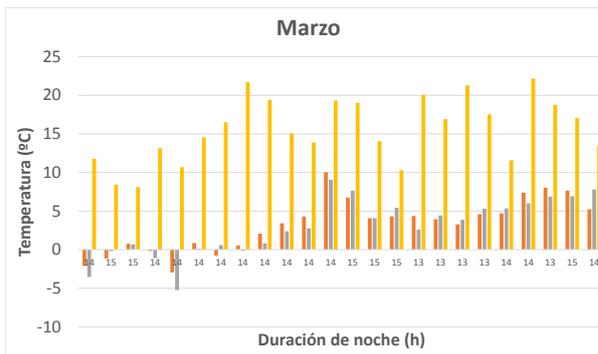
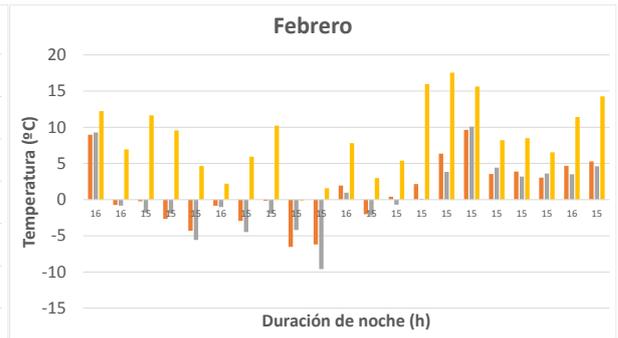
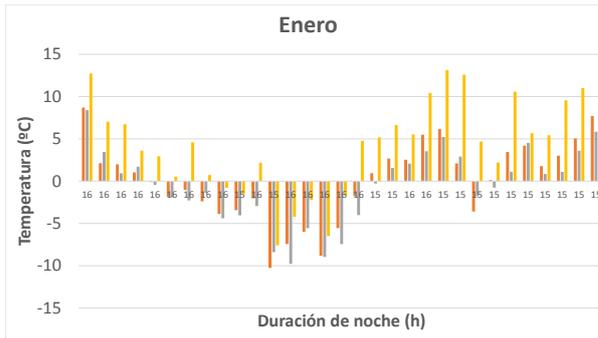
Sigue sin producirse demasiada influencia en los resultados finales mensuales dado que no se muestra una uniformidad.

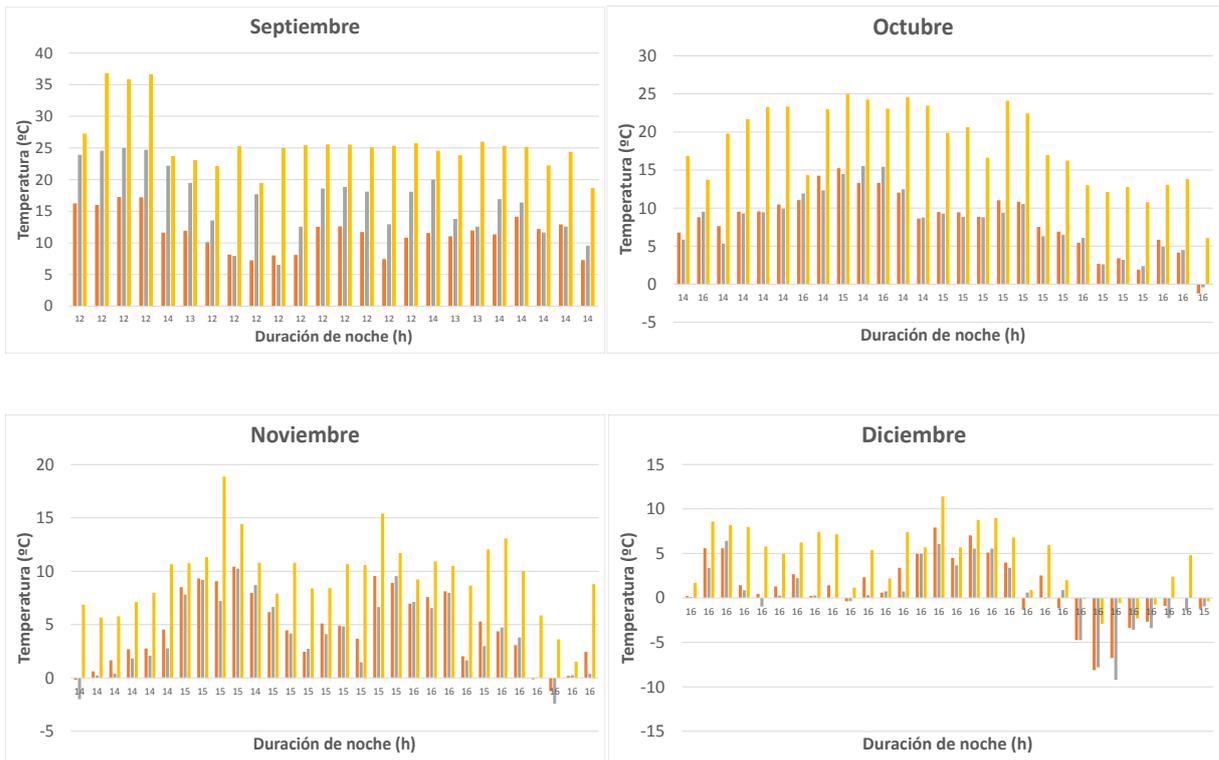
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,73	7,71	6,99
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,43	14,38	10,95
<b>Abril</b>	12,17	7,86	16,15	22,05	5,90
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	19,31	29,06	9,75
<b>Junio</b>	9,93	14,69	20,91	32,25	11,35
<b>Julio</b>	10,39	16,97	21,66	35,04	13,39
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	21,21	34,23	13,02
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	18,85	24,46	5,62
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	9,87	16,95	7,09
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,60	5,54
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 13:** datos promediados para la representación de la figura 49 para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se puede ver que los cambios no son tan significativos si se comparan con las tablas 11 y 12, debido a que las temperaturas de cambio de fase seleccionadas todavía no consiguen tener influencia en las temperaturas de interés.

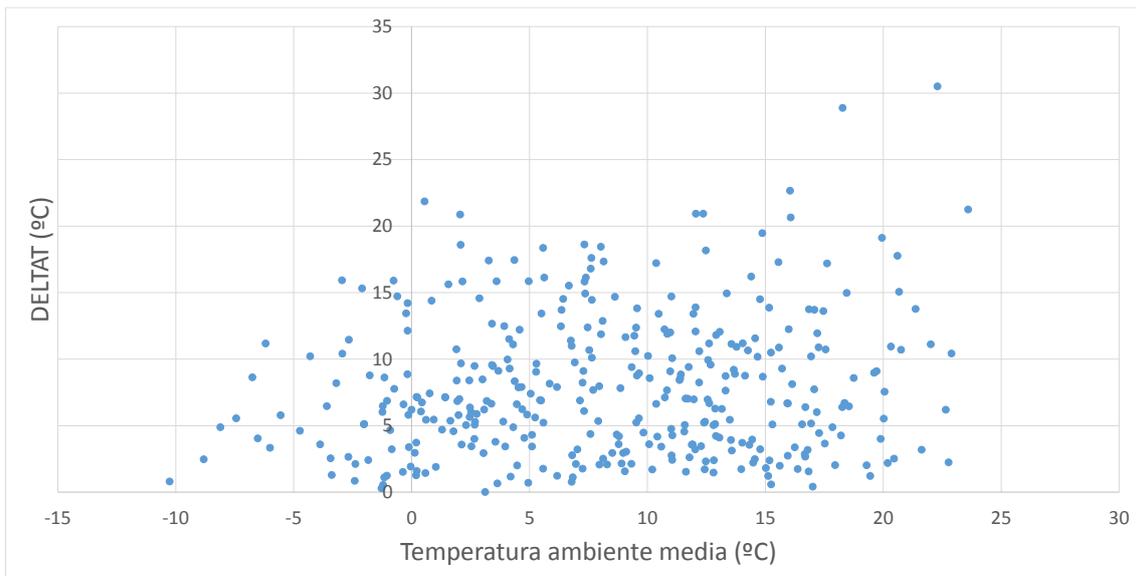
$T_{melt} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$





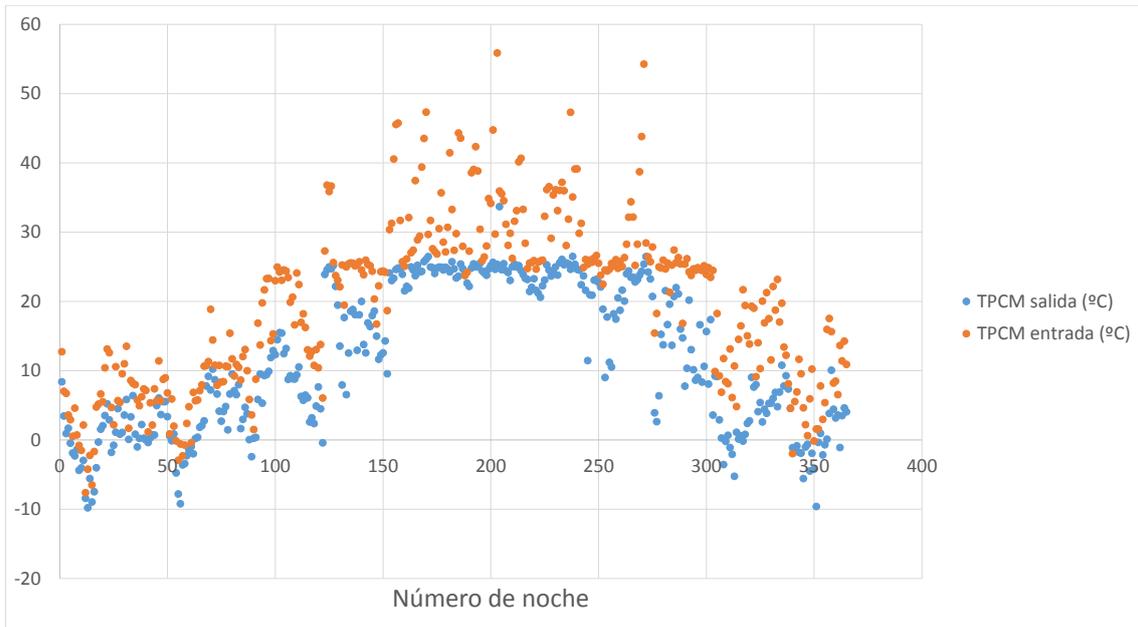
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Se observa que tanto los valores de la temperatura de entrada como de salida del PCM comienzan a igualarse.



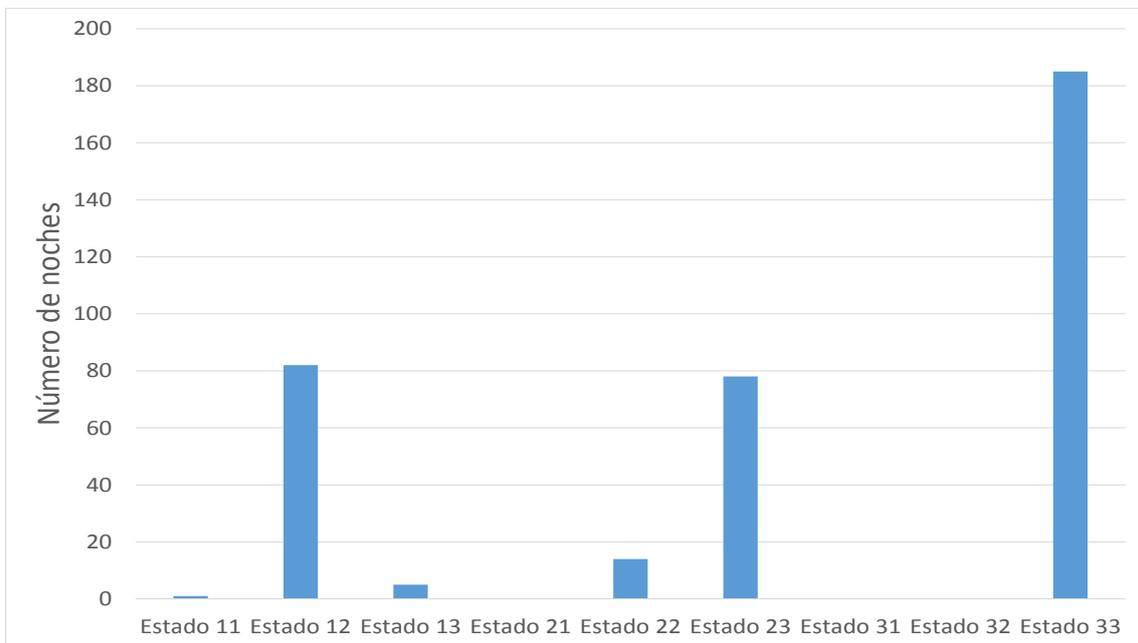
**Figura 50: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Los saltos de temperatura DELTAT empiezan a ser menores, variando en el rango de 0 °C a 15 °C, por lo que habrá menos cambios de estado del PCM.



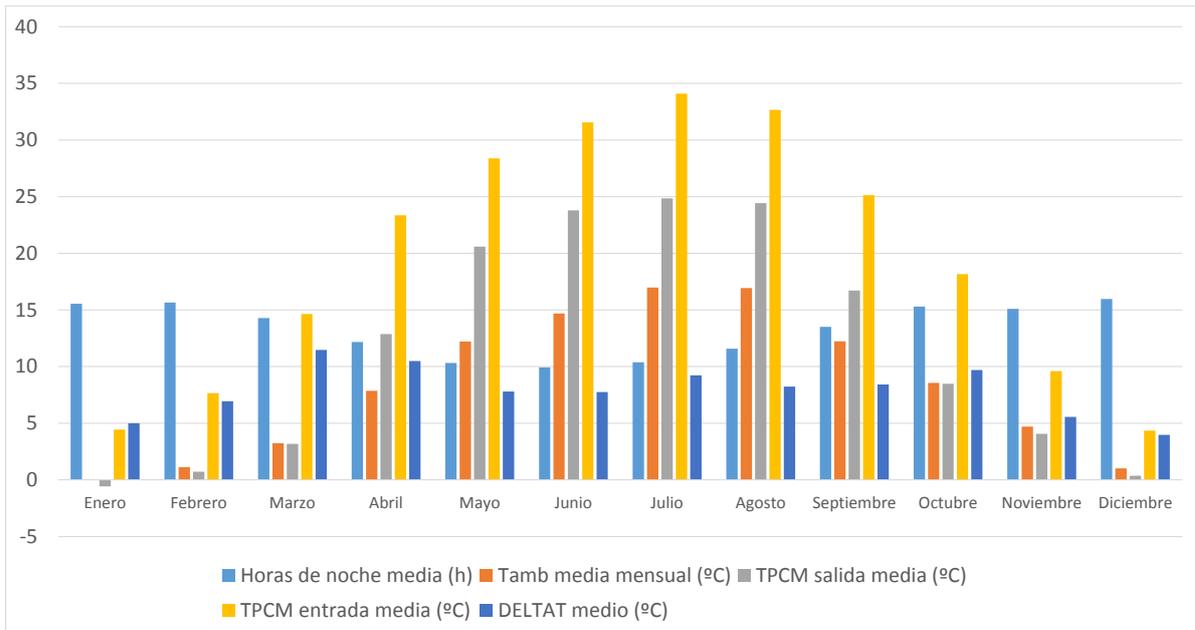
**Figura 51:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Se destacaba en la anterior gráfica homónima a ésta que las temperaturas, tanto del PCM a la entrada como a la salida, comienzan a igualarse en los meses de primavera-verano, como se observa en la figura 51.



**Figura 52:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Como se había comentado anteriormente, el número de noches en los que el PCM cambia de estado son menores debido a que la temperatura melt seleccionada comienza a acercarse a la óptima.



**Figura 53:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

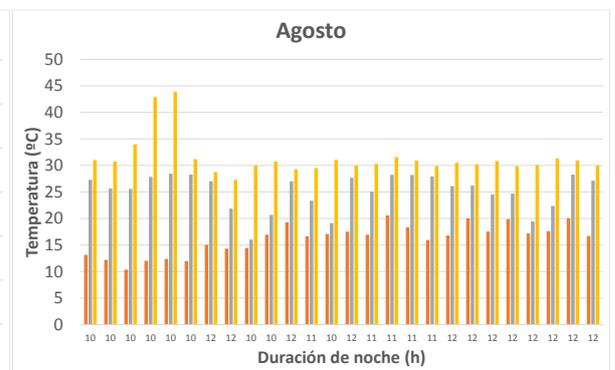
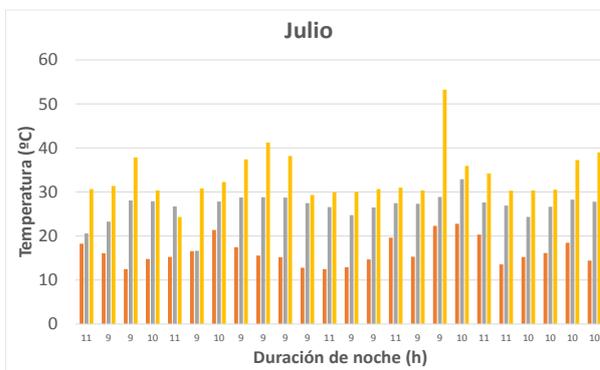
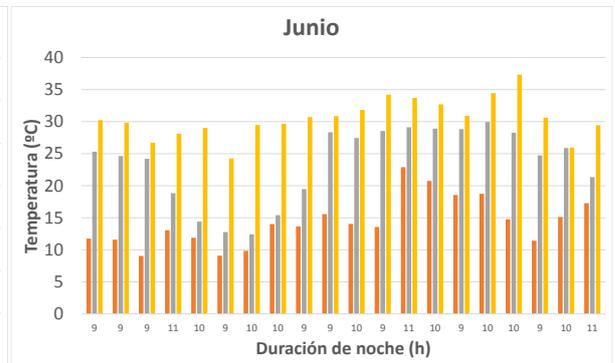
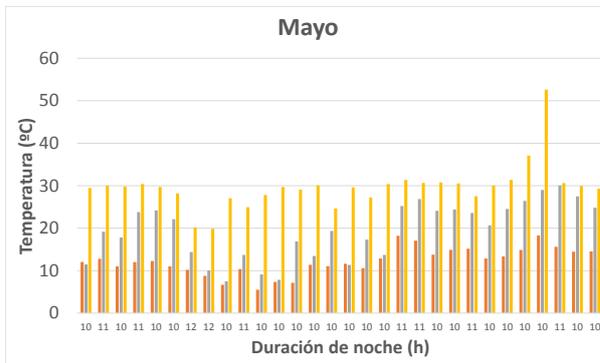
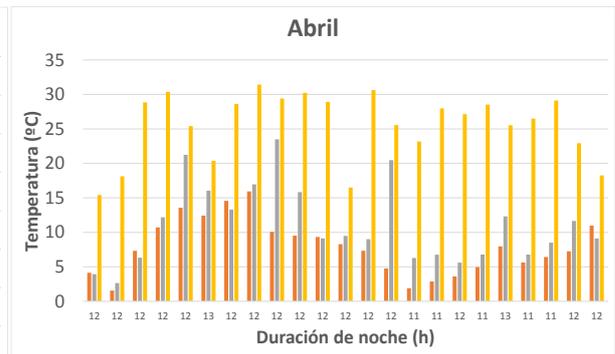
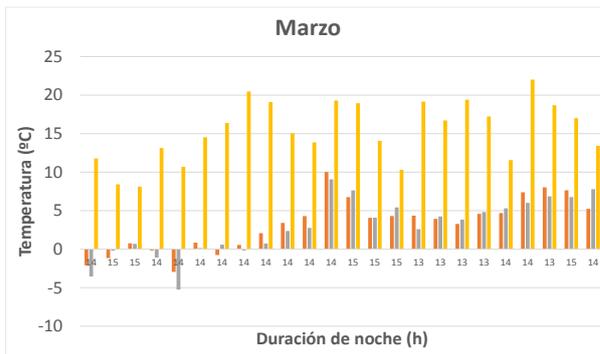
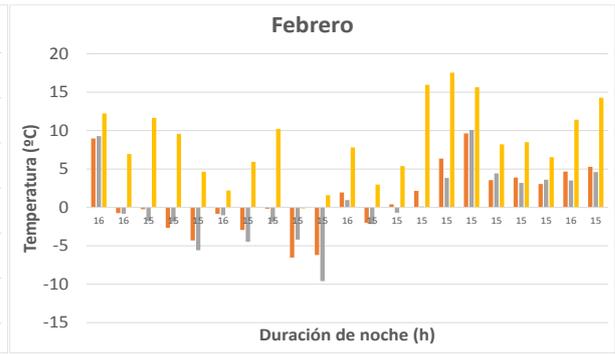
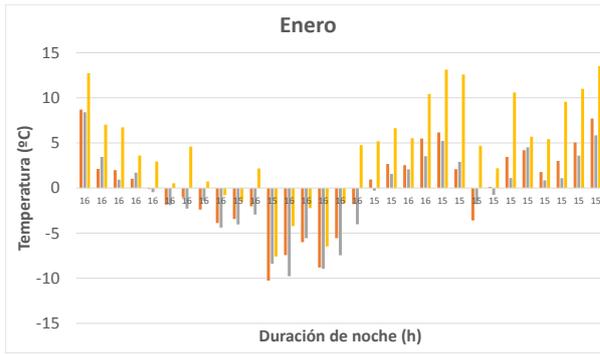
Con todo lo anterior, todavía no se consigue una uniformidad en las temperaturas de interés mensualmente, como se representa en la figura 53.

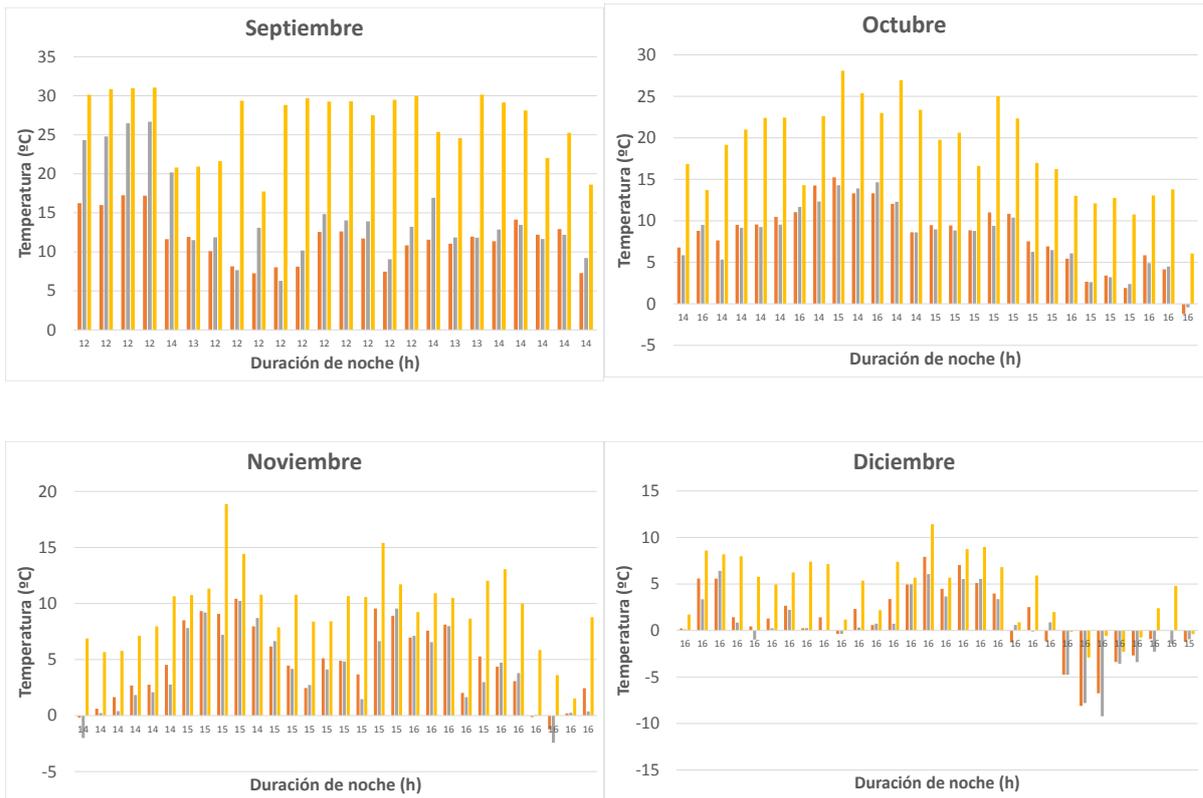
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,17	14,64	11,47
<b>Abril</b>	12,17	7,86	12,86	23,36	10,50
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	20,58	28,38	7,80
<b>Junio</b>	9,93	14,69	23,79	31,55	7,75
<b>Julio</b>	10,39	16,97	24,85	34,09	9,23
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	24,42	32,66	8,24
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	16,72	25,13	8,41
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,47	18,16	9,69
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 14:** datos promediados para la representación de la figura 53 para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

En la tabla, la temperatura media mensual del PCM a la salida no consigue una uniformidad en torno al valor de la temperatura melt, y la temperatura media mensual del PCM a la entrada supera varias veces a dicha temperatura melt.

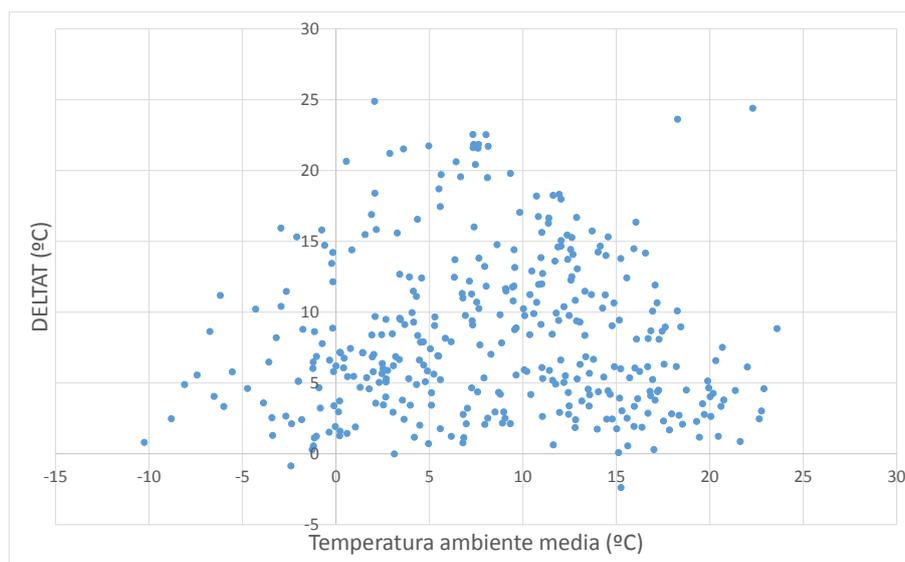
$T_{melt} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$





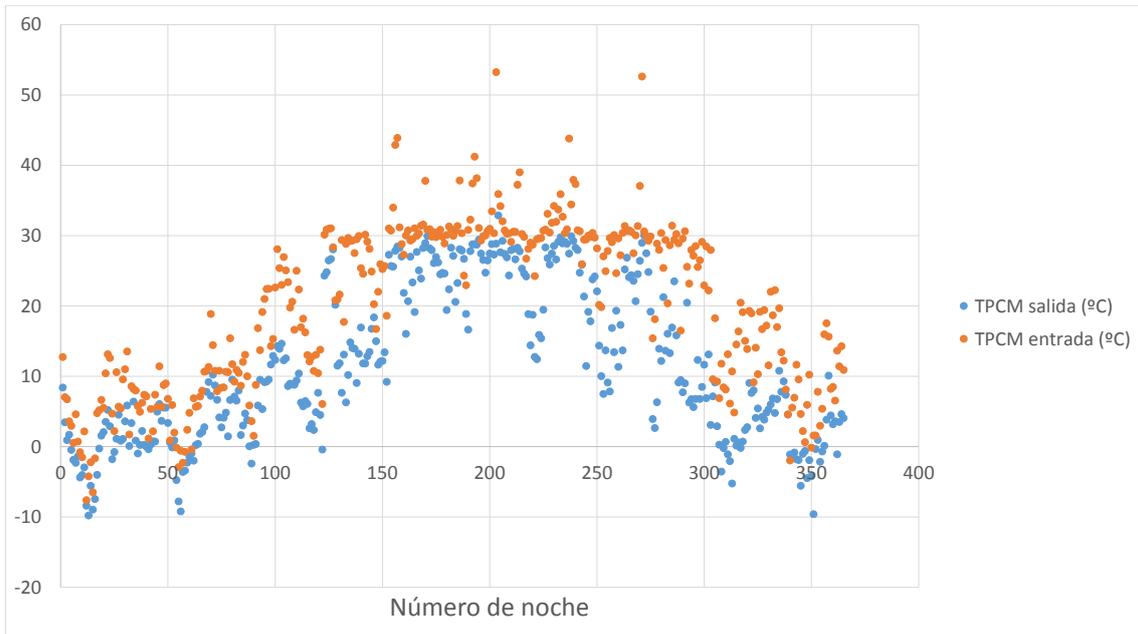
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Se puede ver, en el grupo de gráficas, que la temperatura de entrada del PCM alcanza el valor impuesto de la  $T_{melt}$  en muchas ocasiones y en los meses templados y cálidos.



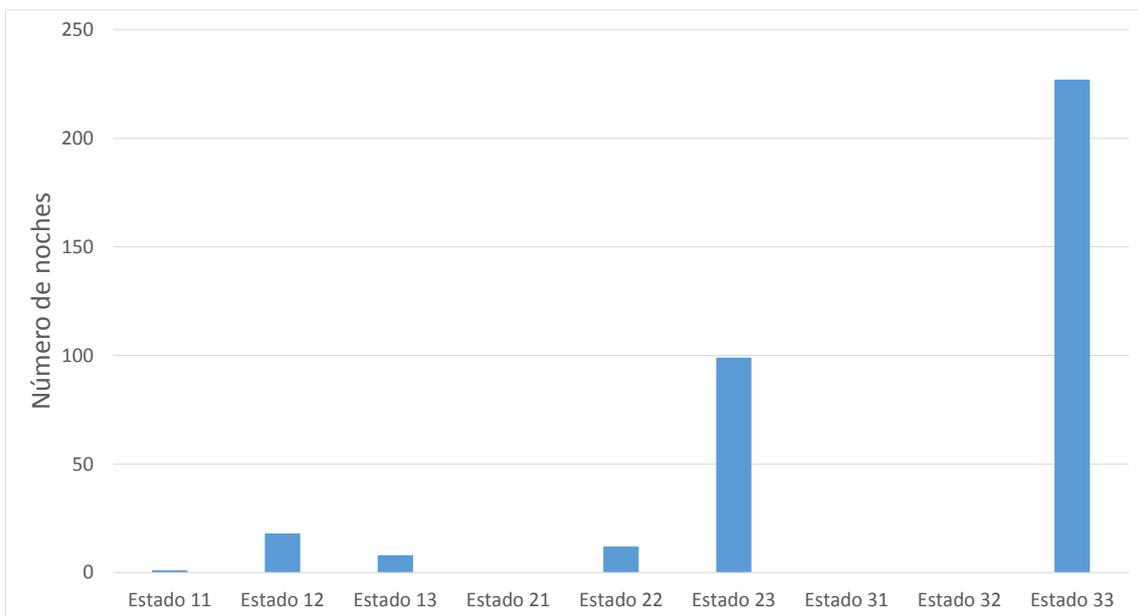
**Figura 54: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Se sigue manteniendo el mismo rango de valores en los que se concentran los puntos de DELTAT, reiterando que esto es signo de cercanía a una temperatura óptima.



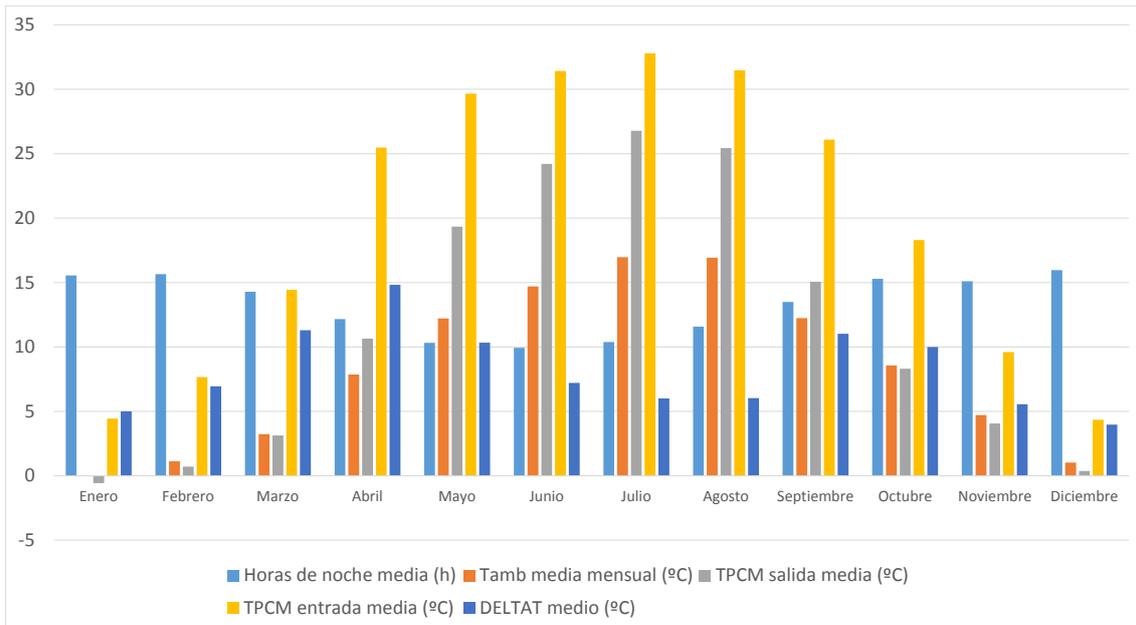
**Figura 55:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Con una  $T_{melt}$  de 30 °C se puede ir apreciando una cierta estabilidad en la temperatura del PCM a la entrada y que se mantiene casi constante en el periodo comprendido de primavera-verano.



**Figura 56:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Existe predominancia del estado 33, quiere decir que el PCM apenas sufre un cambio con la  $T_{melt}$  seleccionada.



**Figura 57:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

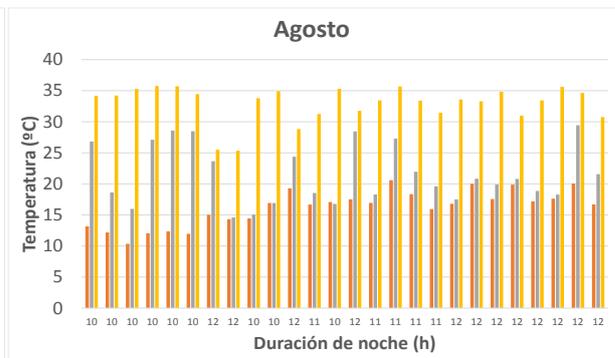
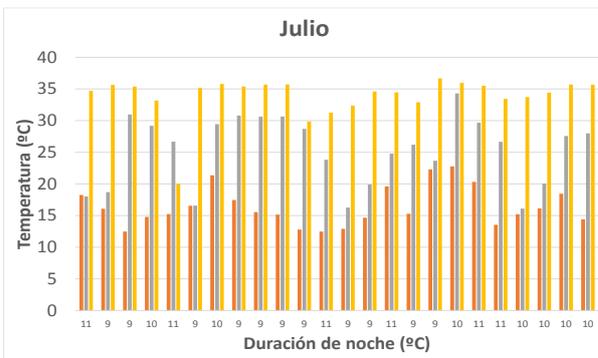
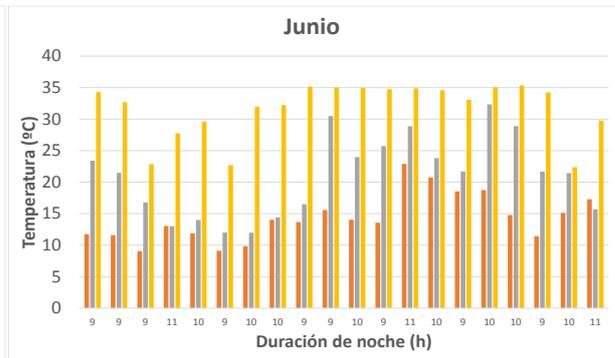
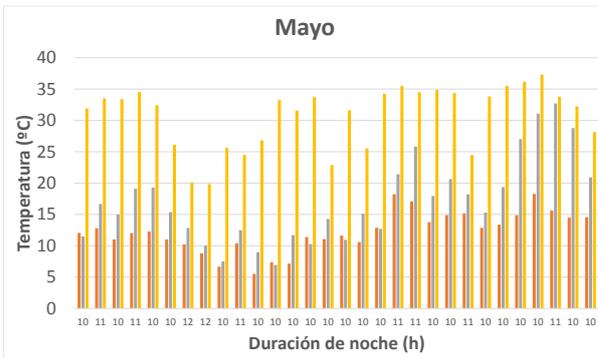
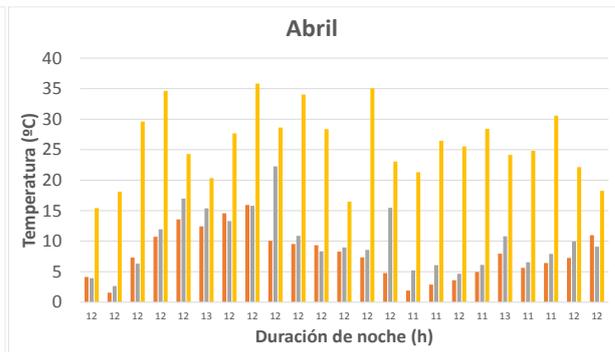
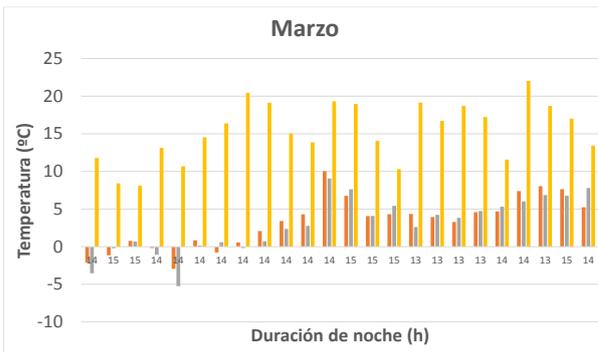
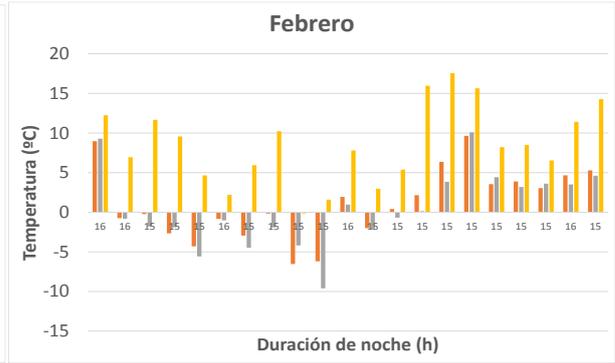
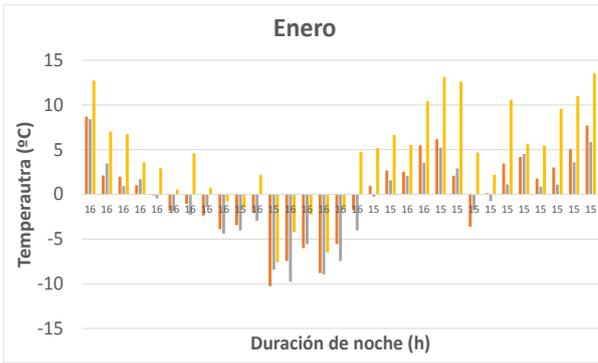
Se observa en la figura 57 que las temperaturas medias del PCM a la entrada alcanzan la temperatura seleccionada en los meses templados, mientras que en los fríos sigue el comportamiento esperado debido al severo clima de Alemania.

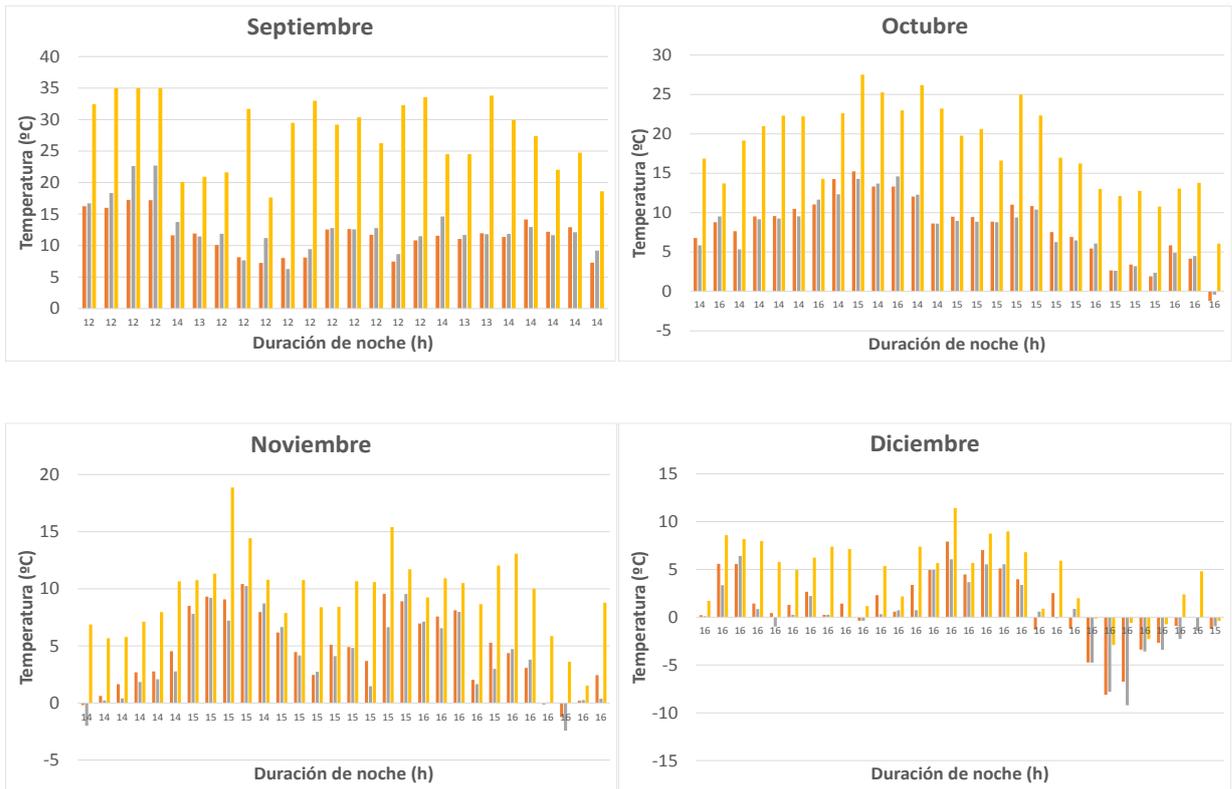
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,14	14,44	11,30
<b>Abril</b>	12,17	7,86	10,65	25,47	14,83
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	19,34	29,67	10,33
<b>Junio</b>	9,93	14,69	24,21	31,42	7,21
<b>Julio</b>	10,39	16,97	26,78	32,79	6,00
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	25,43	31,47	6,03
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	15,06	26,09	11,03
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,31	18,31	9,99
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 15:** datos promediados para la representación de la figura 57 para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Lo anterior puede verse representado en la tabla 15, donde algunos valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada alcanza la  $T_{melt}$  en los meses intermedios.

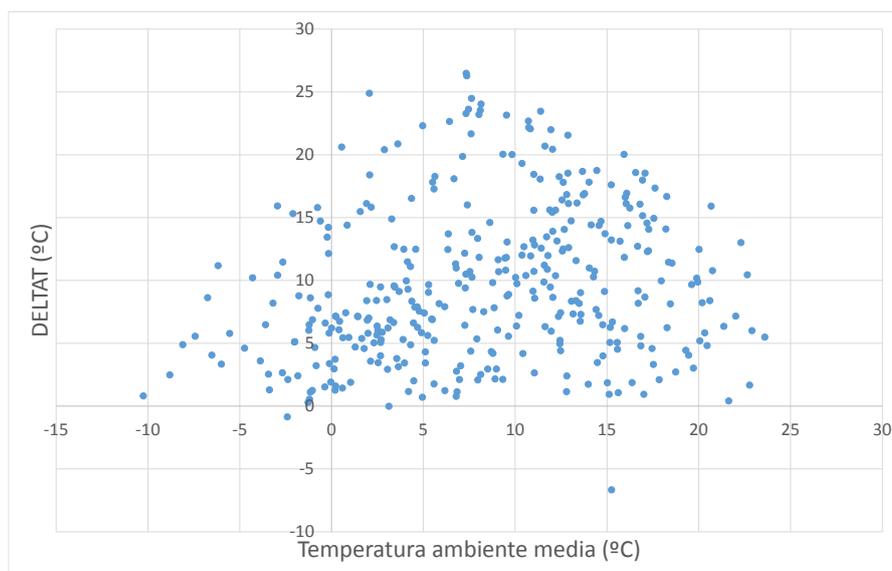
$T_{melt} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$





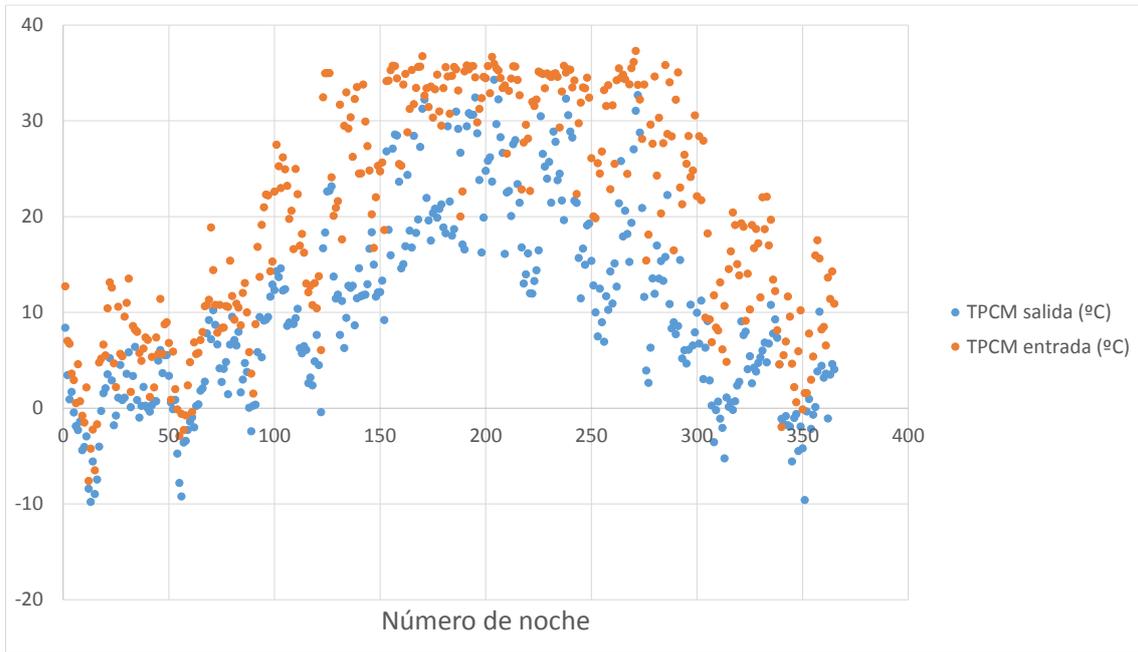
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Se repite el comportamiento en el que la temperatura de entrada del PCM alcanza el valor de la  $T_{melt}$  seleccionada.



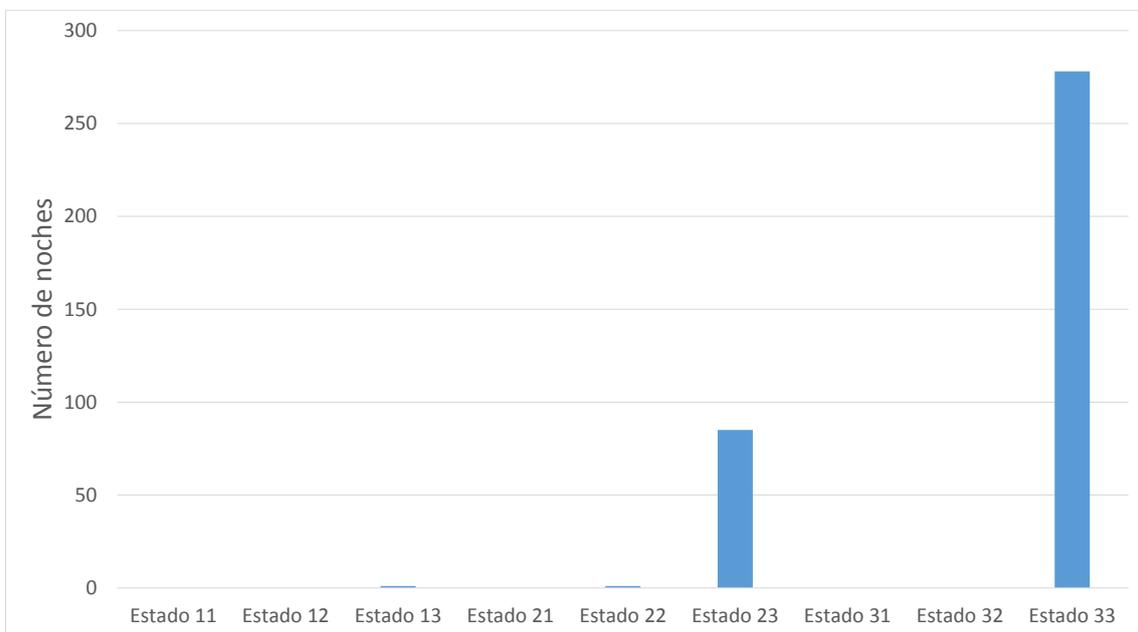
**Figura 58: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

La dispersión de punto es un poco más amplia comparada con la  $T_{melt}$  anterior, como se observa en la figura 58, aunque se aprecia poco, por lo que se puede decir que la temperatura  $T_{melt}$  de 30 °C es la óptima para esta localización.



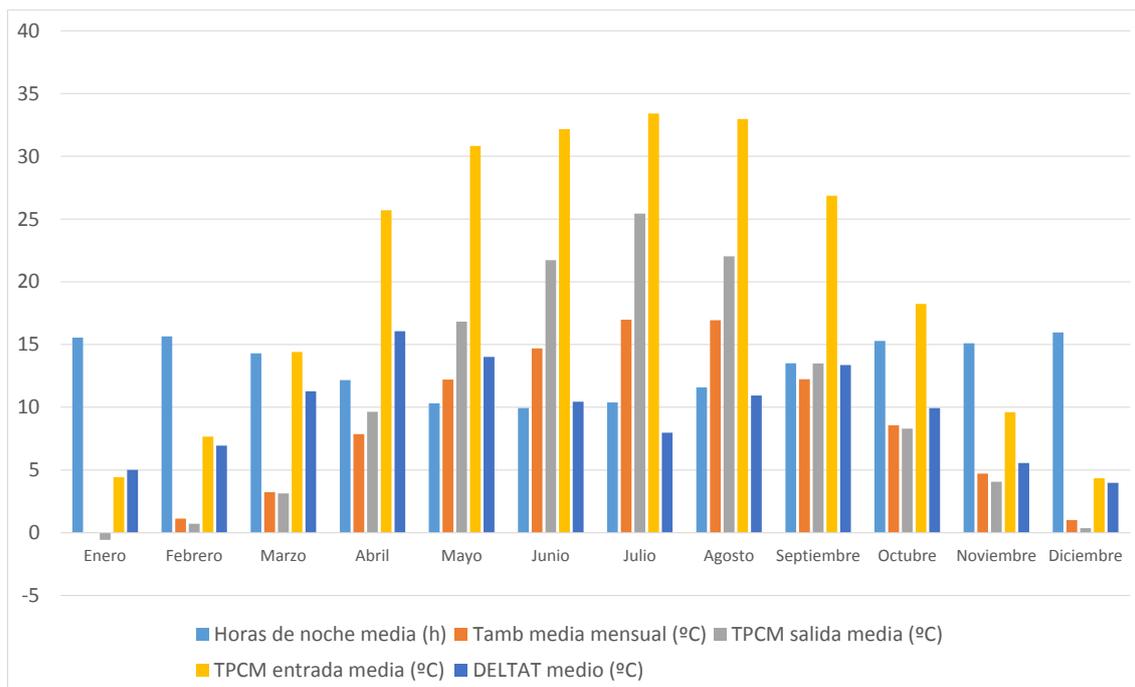
**Figura 59:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Se ve claramente, en la figura 59, que los valores de las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida se están separando.



**Figura 60:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Ya no hay demasiados cambios de estados del PCM y la gran mayoría comienzan en el 3 y acaban en el 3, como se representa en la figura 60.



**Figura 61:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

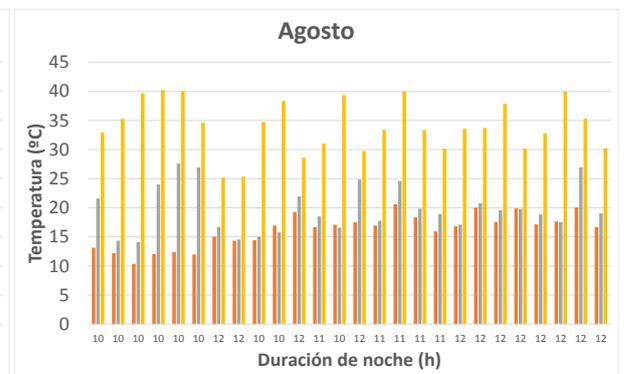
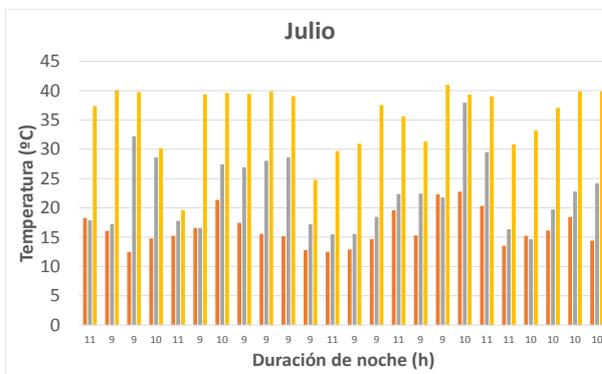
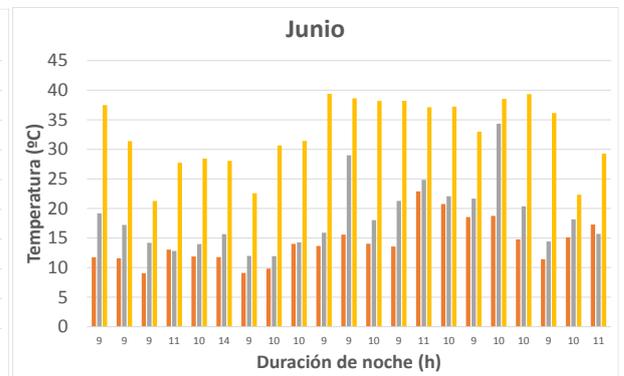
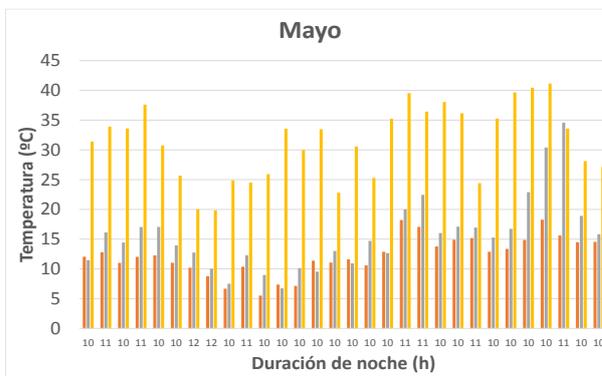
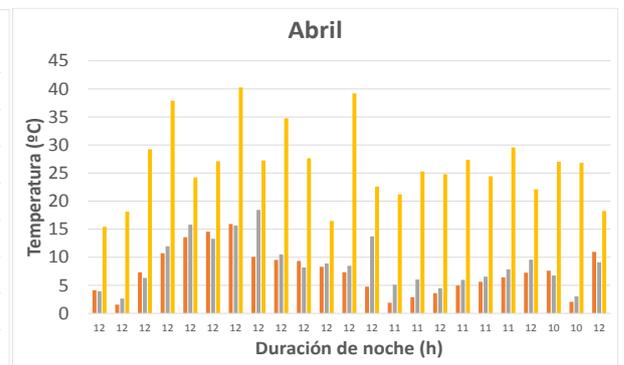
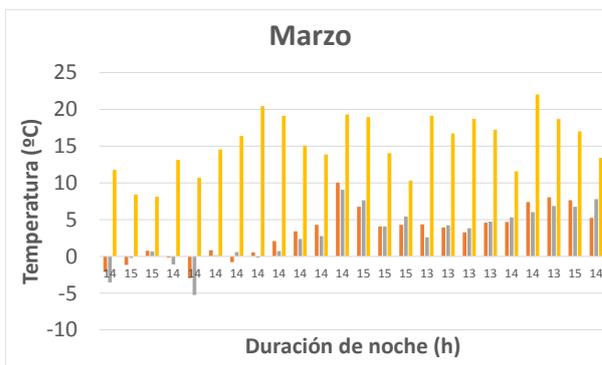
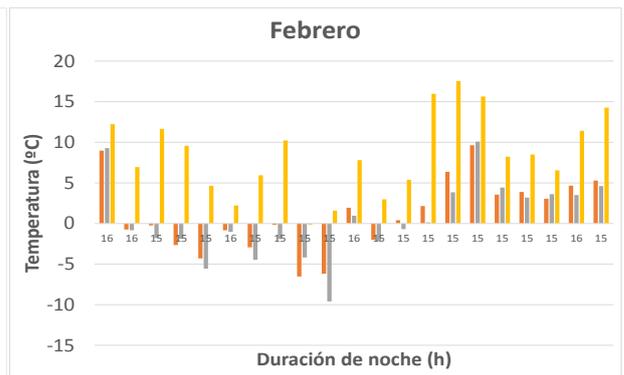
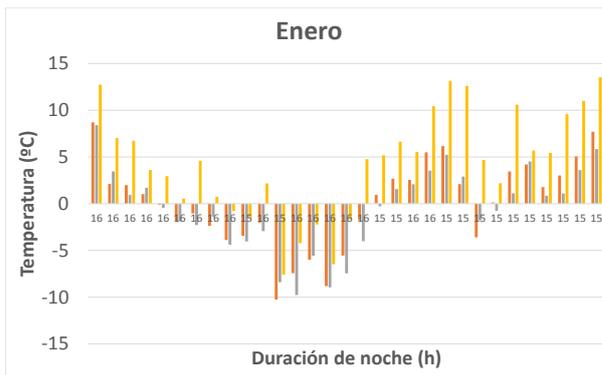
Las temperaturas de entrada y salida del PCM mensuales no consiguen llegar al valor de la  $T_{melt}$  seleccionada.

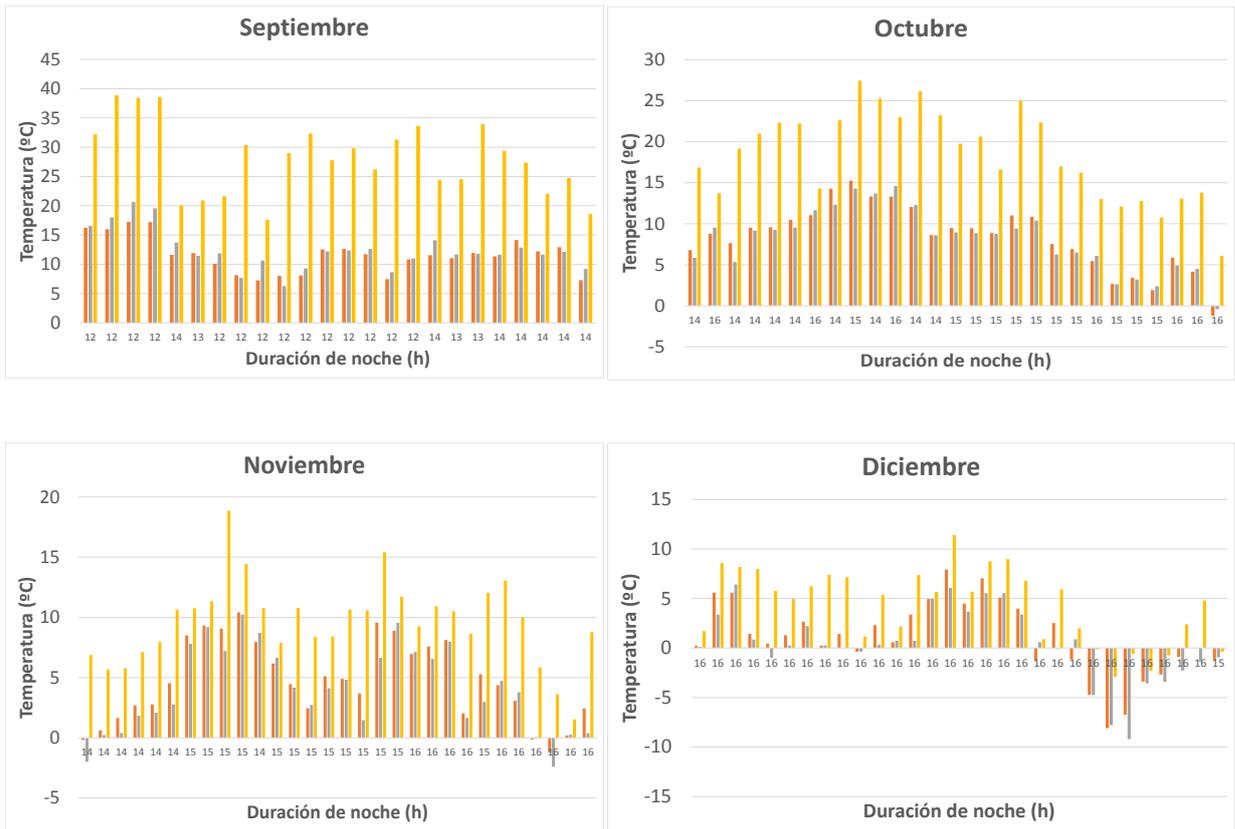
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,13	14,41	11,28
<b>Abril</b>	12,17	7,86	9,64	25,70	16,05
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	16,82	30,83	14,02
<b>Junio</b>	9,93	14,69	21,72	32,16	10,44
<b>Julio</b>	10,39	16,97	25,44	33,41	7,97
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	22,04	32,98	10,94
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	13,49	26,86	13,37
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,30	18,24	9,94
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 16:** datos promediados para la representación de la figura 61 para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Se aprecia en la tabla 16 lo comentado en la figura 61.

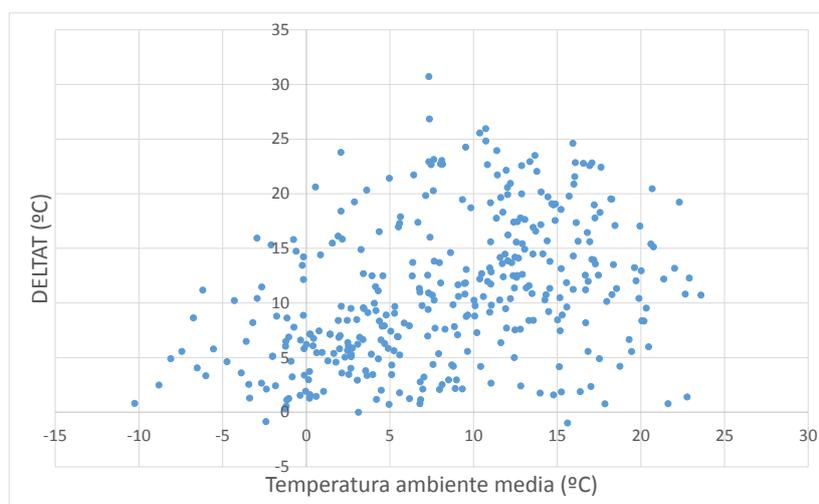
$T_{melt} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$





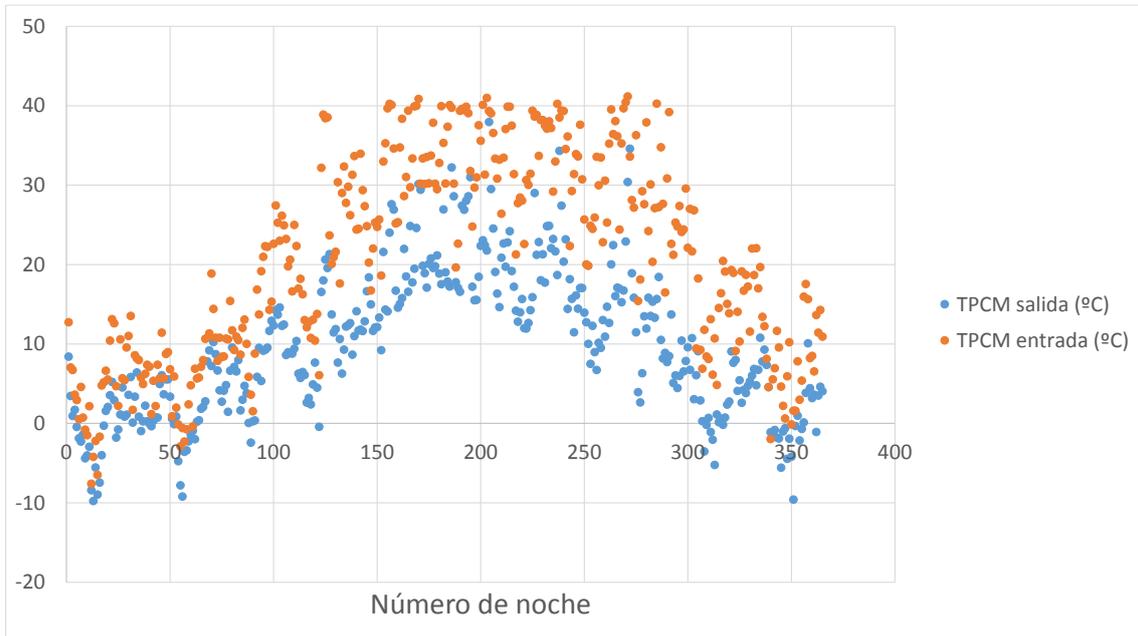
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Para una  $T_{melt}$  de 40 °C, la temperatura de entrada del PCM ya no consigue llegar a ese valor impuesto en varias ocasiones, con lo que se puede ir adelantando que las siguientes temperaturas tendrán un comportamiento similar o peor.



**Figura 62: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

En la figura 62, se puede ver que la dispersión es aún mayor que para la  $T_{melt}$  anterior, poniendo de manifiesto que se está alejando de la temperatura óptima de funcionamiento.



**Figura 63:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Los puntos de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida continúan alejándose aún más, complementando la explicación de la figura 62.



**Figura 64:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Casi todos los valores se concentran ahora en el estado 33. Esto tiene lógica, debido a que si se selecciona una temperatura muy alta de cambio de fase y no se consigue

refrigerar y optimizar, el PCM no cambiará de estado pero tampoco alcanzará un rendimiento máximo.

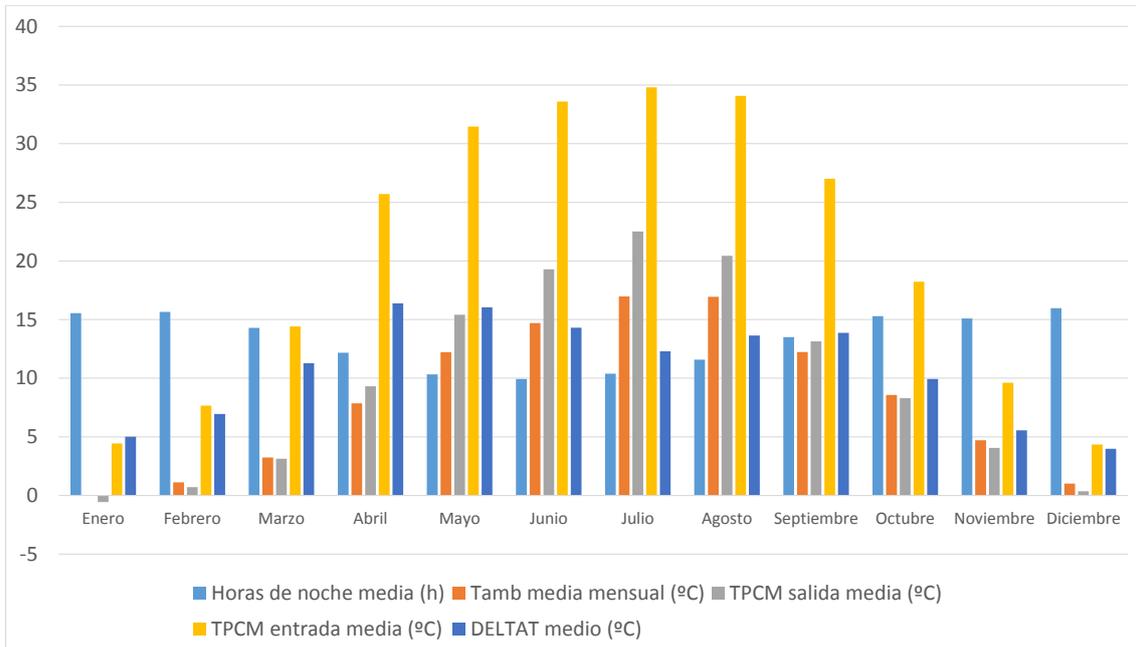


Figura 65: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

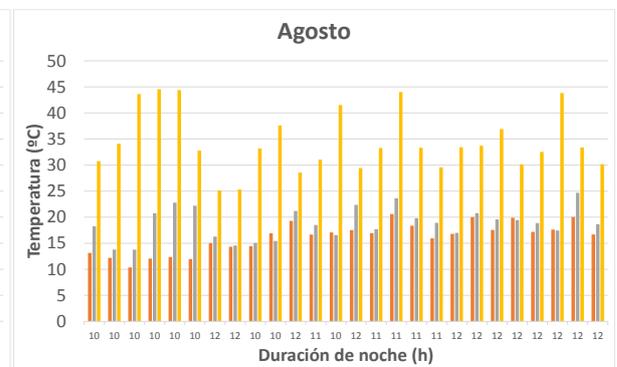
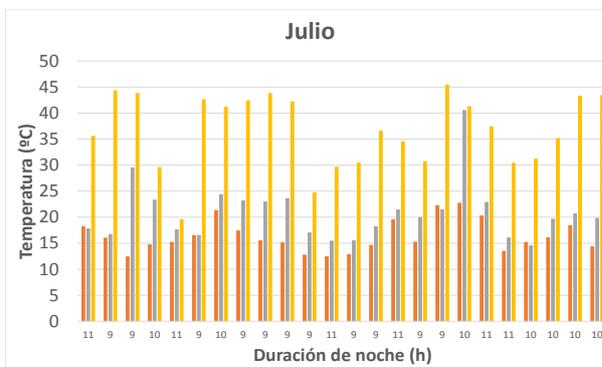
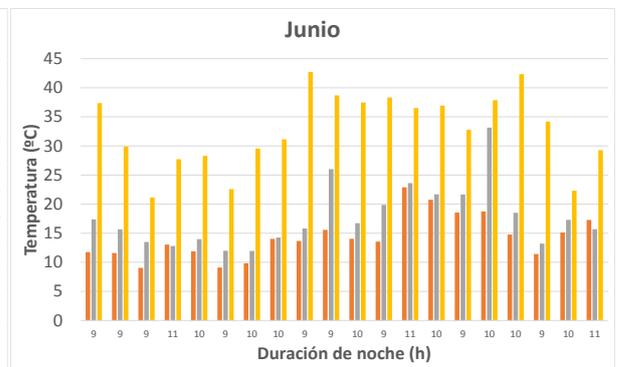
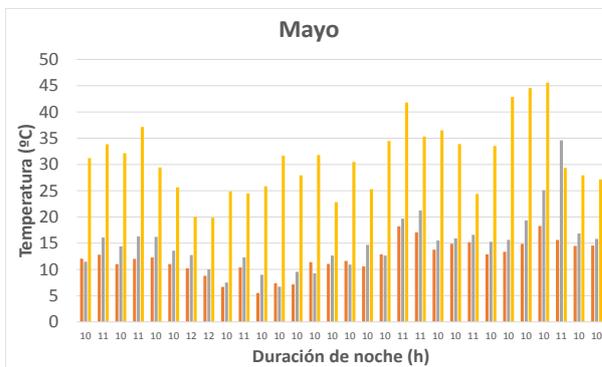
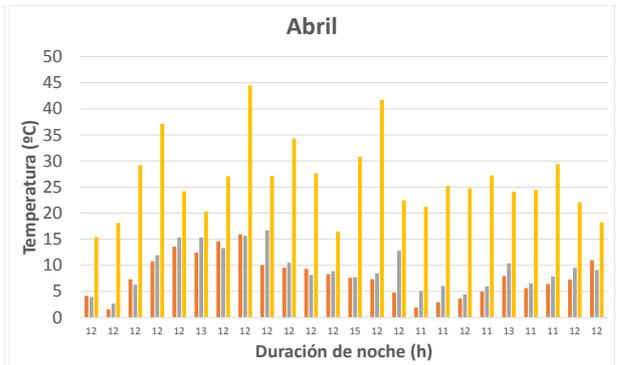
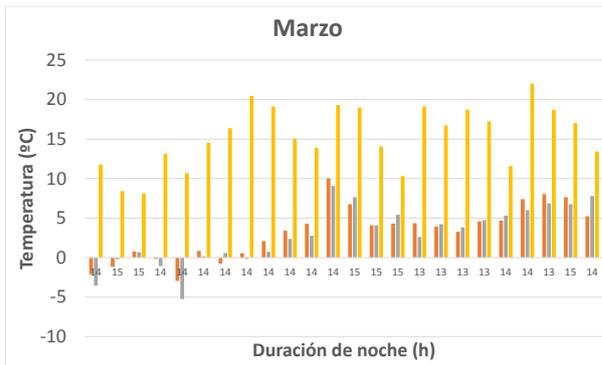
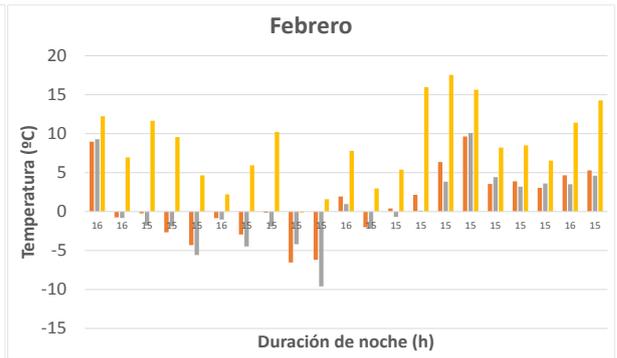
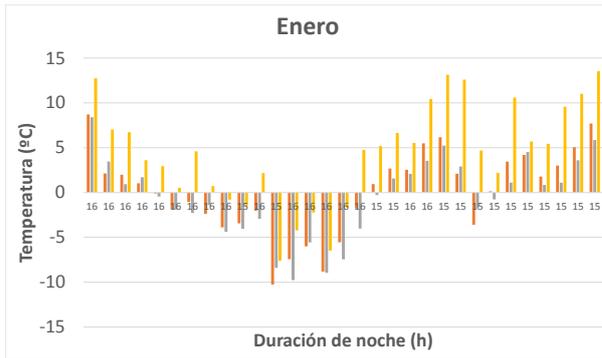
En la figura 65, se destaca que aun con la  $T_{melt}$  seleccionada, ni siquiera la temperatura del PCM a la entrada alcanza ese valor en el mes más cálido.

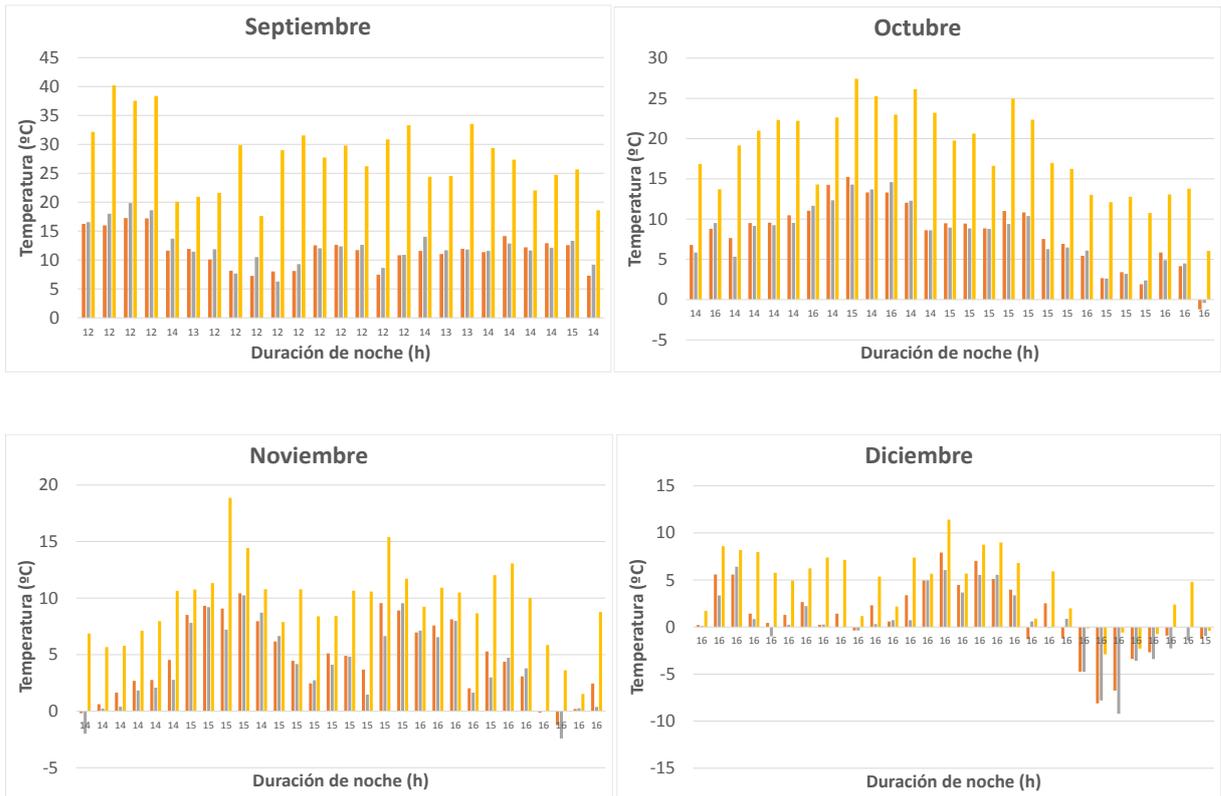
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,13	14,41	11,28
<b>Abril</b>	12,17	7,86	9,32	25,70	16,39
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	15,42	31,46	16,05
<b>Junio</b>	9,93	14,69	19,29	33,59	14,30
<b>Julio</b>	10,39	16,97	22,51	34,80	12,29
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	20,44	34,08	13,64
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	13,14	27,01	13,86
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,30	18,23	9,94
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

Tabla 17: datos promediados para la representación de la figura 65 para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Como se puede ver en la tabla 17, la temperatura media mensual del PCM a la entrada no es capaz de alcanzar la  $T_{melt}$  impuesta.

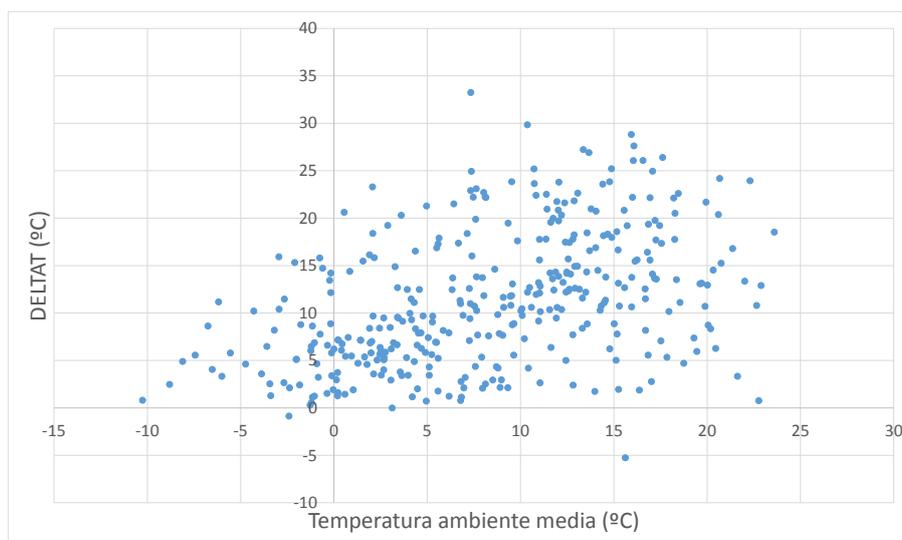
$T_{melt} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$





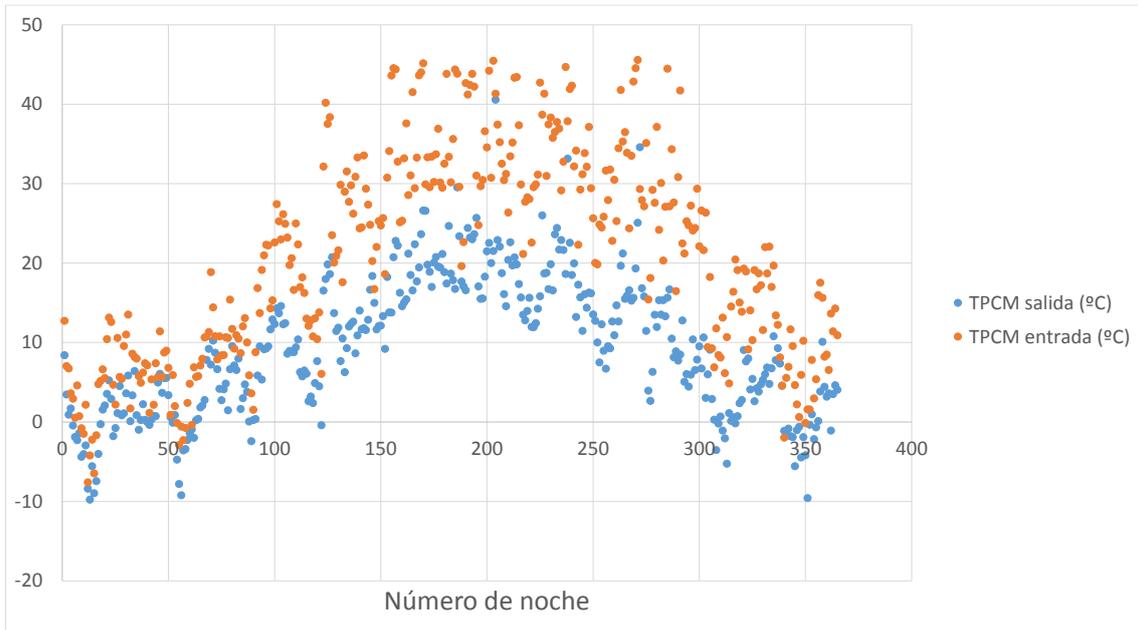
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

En el grupo de gráficas, se puede ver que apenas se alcanza el valor de la temperatura de cambio de fase seleccionada.



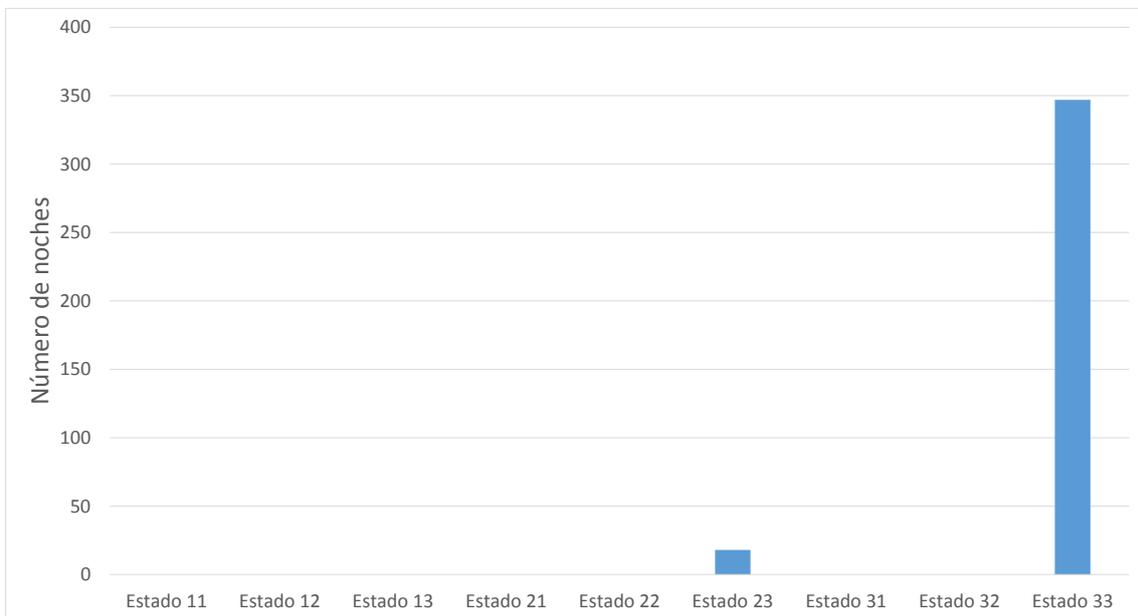
**Figura 66: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Se ve a simple vista, en la figura 66, la dispersión de puntos en cuanto a valores de DELTAT se refiere, como ya se venía avisando, y que representa un signo de temperatura no óptima.



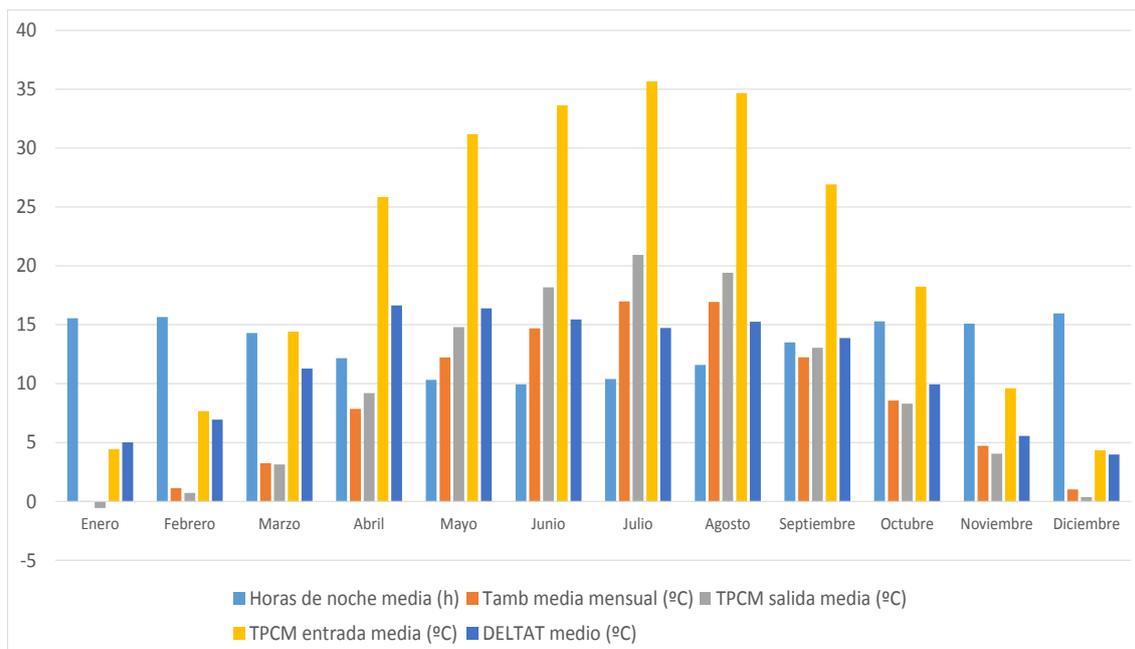
**Figura 67:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

En la figura 67, se ve la acusada distancia entre valores de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida, como se venía comentando anteriormente.



**Figura 68:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Al seleccionar una temperatura de cambio de fase tan alta, el PCM apenas cambia de estado, como se representa en la figura 68.



**Figura 69:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

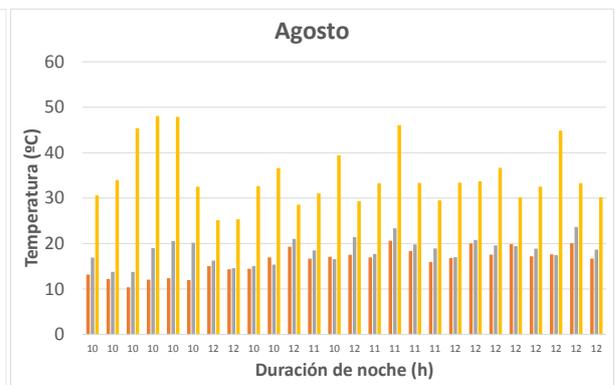
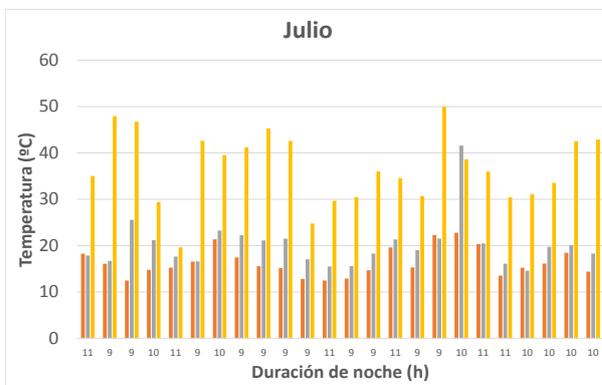
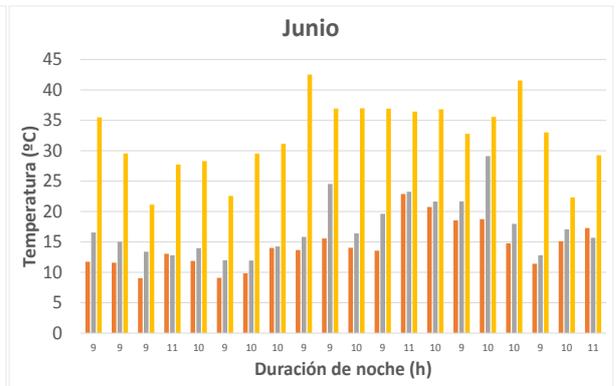
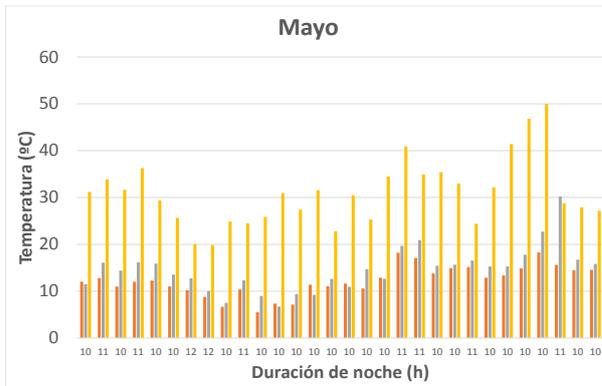
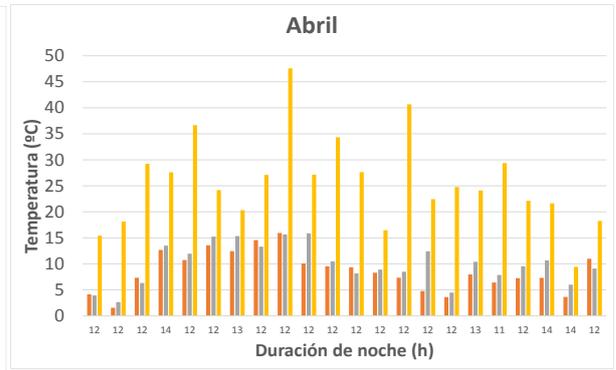
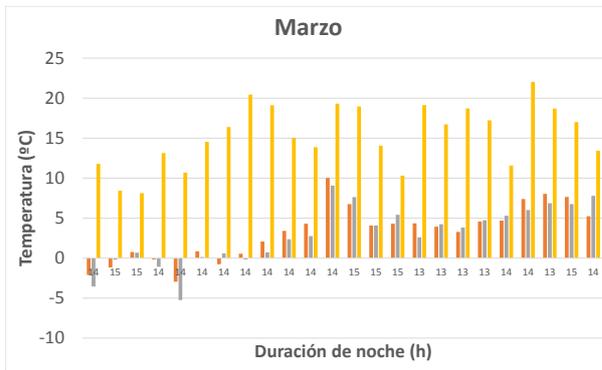
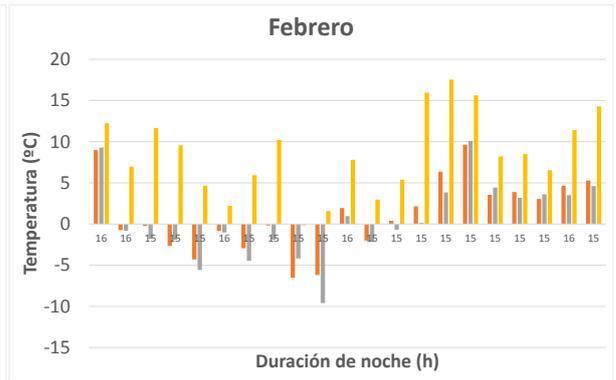
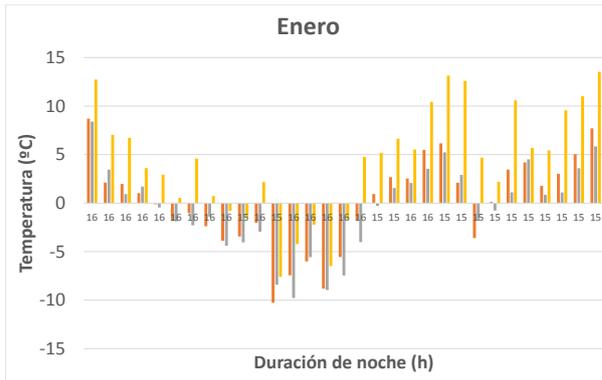
Observando la representación global, se puede ver que los valores mensuales ni siquiera se acercan a la temperatura melt seleccionada, siendo incluso 10 °C inferior a dicho valor.

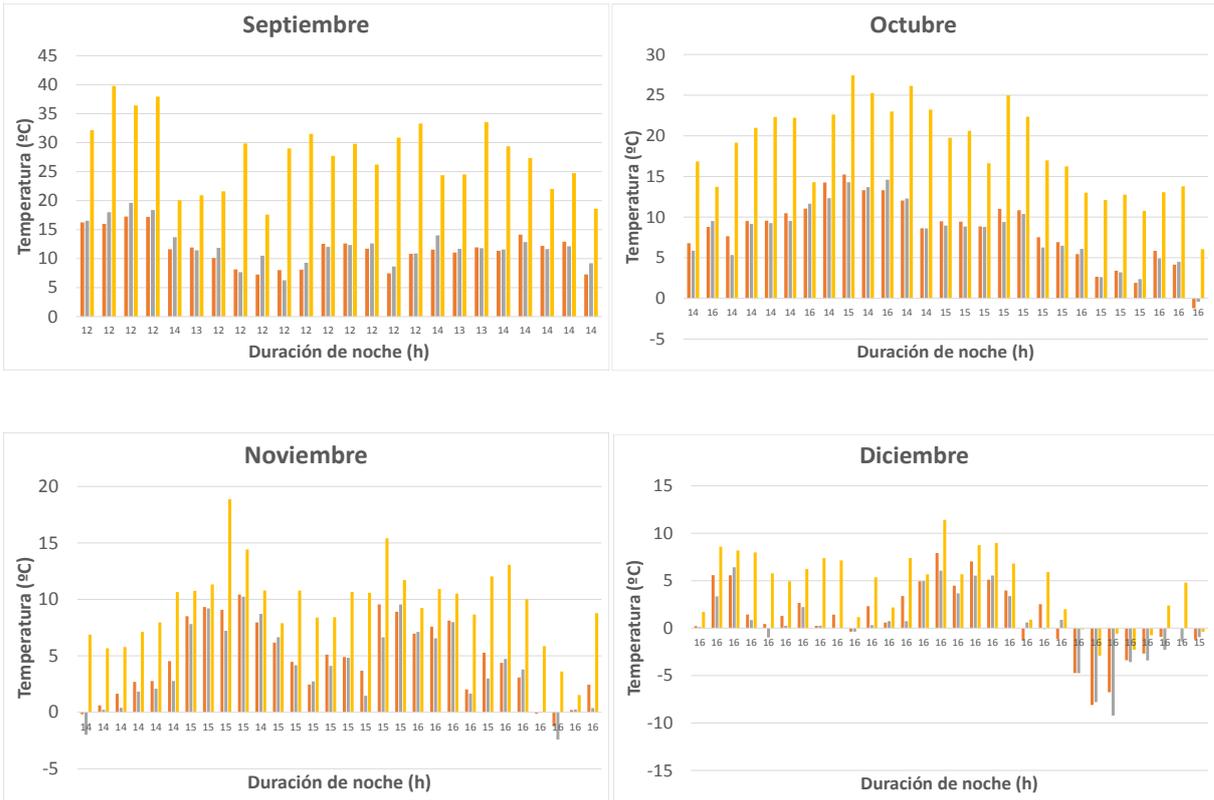
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,13	14,41	11,28
<b>Abril</b>	12,17	7,86	9,20	25,84	16,64
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	14,80	31,19	16,39
<b>Junio</b>	9,93	14,69	18,18	33,63	15,45
<b>Julio</b>	10,39	16,97	20,94	35,67	14,73
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	19,42	34,67	15,25
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	13,05	26,92	13,88
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,30	18,23	9,94
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

**Tabla 18:** datos promediados para la representación de la figura 69 para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Se aprecia, en la tabla 18, el poco efecto que tiene esta  $T_{melt}$  en los valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada.

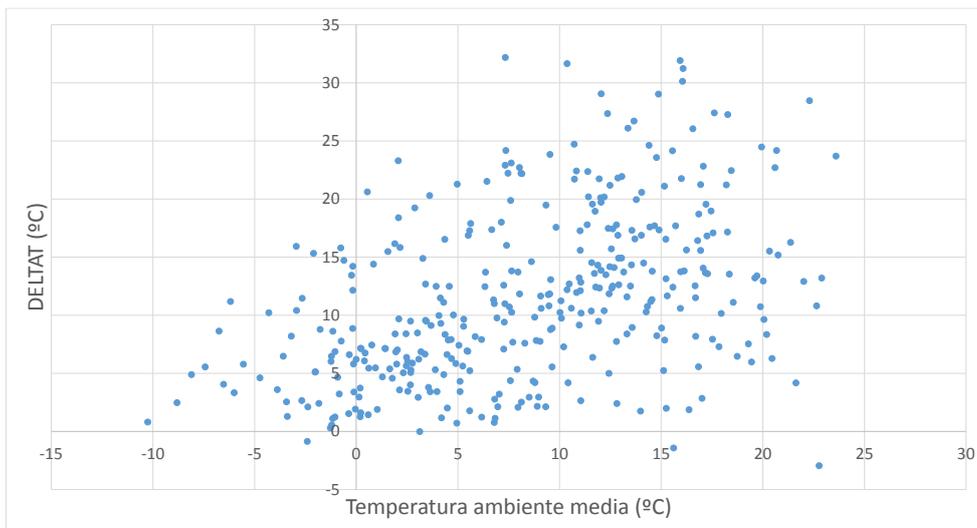
$T_{melt} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$





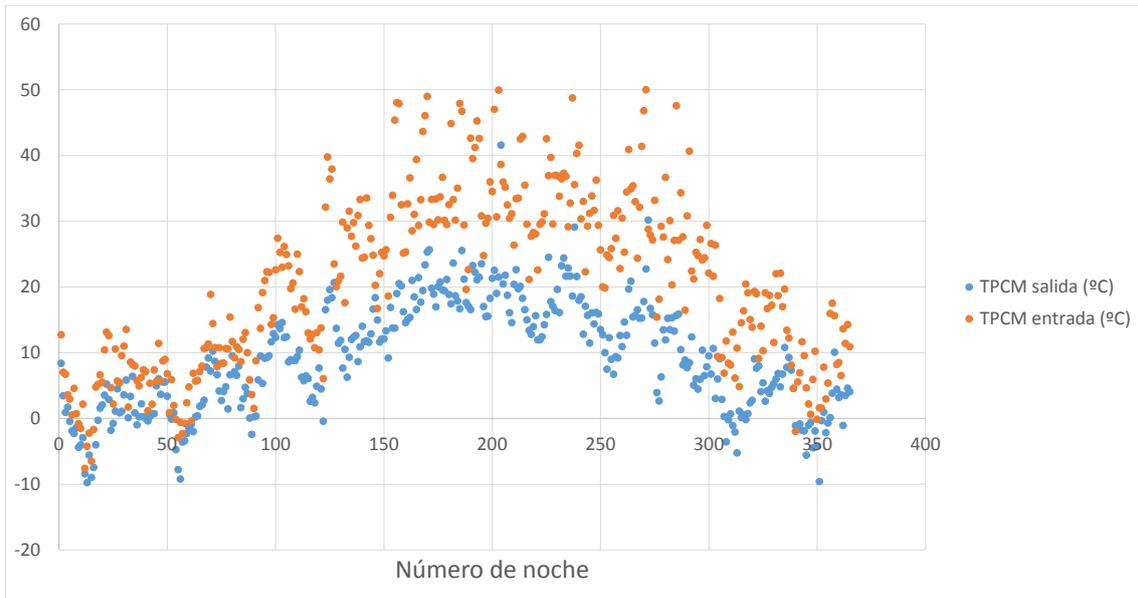
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Para una temperatura melt de 50 °C, la temperatura de salida, y mucho menos, la temperatura de entrada del PCM consigue alcanzar este valor.



**Figura 70: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Se puede ver la gran dispersión que existe en los valores de DELTAT representados en la figura 70.



**Figura 71:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se reitera, una vez más, la lejanía entre los valores de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida, como se ve en la figura 71.



**Figura 72:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se pone de manifiesto que usar una temperatura muy alta no otorga ningún beneficio positivo, tal y como se refleja en la figura 72, en el que predomina el estado 33.

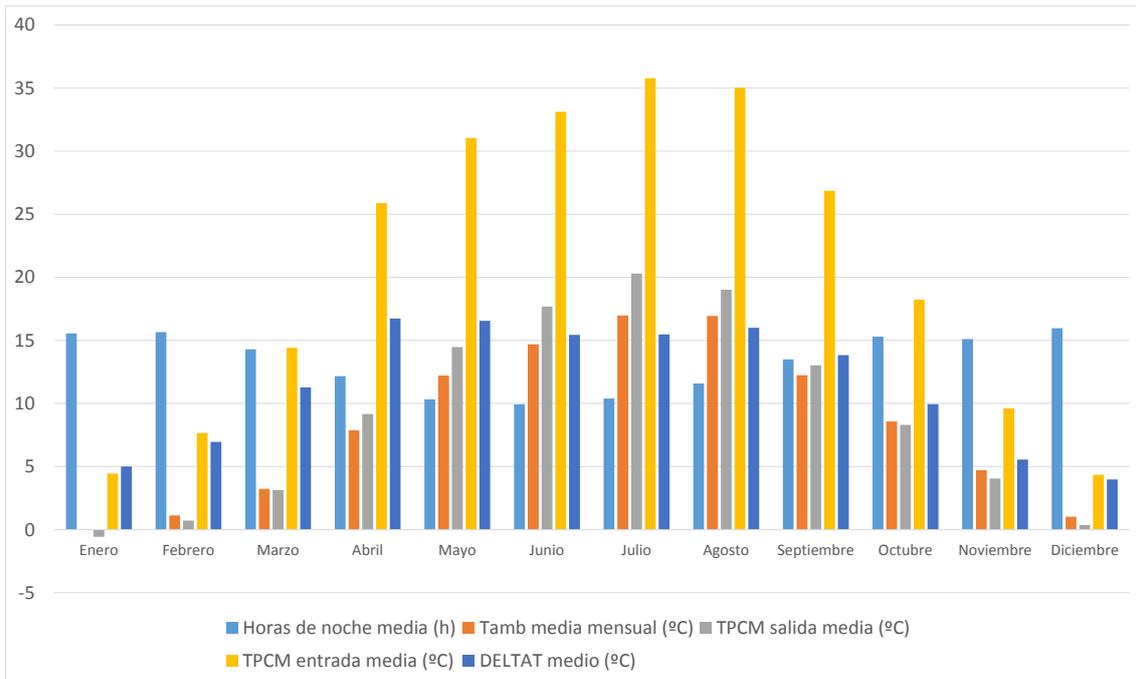


Figura 73: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 50 °C.

No se ve nada nuevo en la figura 73, los valores mensuales no alcanzan la Tmelt impuesta, siendo esto un signo de ineficiencia.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,55	0,03	-0,57	4,44	5,00
<b>Febrero</b>	15,66	1,12	0,72	7,66	6,95
<b>Marzo</b>	14,29	3,23	3,13	14,41	11,28
<b>Abril</b>	12,17	7,86	9,16	25,89	16,73
<b>Mayo</b>	10,32	12,21	14,47	31,03	16,56
<b>Junio</b>	9,93	14,69	17,69	33,12	15,43
<b>Julio</b>	10,39	16,97	20,30	35,78	15,48
<b>Agosto</b>	11,58	16,94	19,02	35,02	16,00
<b>Septiembre</b>	13,50	12,24	13,03	26,85	13,83
<b>Octubre</b>	15,29	8,56	8,30	18,23	9,94
<b>Noviembre</b>	15,10	4,71	4,06	9,61	5,55
<b>Diciembre</b>	15,97	1,02	0,37	4,34	3,97

Tabla 19: datos promediados para la representación de la figura 73 para una Tmelt de 50 °C.

Lo anterior se ve justificado en la tabla 19, donde se pone de manifiesto dicha ineficiencia.

### 9.3 Conclusiones finales de Neuhardenberg

Tmelt	Horas de noche anual media (h)	Tamb media anual (°C)	TPCM salida anual (°C)	TPCM entrada anual (°C)	DELTAT anual (°C)	POUT (W/m2)	Porcentaje de producción
10	13,31	8,30	10,10	19,87	9,77	151173,51	5,61
15	13,31	8,30	10,54	19,82	9,28	151463,15	5,81
20	13,31	8,30	11,33	19,54	8,21	151962,00	6,16
25	13,31	8,30	11,62	19,50	7,88	152554,95	6,57
30	13,31	8,30	11,46	19,64	8,18	152930,65	6,84
35	13,31	8,30	10,43	20,05	9,62	152665,96	6,65
40	13,31	8,30	9,68	20,44	10,77	151985,49	6,18
45	13,31	8,30	9,30	20,55	11,25	151413,09	5,78
50	13,31	8,30	9,14	20,53	11,39	151023,66	5,50
Sin PCM						143143,71	

Tabla 20: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.

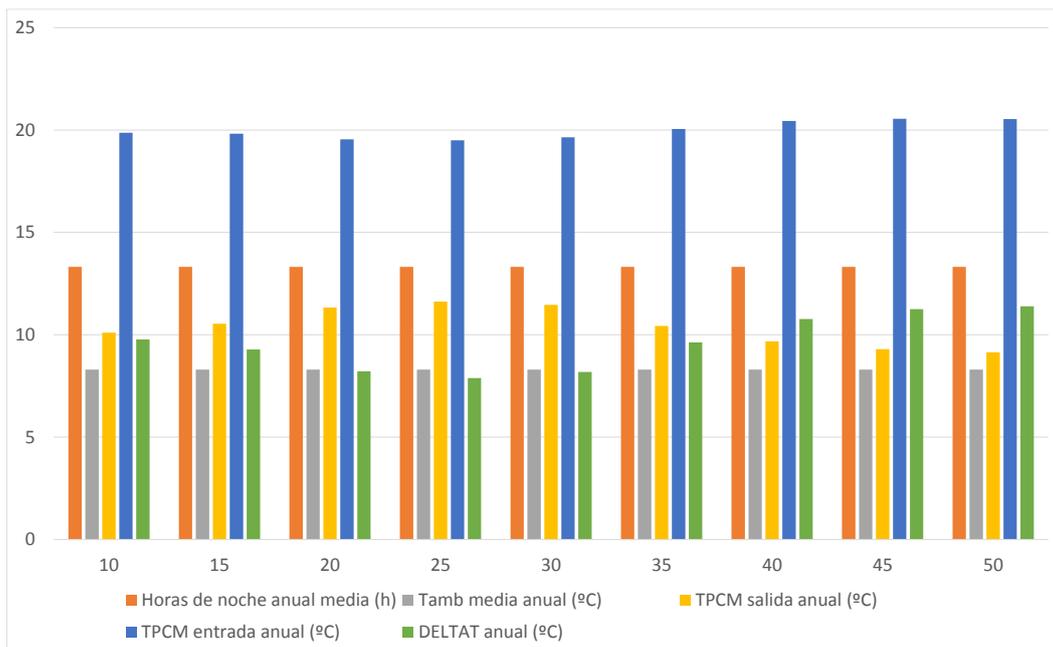


Figura 74: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada.

Como se ha visto a lo largo de las gráficas, se ve una cierta estabilidad y optimización en torno a una Tmelt de 30 °C la cual se pierde tanto al aumentar como al disminuir dicha temperatura. Además, en la tabla 20 se pone de manifiesto esta temperatura dado que el pico de producción se produce a esa temperatura, coincidiendo con el valor calculado por el método hora-hora.



## **10. Estudio de Charanka (India)**

### **10.1 Índice de figuras para Charanka**

<b>Figura 75: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 76: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 77: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 78: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 79: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 80: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 81: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 82: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 83: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 84: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 85: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 86: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 87: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 88: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 89: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 90: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>114</b>

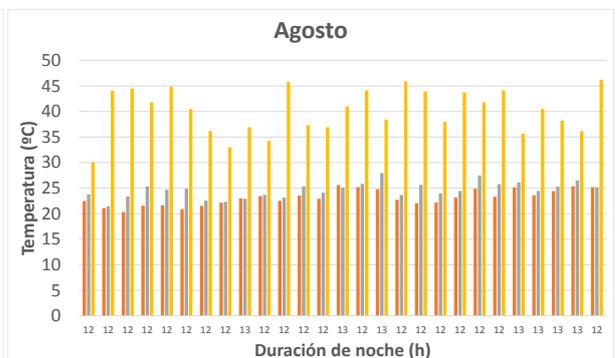
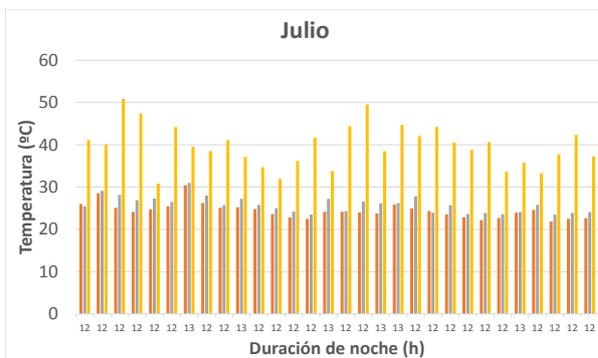
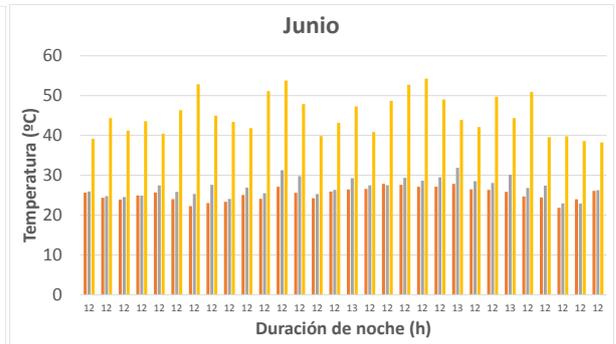
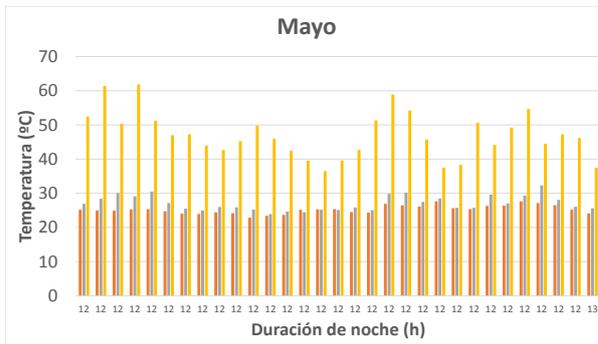
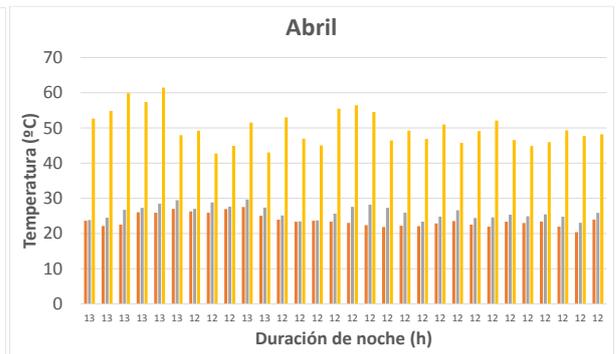
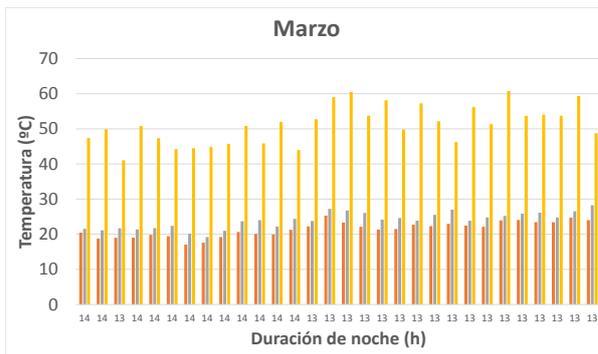
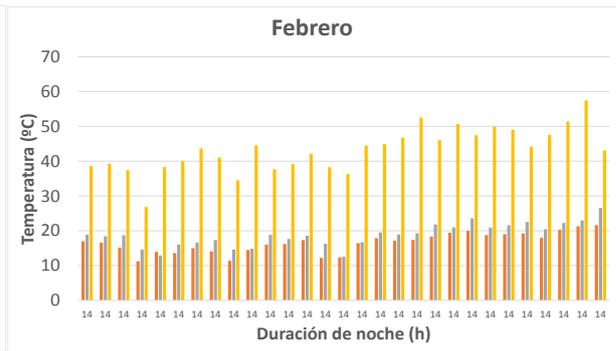
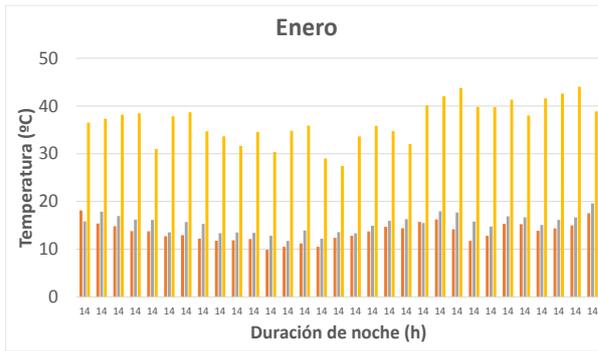
<b>Figura 91: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 92: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 93: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 94: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 95: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 96: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 97: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 98: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 99: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 100: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 101: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 102: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 103: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 104: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 105: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 106: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 107: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>132</b>

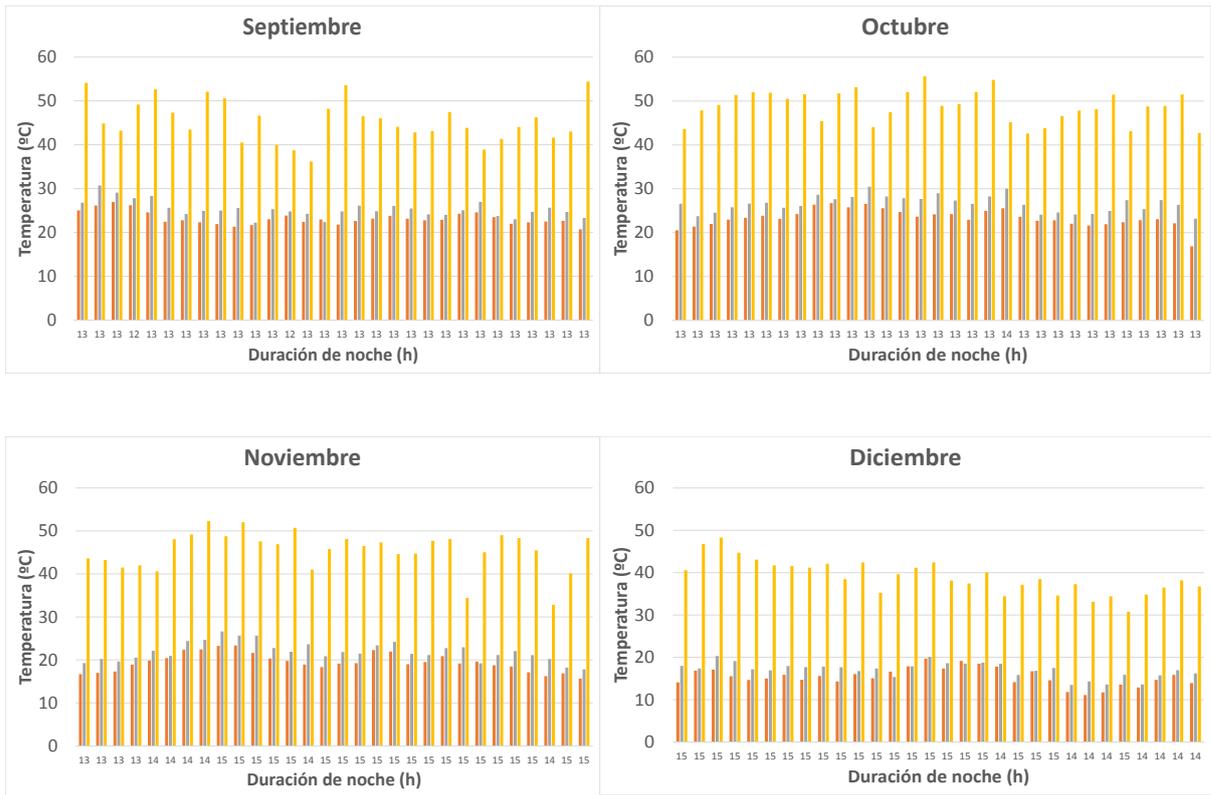
<b>Figura 108: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 109: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 110: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 111: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada <math>T_{melt}</math> analizada. ....</b>	<b>135</b>

## **10.2 Índice de tablas para Charanka**

<b>Tabla 21: datos promediados para la representación de la figura 78 para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C.....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 22: datos promediados para la representación de la figura 82 para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 23: datos promediados para la representación de la figura 86 para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 24: datos promediados para la representación de la figura 90 para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 25: datos promediados para la representación de la figura 94 para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 26: datos promediados para la representación de la figura 98 para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C.....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 27: datos promediados para la representación de la figura 102 para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C.....</b>	<b>126</b>
<b>Tabla 28: datos promediados para la representación de la figura 106 para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C.....</b>	<b>130</b>
<b>Tabla 29: datos promediados para la representación de la figura 110 para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 30: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM. ....</b>	<b>135</b>

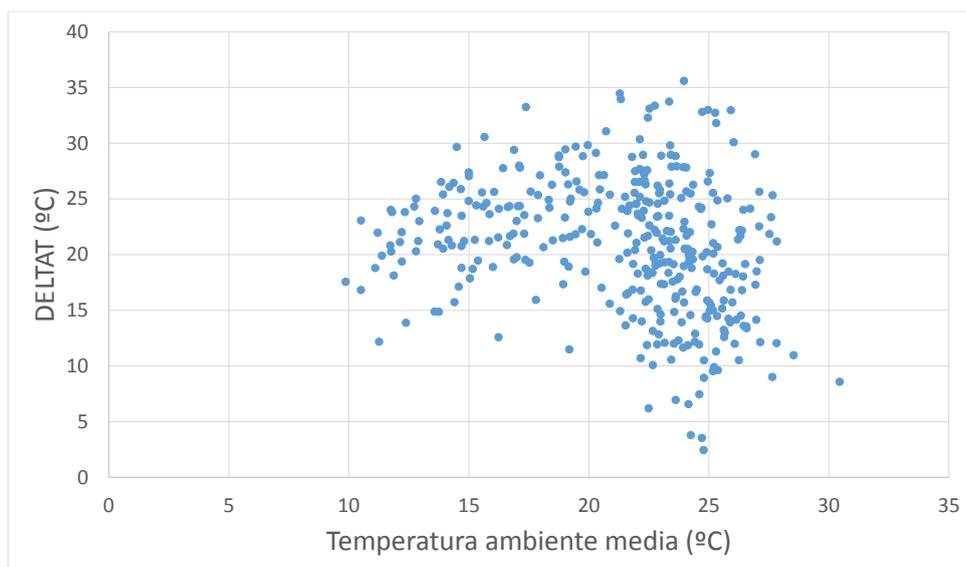
$T_{melt} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$





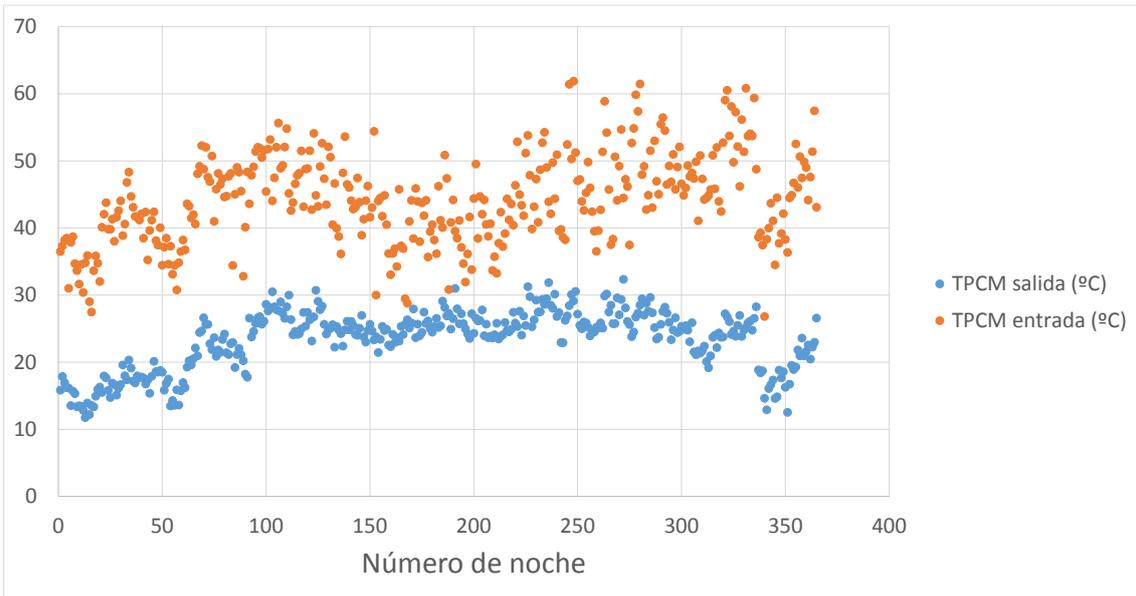
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Para una temperatura melt de 10 °C, y como se observa en el grupo de gráficas, no se obtienen ningún efecto en las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida.



**Figura 75: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Se puede ver, en la figura 75, una dispersión de puntos de los valores DELTAT que varía en el rango de 10 °C a 30 °C, en los puntos más concentrados, para una temperatura ambiente media de 20 °C a 25 °C.



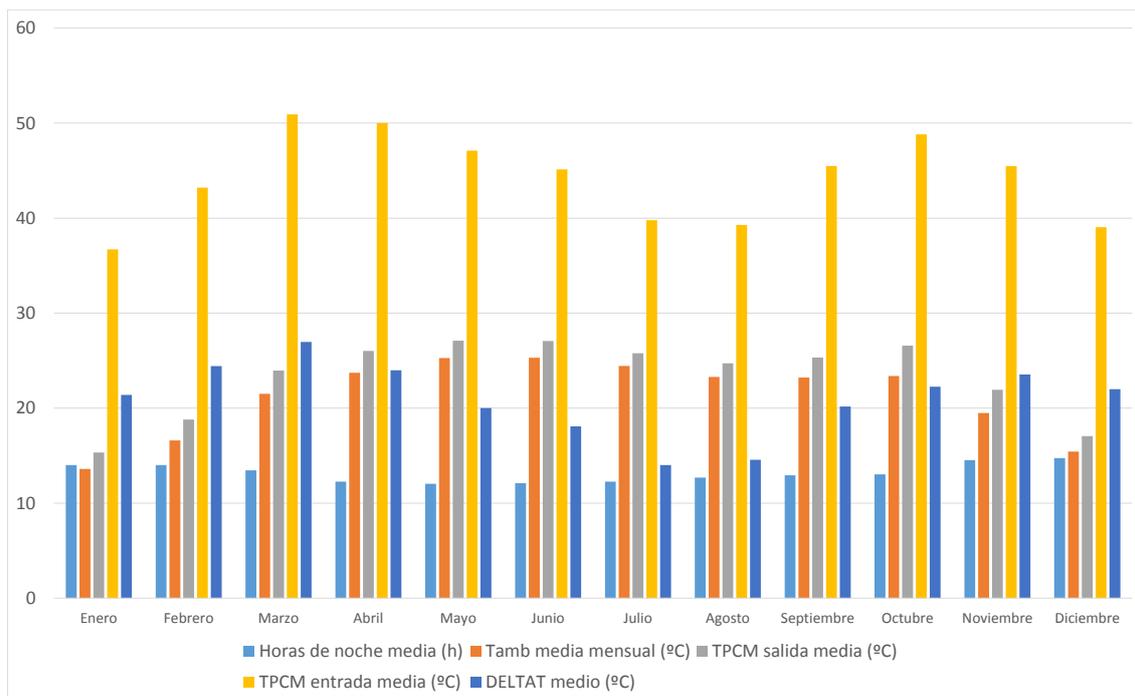
**Figura 76:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

La lejanía entre los puntos de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida, representada en la figura 76, pone de manifiesto que la temperatura melt seleccionada no es la adecuada y no se consiguen buenos resultados.



**Figura 77:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Todos los estados del PCM están concentrados en el 11, como se espera al no ser una temperatura de cambio de fase adecuada para la localización.



**Figura 78:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

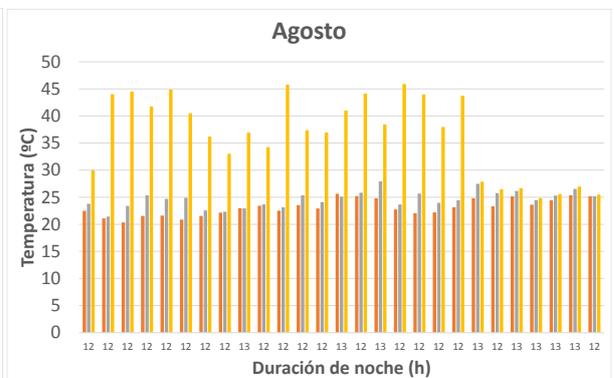
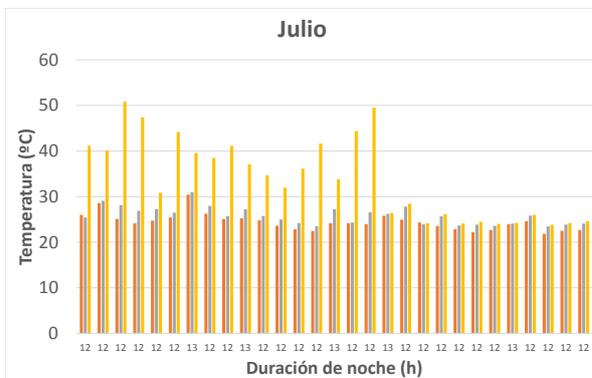
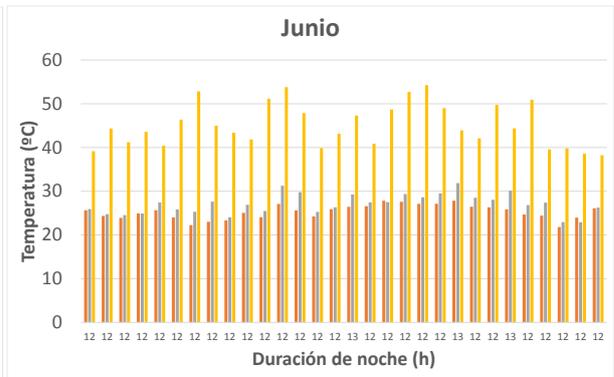
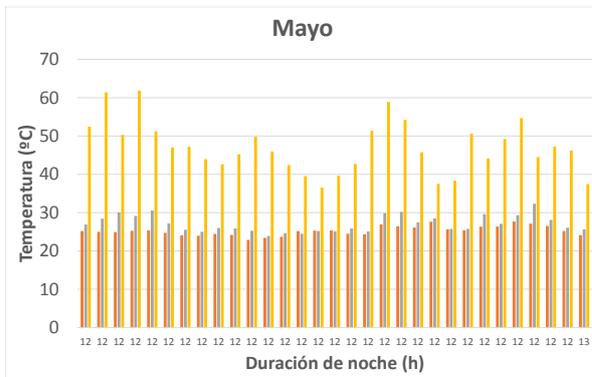
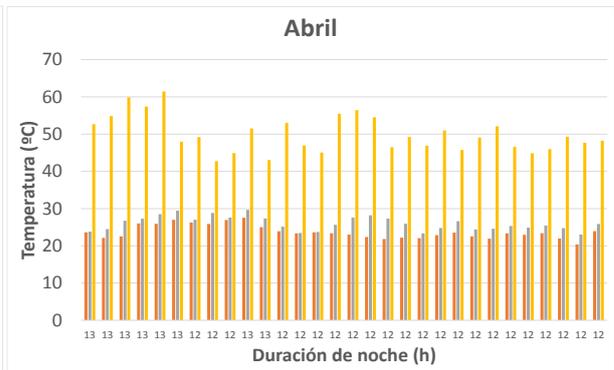
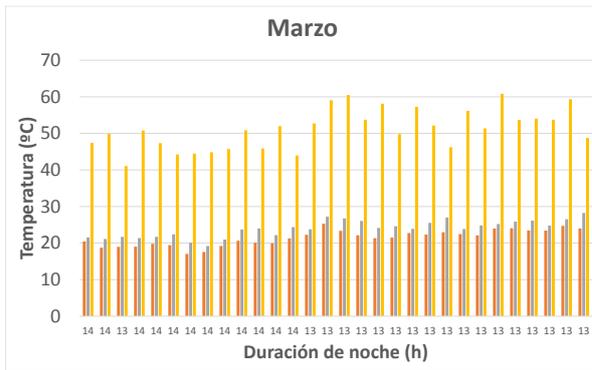
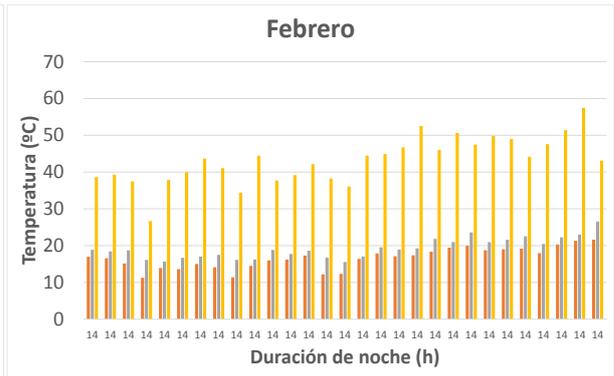
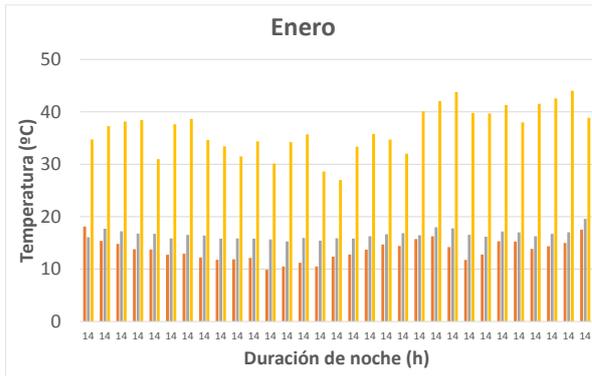
Todos los valores mensuales de temperaturas ambiente, temperatura del PCM a la entrada y temperatura del PCM a la salida superan la temperatura melt seleccionada. Luego esta temperatura no es la adecuada para usar en esta localización.

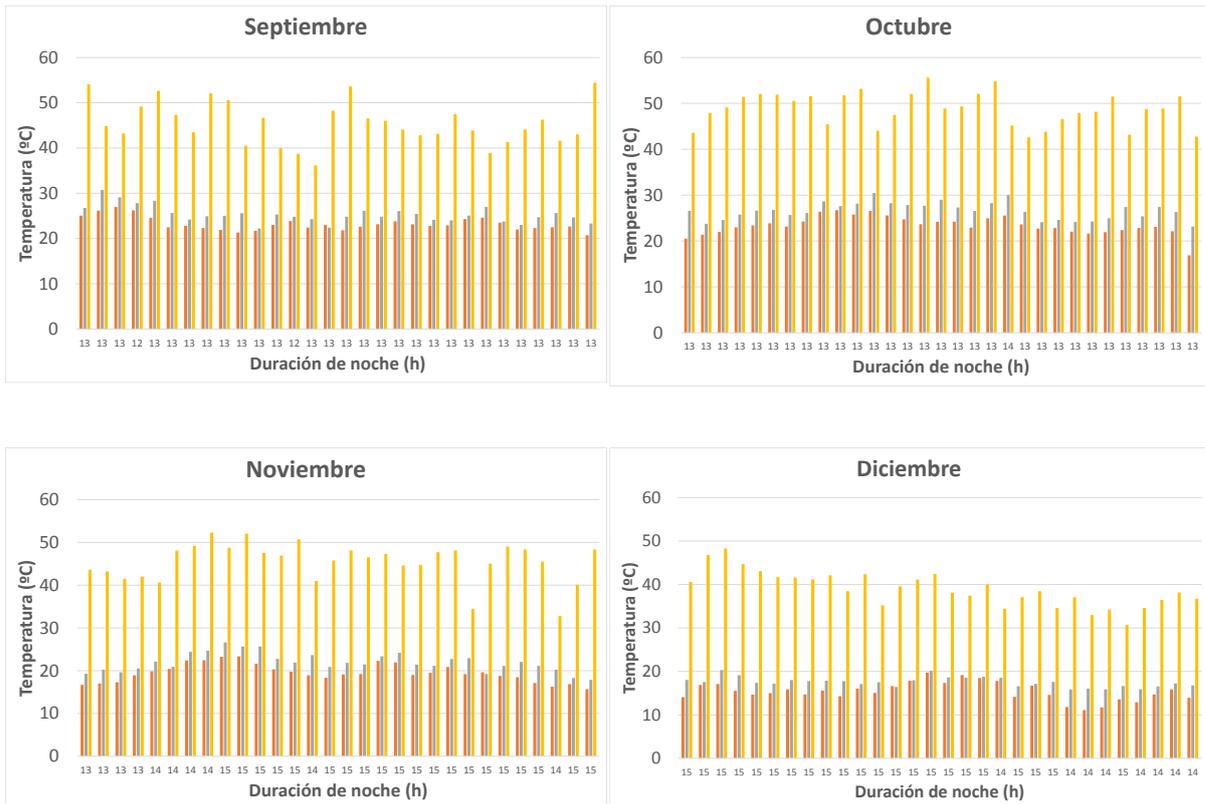
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	15,33	36,72	21,39
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	18,79	43,21	24,42
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	23,95	50,91	26,96
<b>Abril</b>	12,27	23,72	26,03	50,00	23,97
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	27,09	47,09	20,00
<b>Junio</b>	12,10	25,30	27,06	45,13	18,07
<b>Julio</b>	12,26	24,43	25,77	39,77	14,00
<b>Agosto</b>	12,68	23,29	24,72	39,28	14,57
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	25,32	45,49	20,17
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	26,57	48,82	22,25
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	21,92	45,46	23,54
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	17,06	39,05	21,99

**Tabla 21:** datos promediados para la representación de la figura 78 para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Como se ve en la tabla 21, en los meses fríos la temperatura media mensual del PCM a la salida supera la  $T_{melt}$  impuesta.

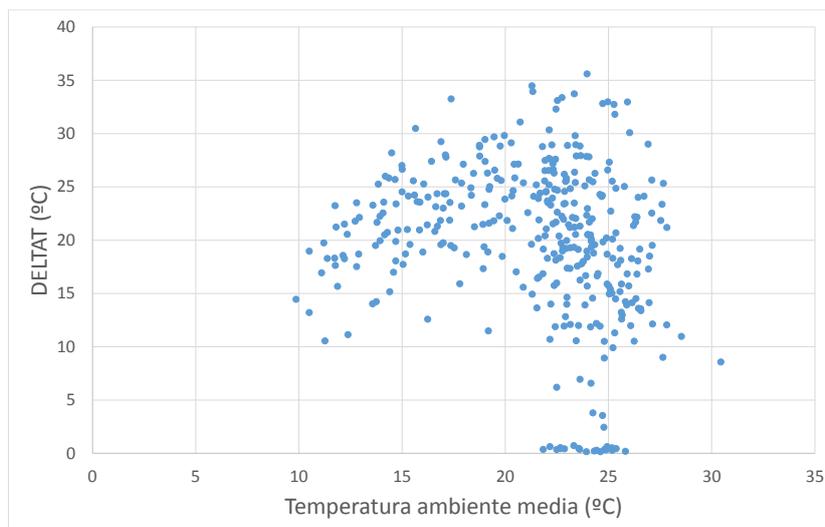
$T_{melt} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$





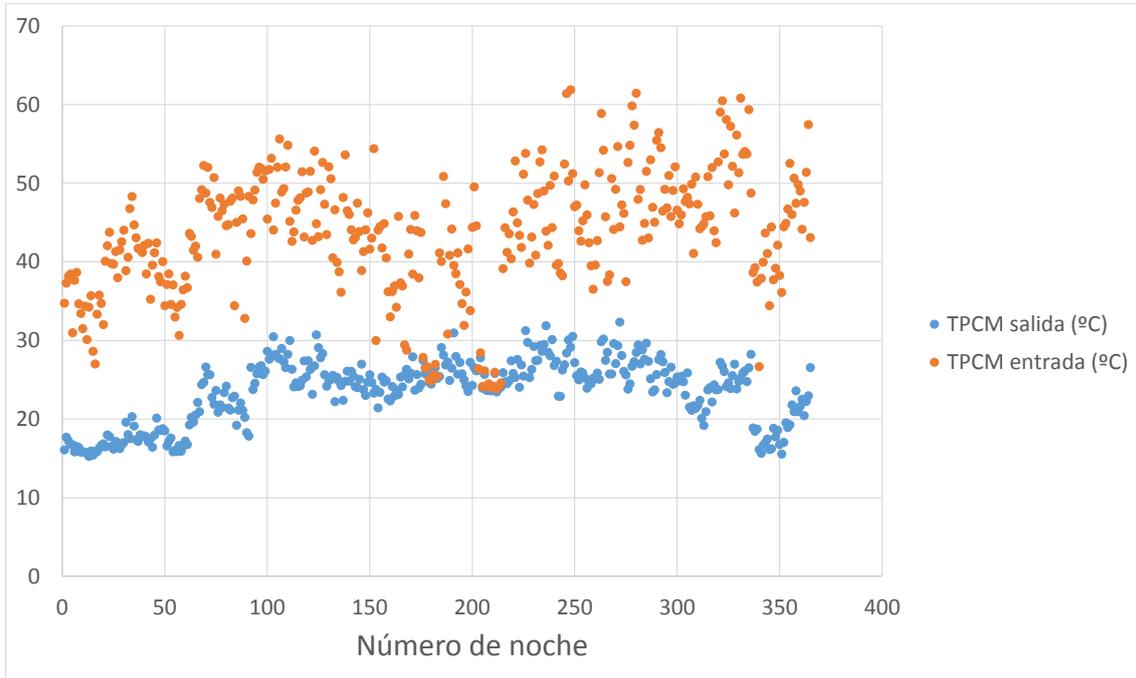
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se puede ver en el grupo de gráficas que la temperatura del PCM a la salida varía entre 20 °C y 30 °C, por lo que esta temperatura melt seleccionada no tiene demasiado efecto, salvo en algunos puntos que puedan ser interesantes de ver.



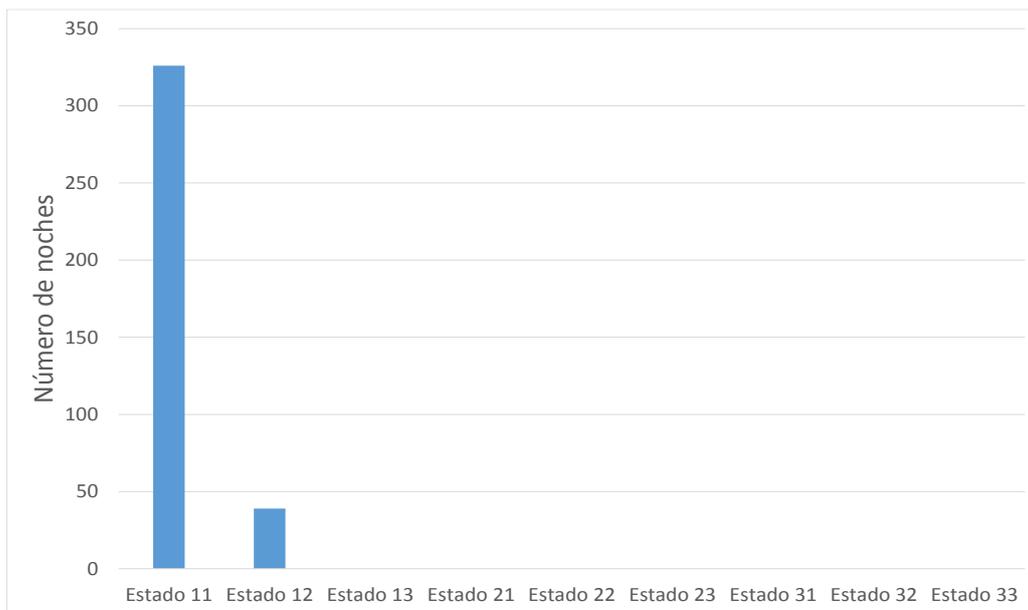
**Figura 79:** representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Se puede destacar en la figura 79 que algunos saltos de temperatura DELTAT son muy cercanos a cero. Esto quiere decir que tanto la temperatura de entrada del PCM como la de salida son prácticamente iguales, pero no se relacionan con la temperatura melt que se ha impuesto.



**Figura 80:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Como bien se ha destacado antes, hay algunos puntos que son casi iguales en temperatura. El resto de temperaturas sigue el mismo comportamiento, como se puede ver en la figura 80.



**Figura 81:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Sigue la predominancia de los estados 11 a lo largo de todas las noches, con lo que todavía no se ha conseguido un comportamiento óptimo.

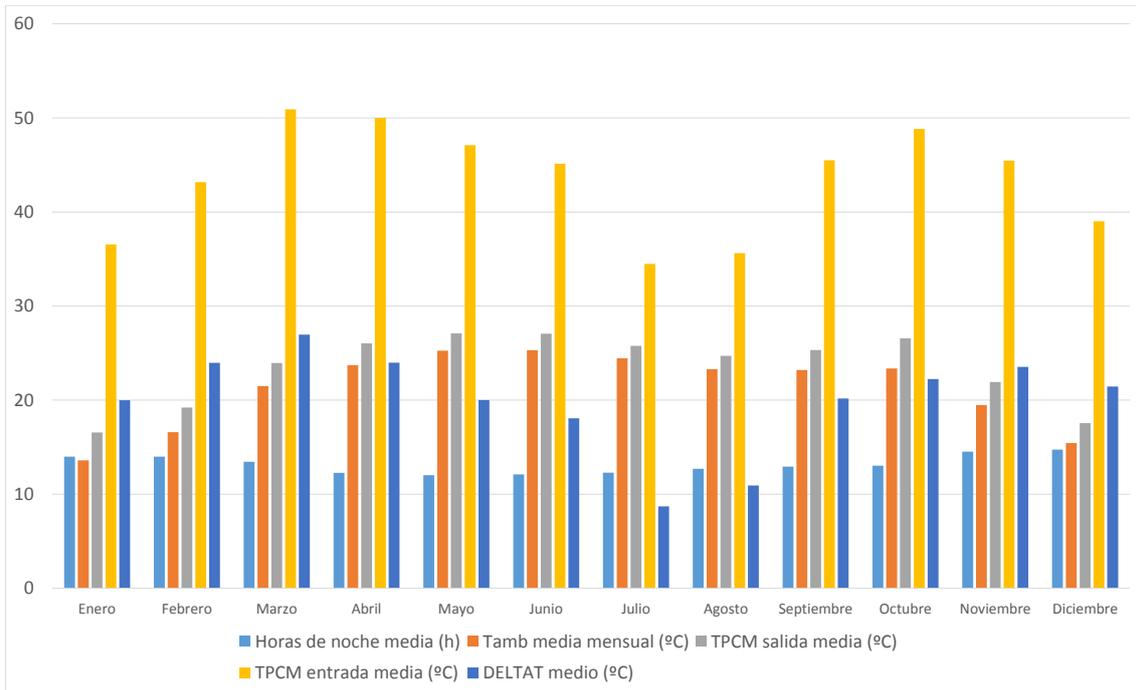


Figura 82: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

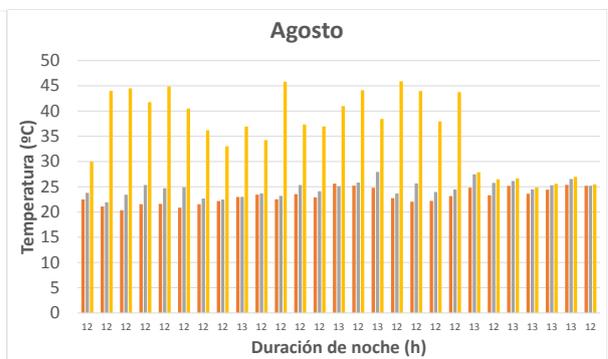
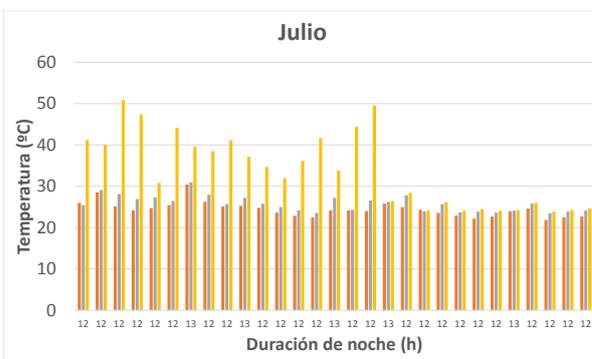
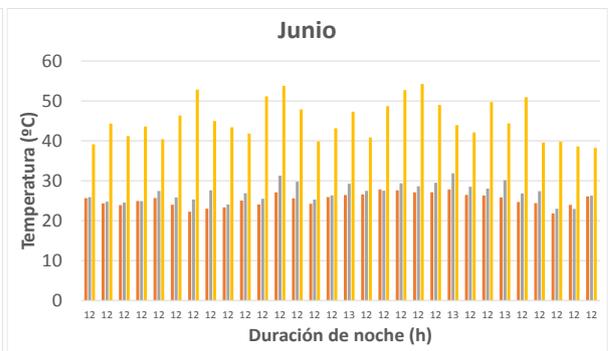
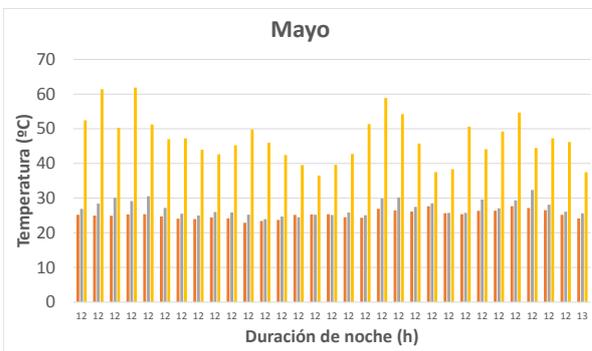
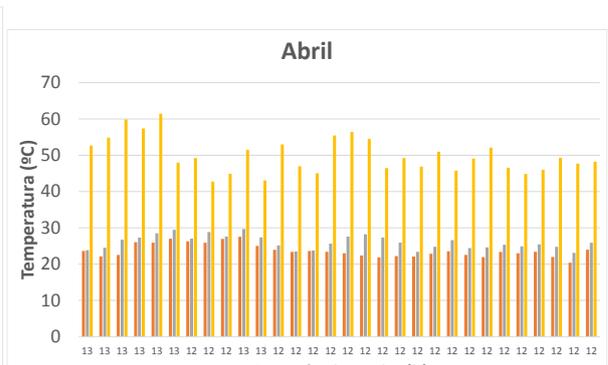
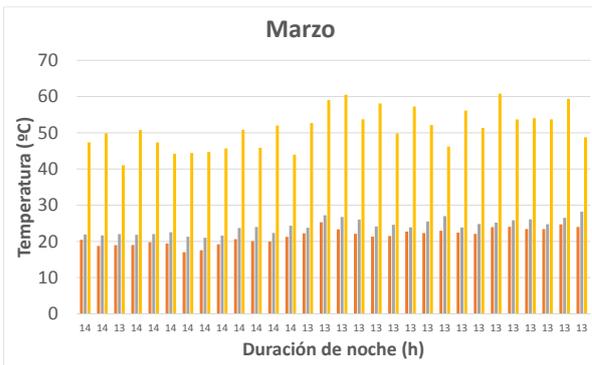
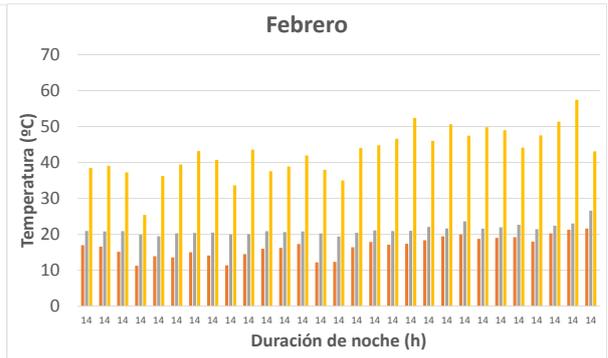
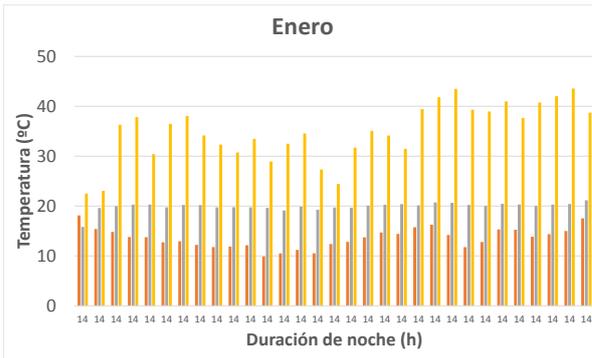
Para la temperatura seleccionada de cambio de fase, los valores de temperaturas de entrada y salida del PCM mensuales no alcanzan el valor impuesto.

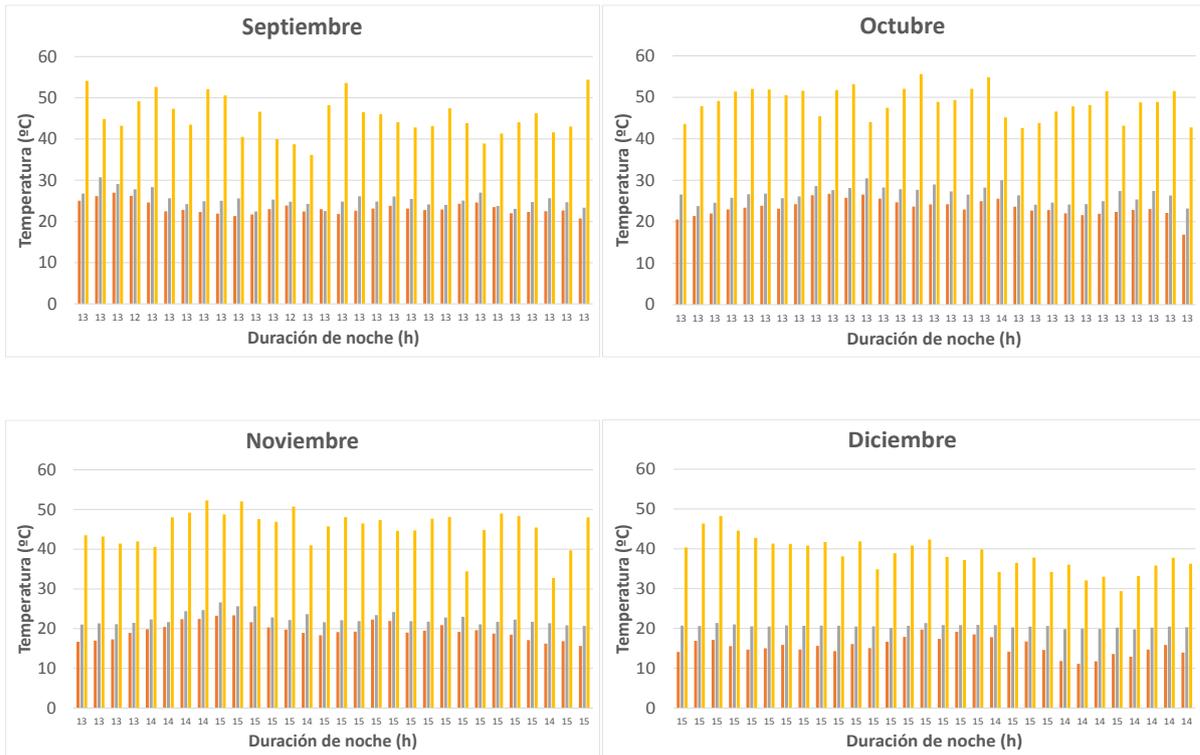
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	16,56	36,55	20,00
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	19,22	43,18	23,96
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	23,95	50,91	26,96
<b>Abril</b>	12,27	23,72	26,03	50,00	23,97
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	27,09	47,09	20,00
<b>Junio</b>	12,10	25,30	27,06	45,13	18,07
<b>Julio</b>	12,29	24,44	25,77	34,48	8,71
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	24,71	35,63	10,92
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	25,32	45,49	20,17
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	26,57	48,82	22,25
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	21,93	45,46	23,54
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	17,56	39,01	21,45

Tabla 22: datos promediados para la representación de la figura 82 para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Claramente, se ve en la tabla 22 que las temperaturas medias del PCM rondan los 26 °C de media, a excepción de los meses fríos.

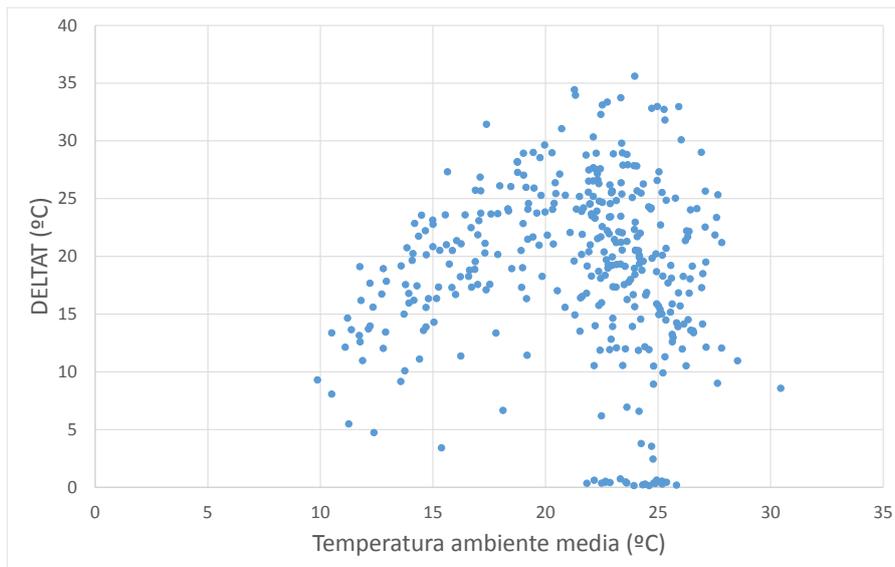
$T_{melt} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$





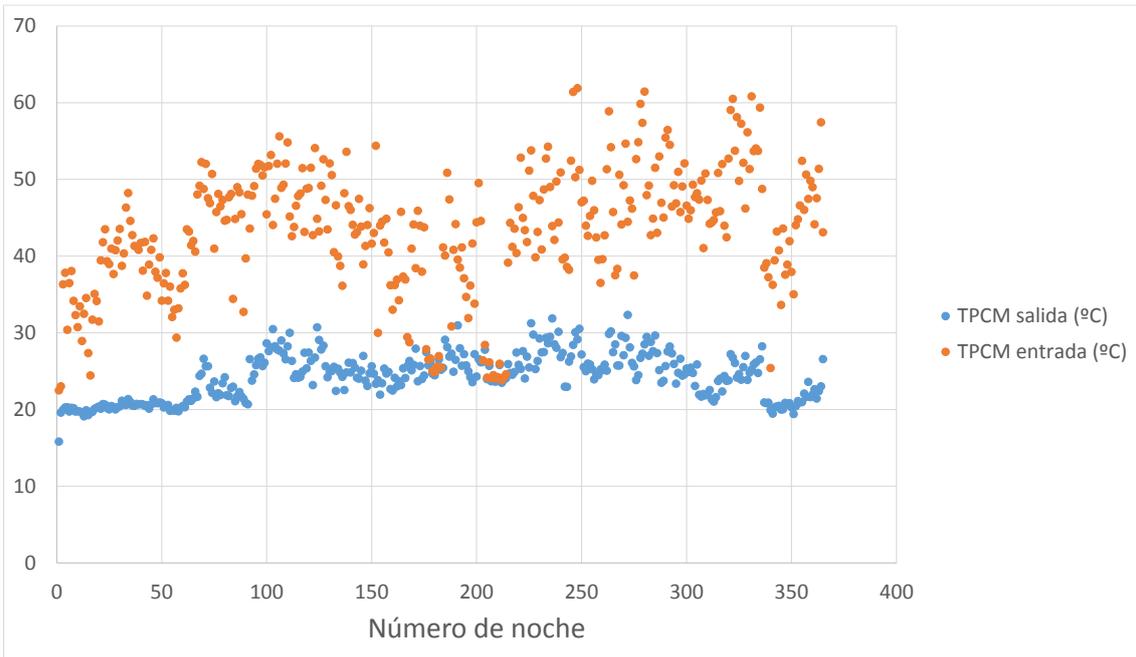
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

En los primeros y últimos meses, se observa cierta estabilidad de la temperatura del PCM a la salida, casi el mismo comportamiento que la ciudad de Nzema.



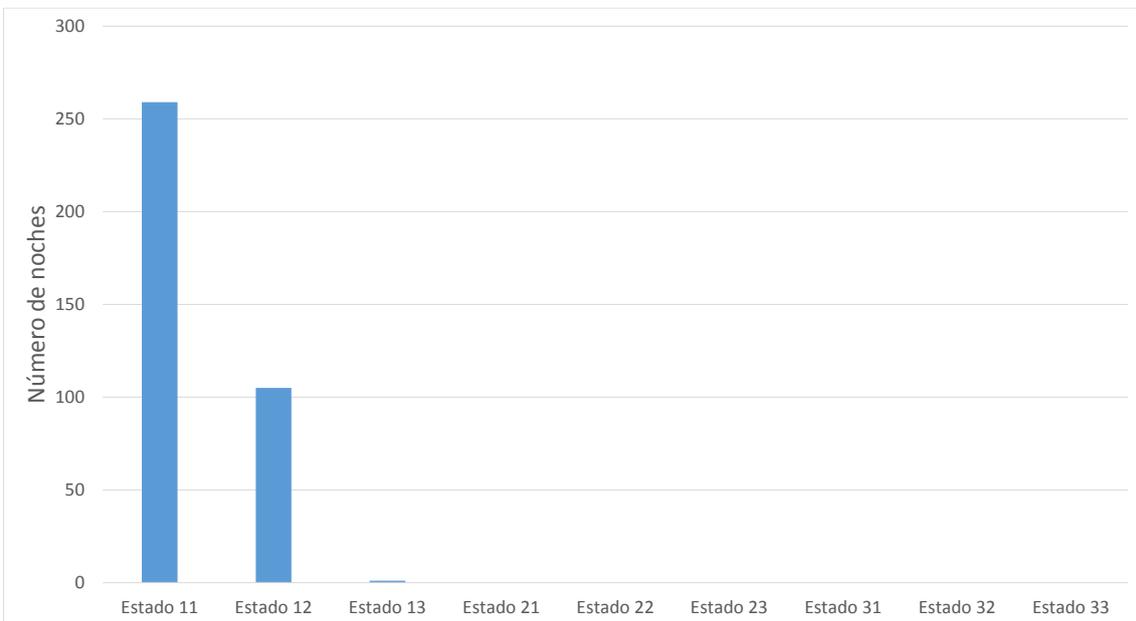
**Figura 83: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Continua habiendo puntos de DELTAT casi nulos, mientras que el resto de temperaturas varían entre 5 °C y 35 °C, para una temperatura ambiente media de 10 °C a 30 °C.



**Figura 84:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se puede ir apreciando, en la figura 84, una cercanía en las temperaturas del PCM, dado que se está aumentando la temperatura de cambio de fase.



**Figura 85:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Un aumento de la temperatura de cambio de fase, como se ha visto en las anteriores localizaciones, promueve que haya diferentes estados en los que se mueva el PCM.

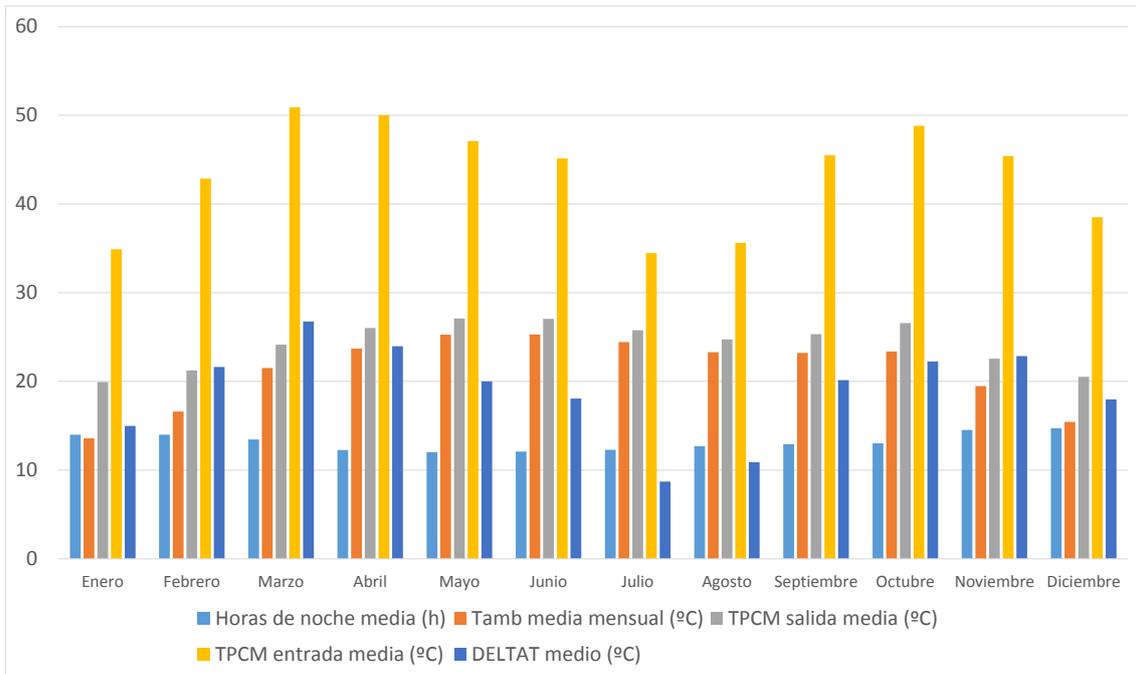


Figura 86: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 20 °C.

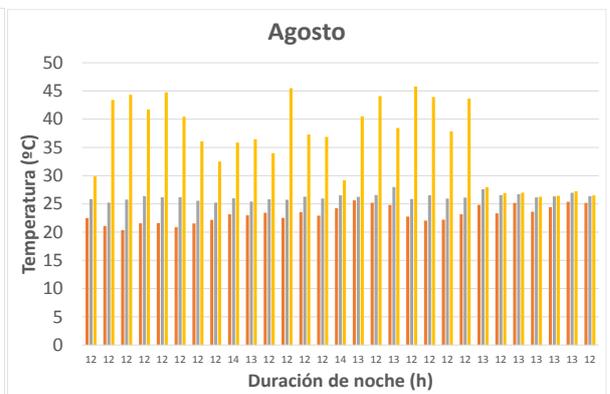
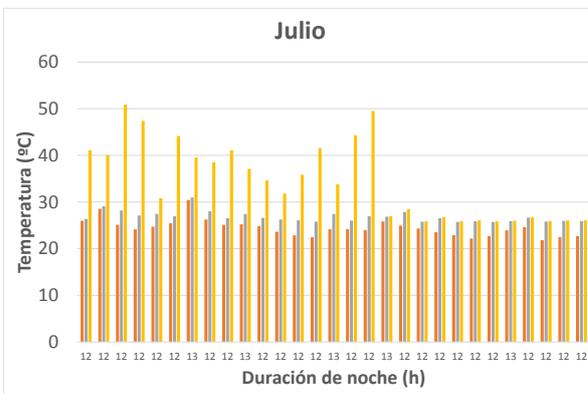
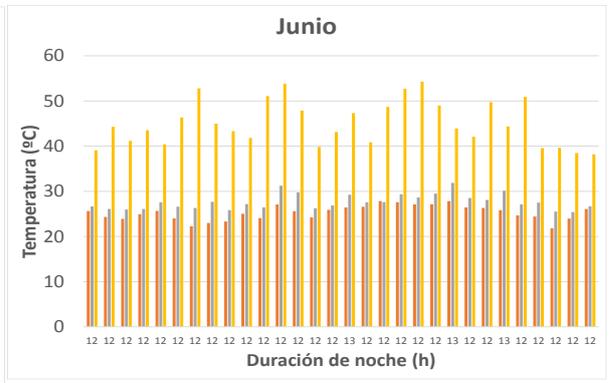
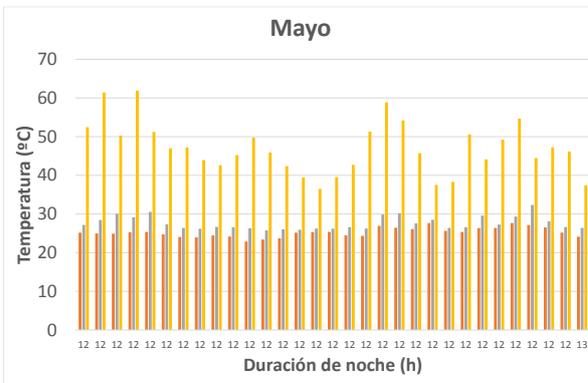
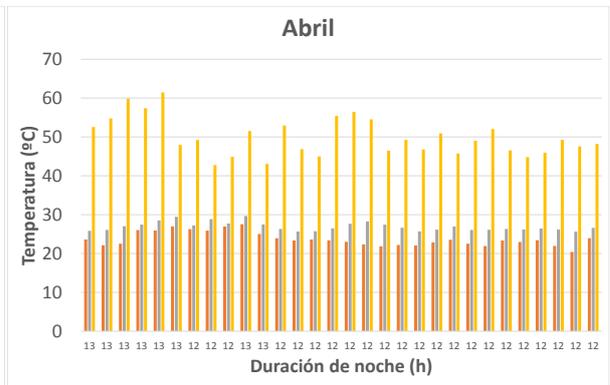
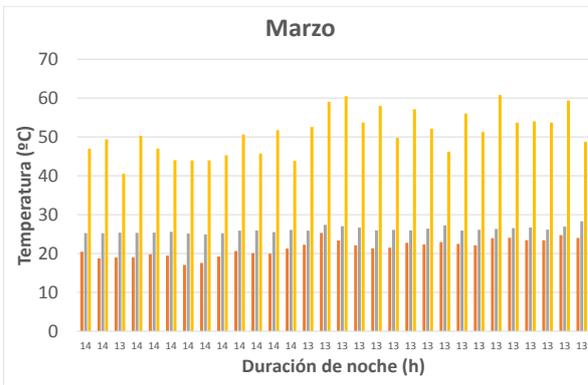
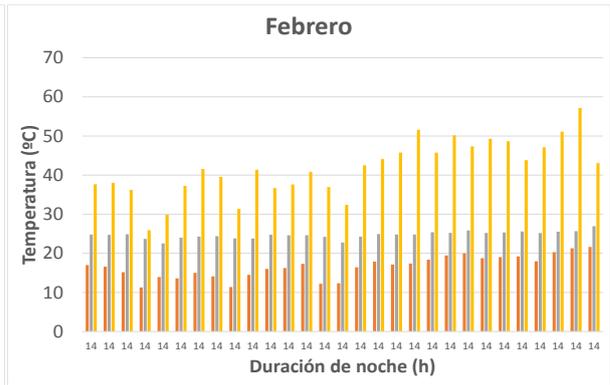
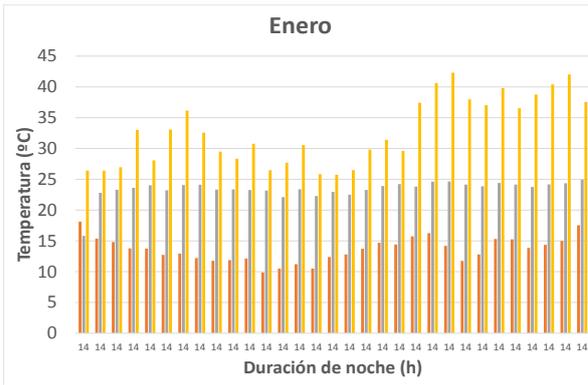
Para algunos meses del año, la temperatura del PCM a la salida media mensual alcanza el valor impuesto de la temperatura melt.

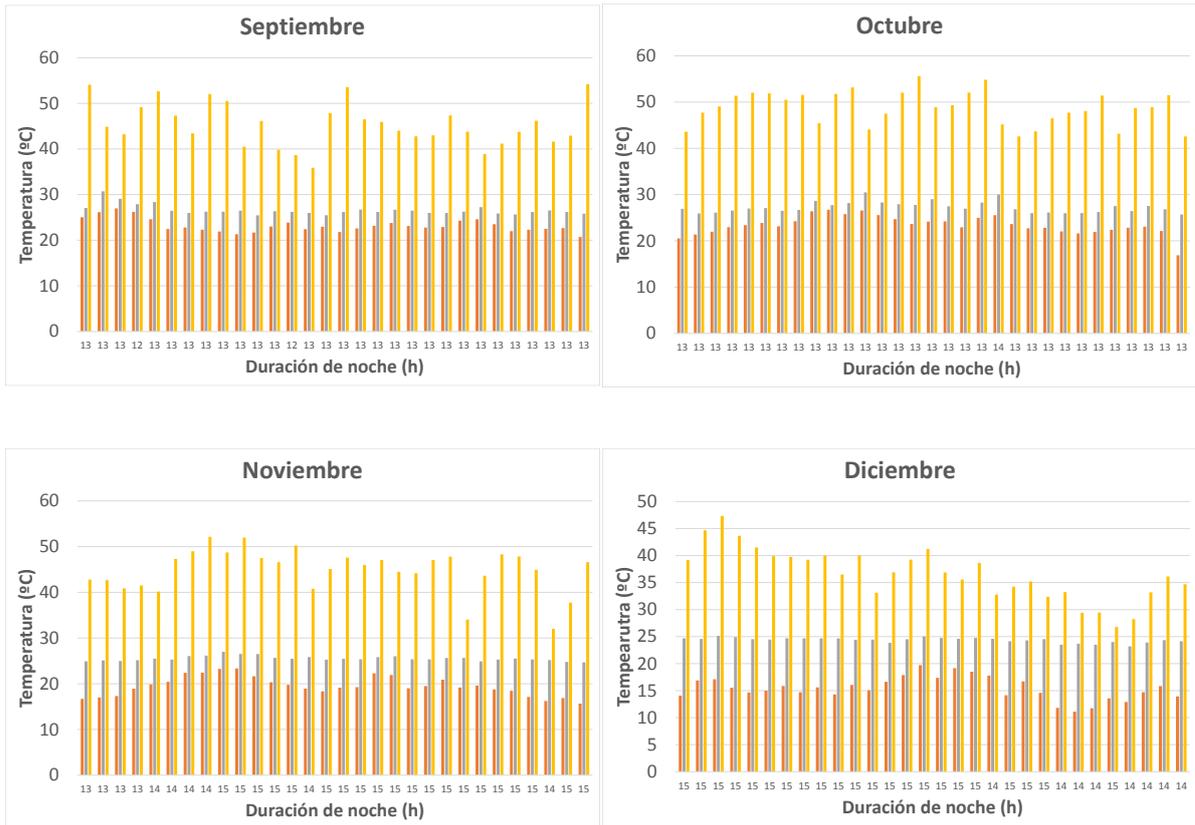
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	19,92	34,91	14,98
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	21,23	42,86	21,63
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	24,15	50,90	26,75
<b>Abril</b>	12,27	23,72	26,03	50,00	23,97
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	27,09	47,09	20,00
<b>Junio</b>	12,10	25,30	27,06	45,13	18,07
<b>Julio</b>	12,29	24,44	25,77	34,48	8,71
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	24,74	35,63	10,89
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	25,34	45,49	20,15
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	26,57	48,82	22,25
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	22,56	45,41	22,85
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	20,53	38,51	17,98

Tabla 23: datos promediados para la representación de la figura 86 para una Tmelt de 20 °C.

En la tabla 23 puede verse la casi similitud entre las temperaturas ambiente media mensual y la del PCM a la salida.

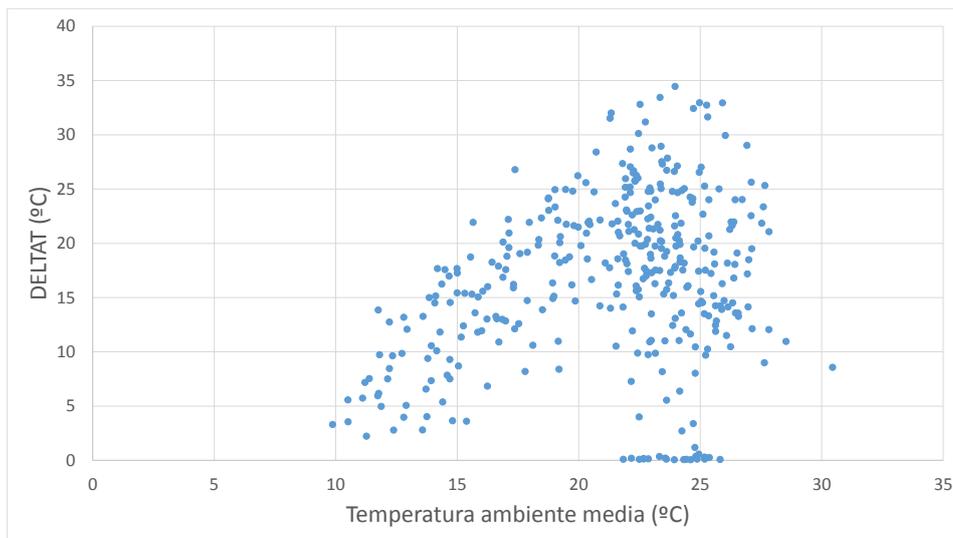
$T_{melt} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$





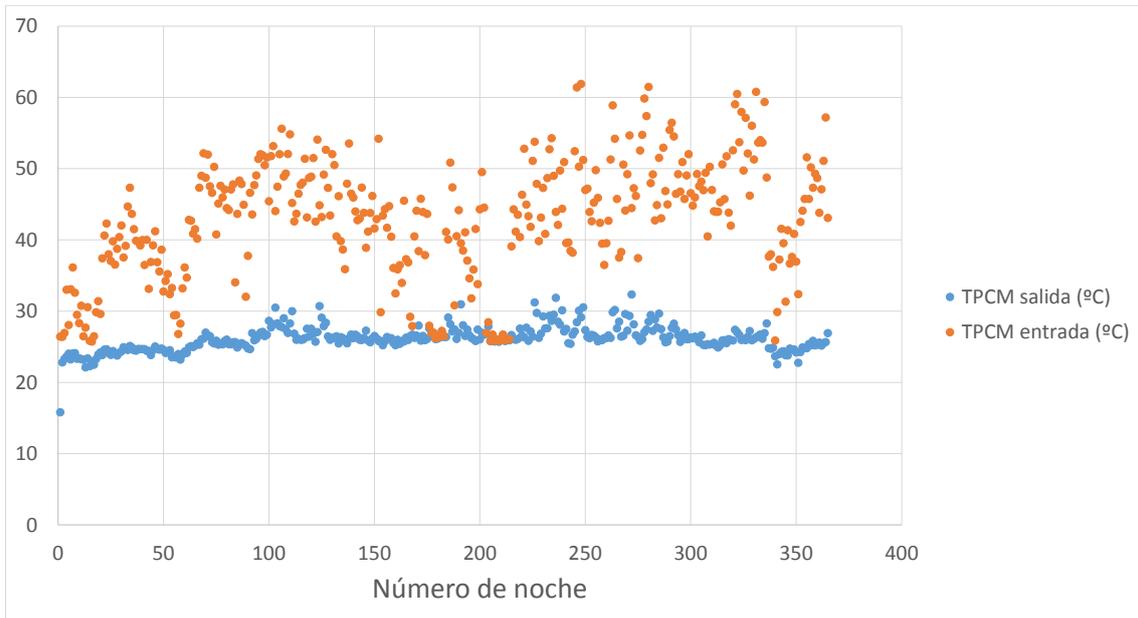
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Comienza a verse un comportamiento más estable para la temperatura del PCM a la salida, dado que alcanza el valor impuesto en prácticamente todos los meses.



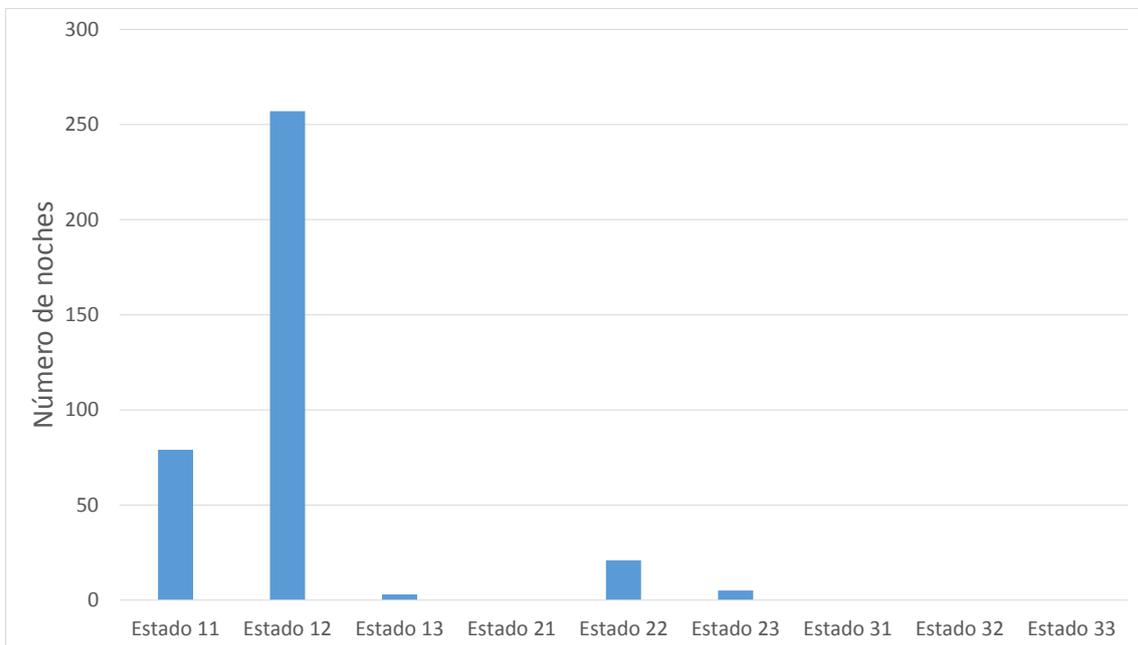
**Figura 87: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

No se aprecia un cambio significativo en la dispersión de puntos, salvo que los valores de DELTAT están por debajo de 35 °C.



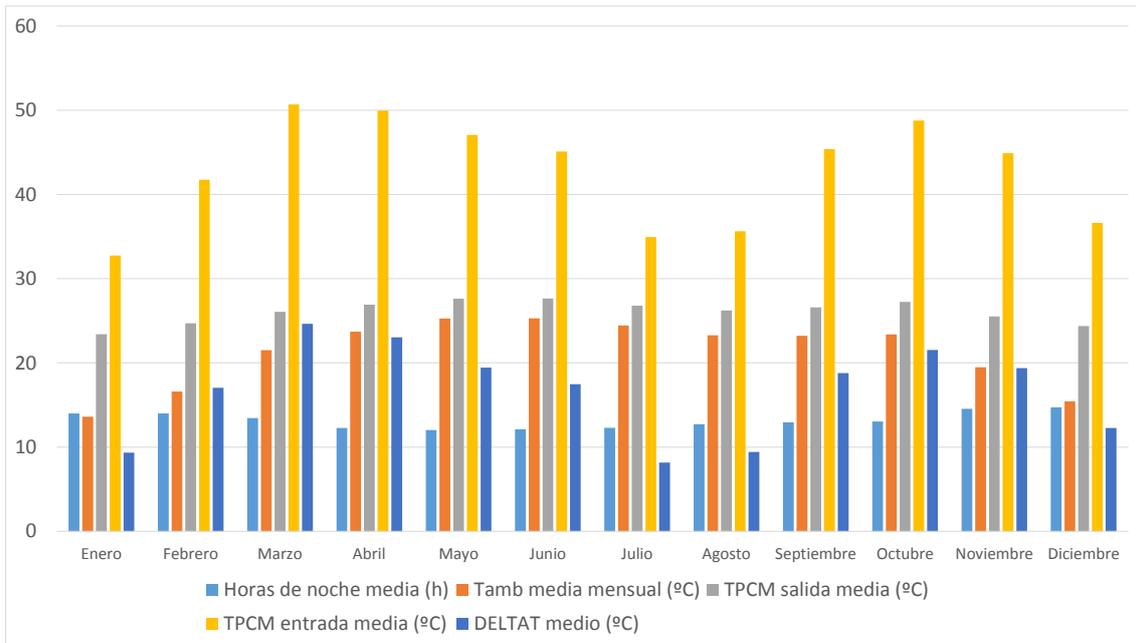
**Figura 88:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Los valores de las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida cada vez son más cercanos, como se muestra en la figura 88.



**Figura 89:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Ahora la predominancia la tiene el estado 12, y comienza a verse que se producen los estados 22 y 23 pero en menor medida.



**Figura 90: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

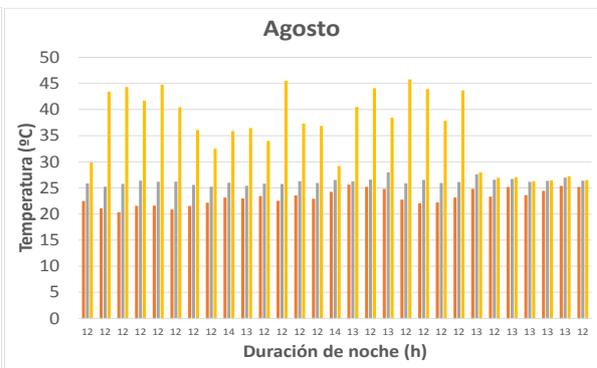
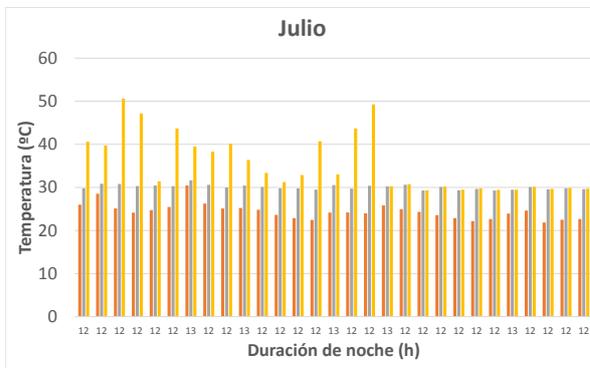
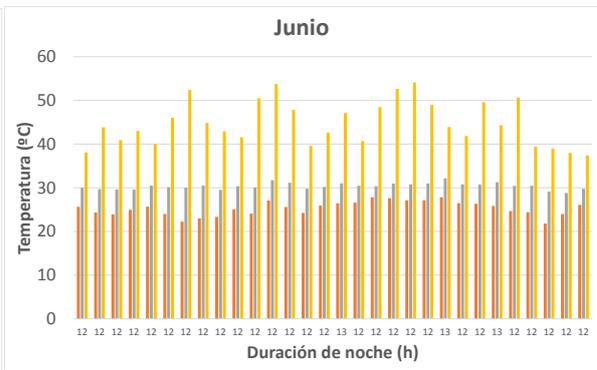
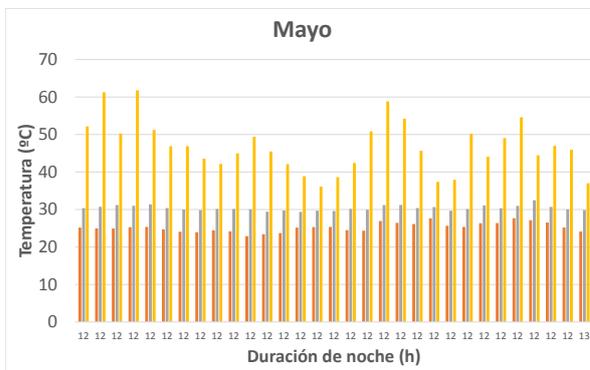
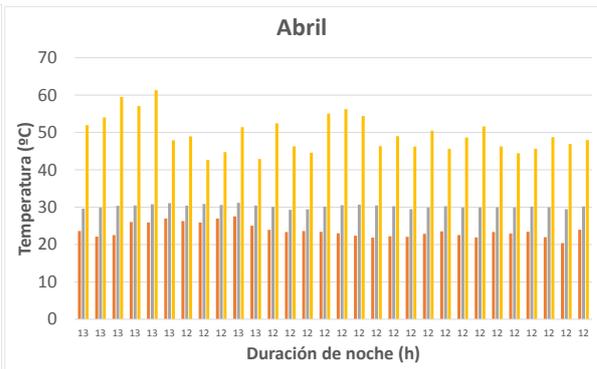
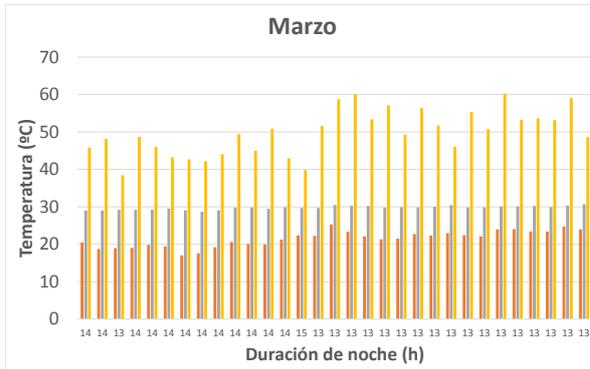
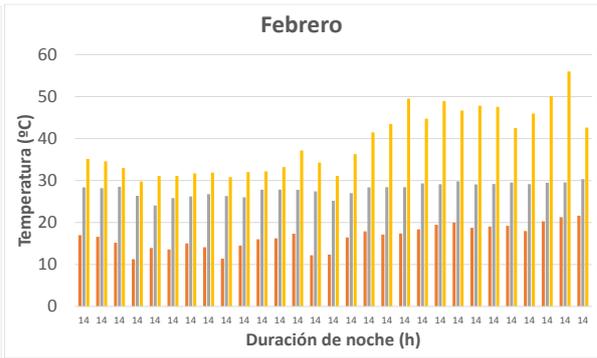
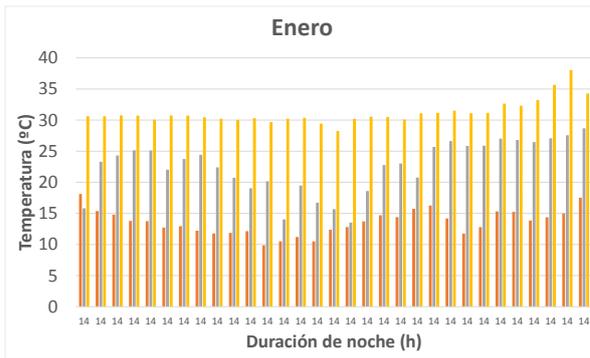
Debido a la temperatura del PCM seleccionada, la temperatura del PCM a la salida media mensual se estabiliza de manera muy cercana a ese valor.

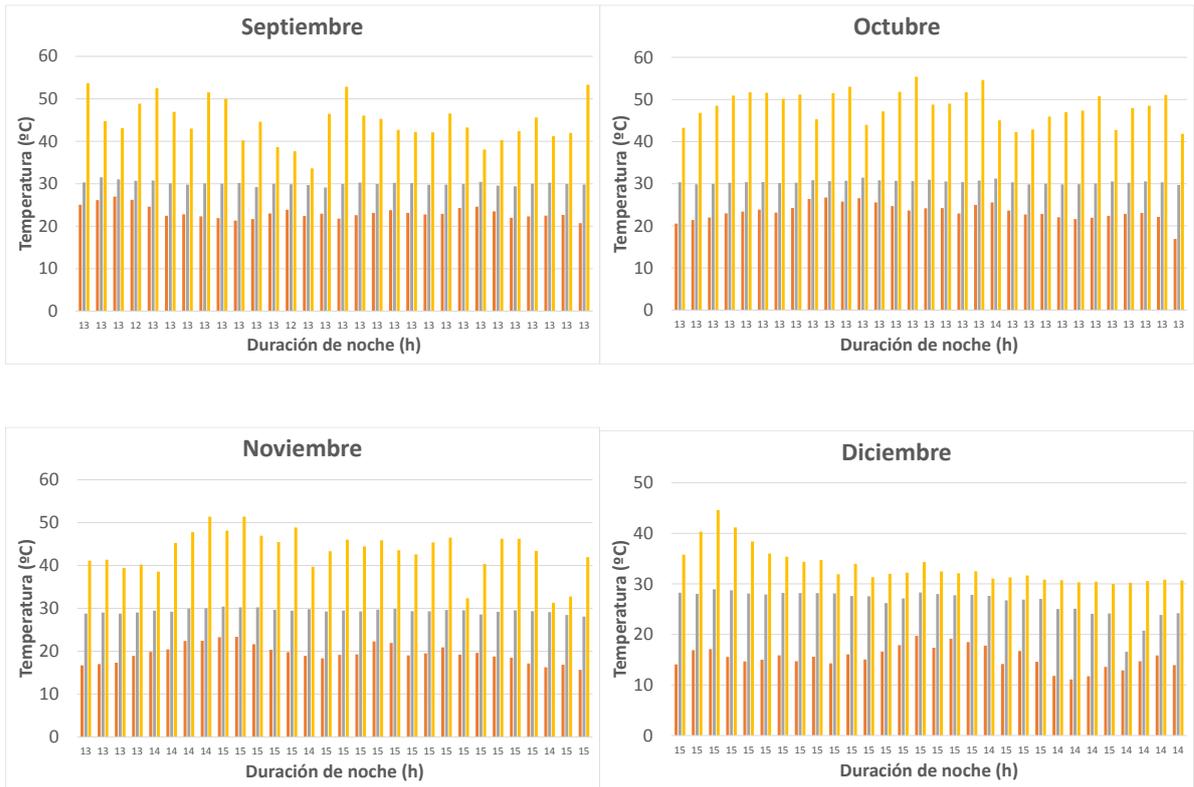
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	23,40	32,75	9,35
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	24,70	41,74	17,04
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	26,07	50,70	24,63
<b>Abril</b>	12,27	23,72	26,92	49,97	23,05
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	27,64	47,08	19,44
<b>Junio</b>	12,10	25,30	27,64	45,11	17,46
<b>Julio</b>	12,29	24,44	26,79	34,95	8,16
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	26,22	35,64	9,42
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	26,60	45,39	18,79
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	27,25	48,78	21,53
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	25,52	44,90	19,37
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	24,37	36,63	12,26

**Tabla 24: datos promediados para la representación de la figura 90 para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

En la tabla 24 puede verse lo comentado en la figura 90, los valores de la temperatura del PCM a la salida media mensual están en torno a 25 °C.

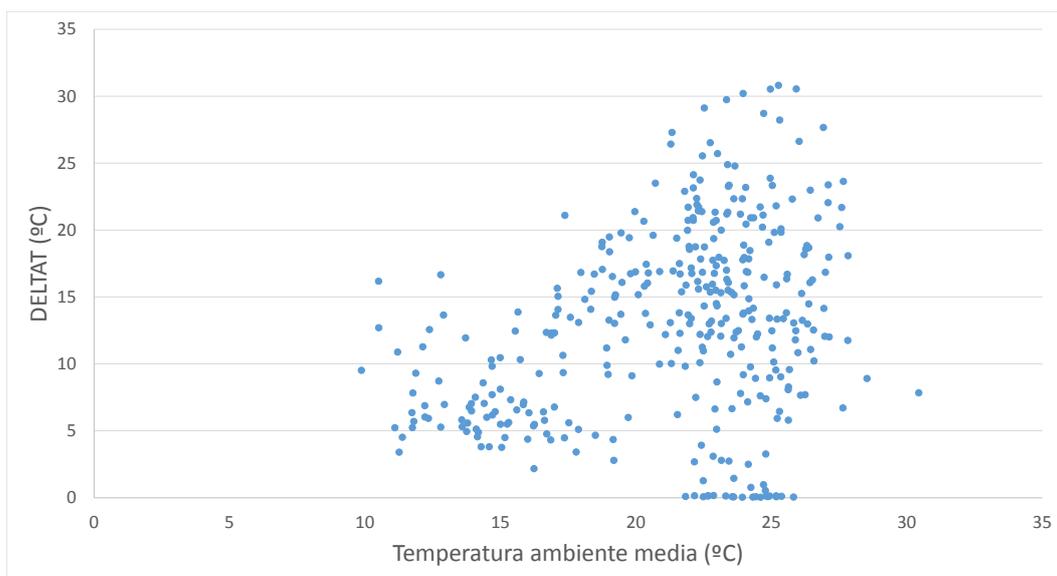
$T_{melt} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$





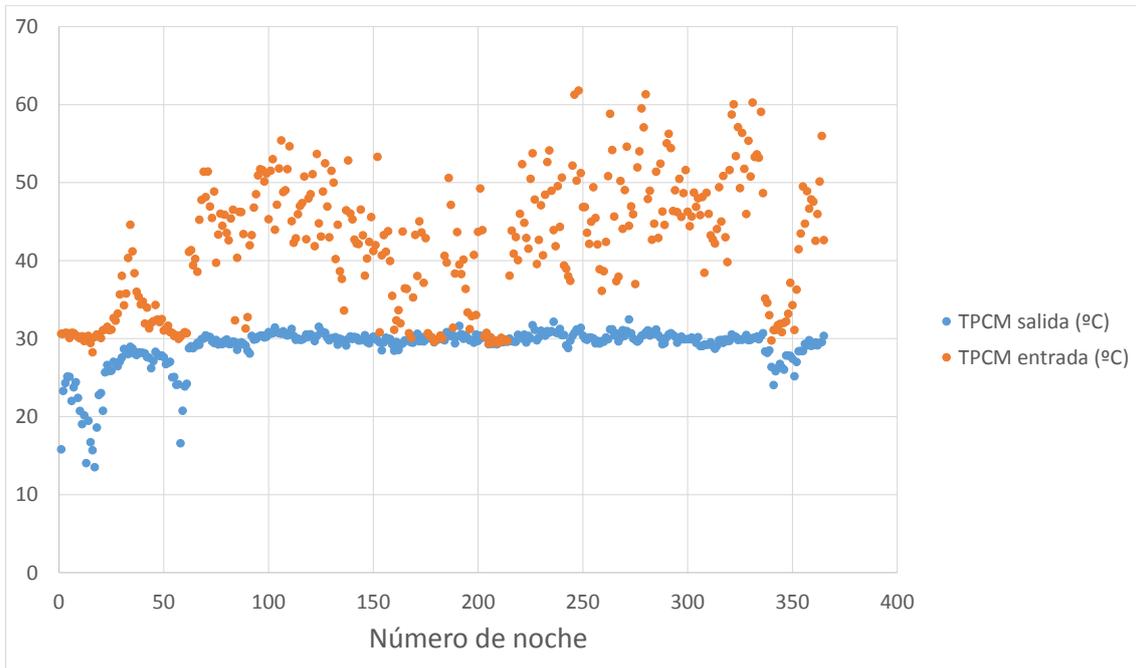
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Se alcanza la temperatura melt en la gran mayoría de los meses, por lo que se está consiguiendo una temperatura óptima de cambio de fase.



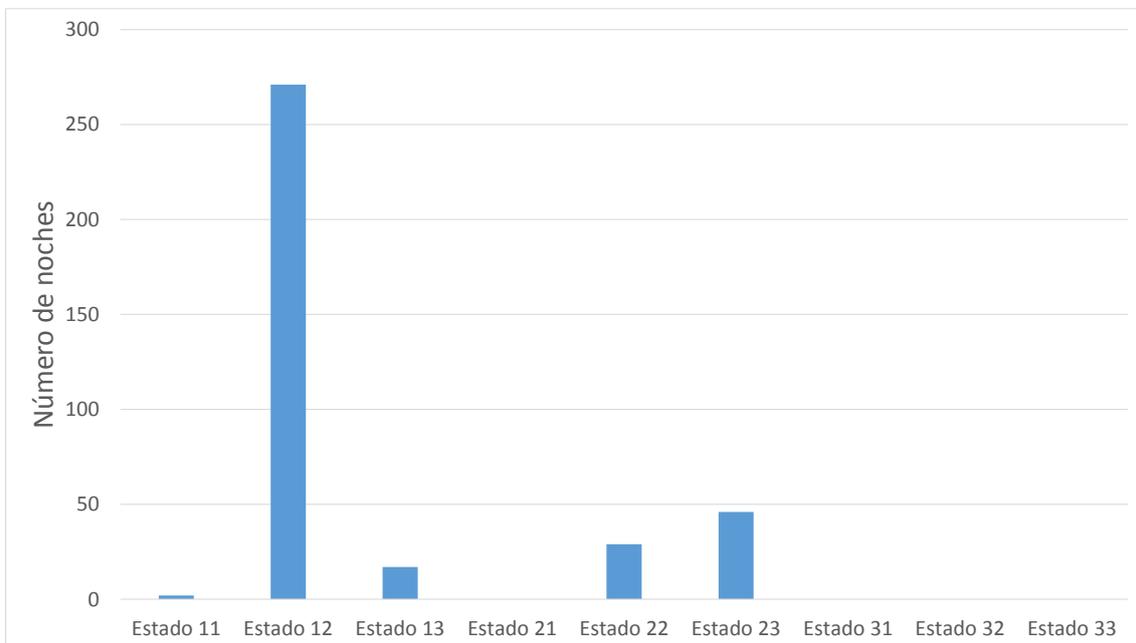
**Figura 91: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

La dispersión de puntos en la figura 91 sigue como hasta ahora sin cambios significativos, en este tipo de representación.



**Figura 92:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Se puede destacar de la figura 92 que en algunas noches las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida son muy relativamente cercanas.



**Figura 93:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Como se dijo para la temperatura melt anterior, comienzan a emerger nuevos estados del PCM a lo largo de las noches, como es el caso del estado 22 y 23 en la figura 93.

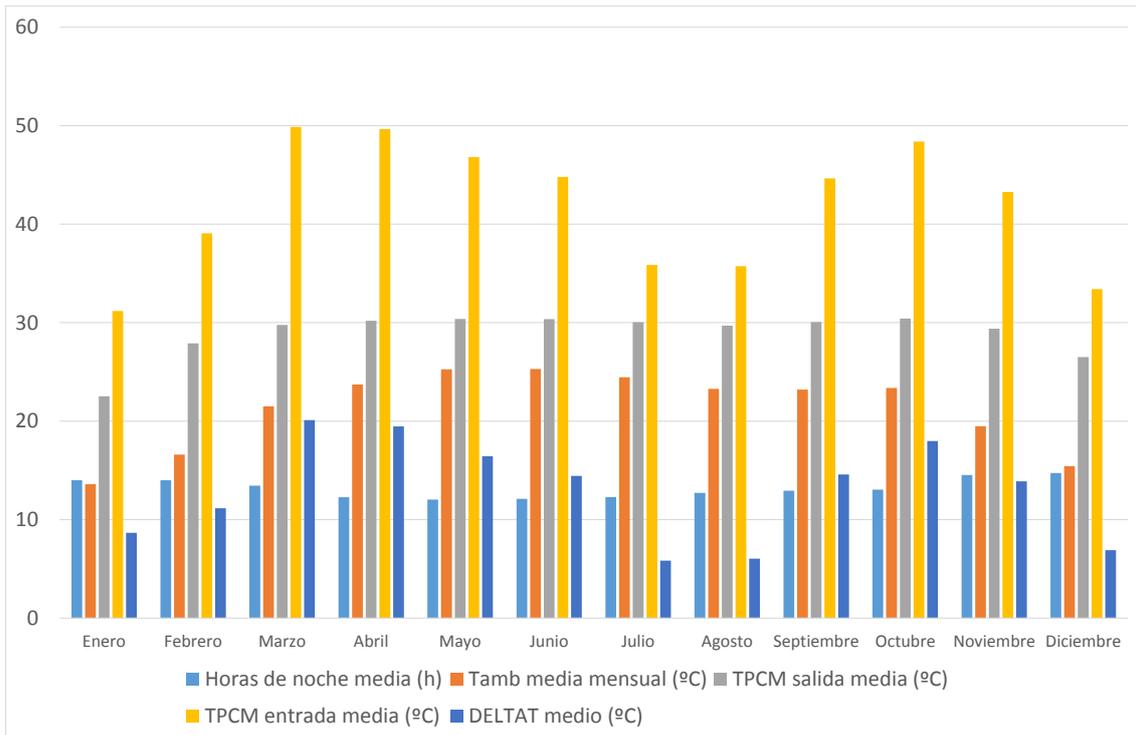


Figura 94: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 30 °C.

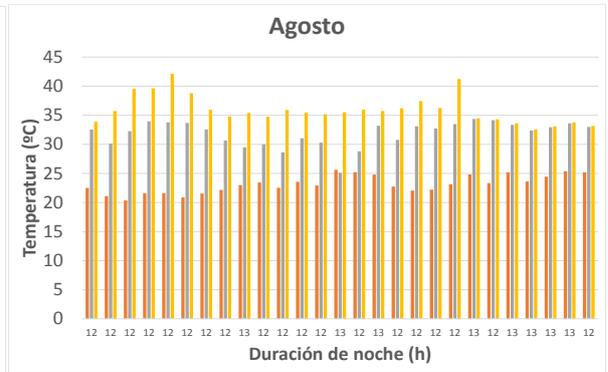
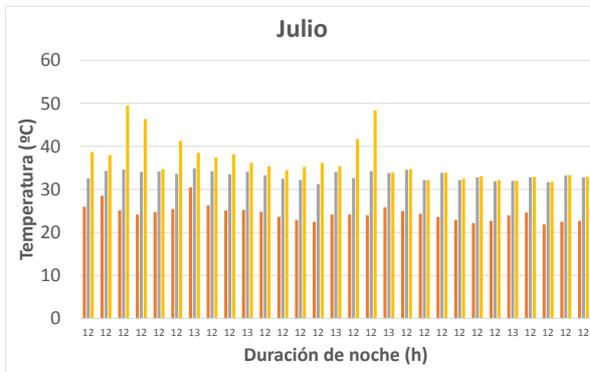
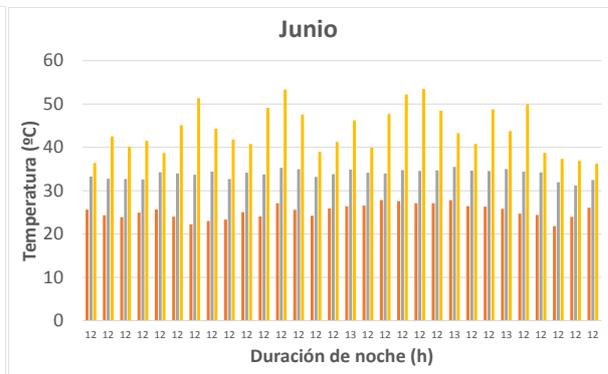
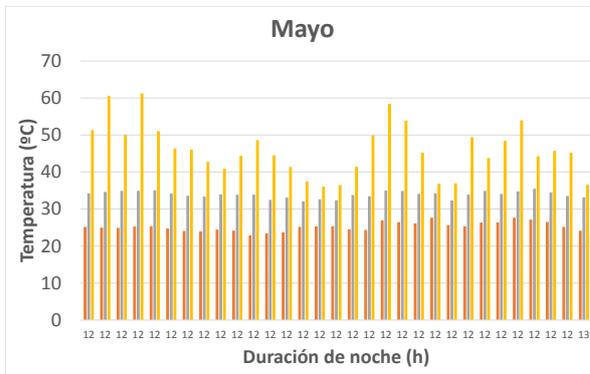
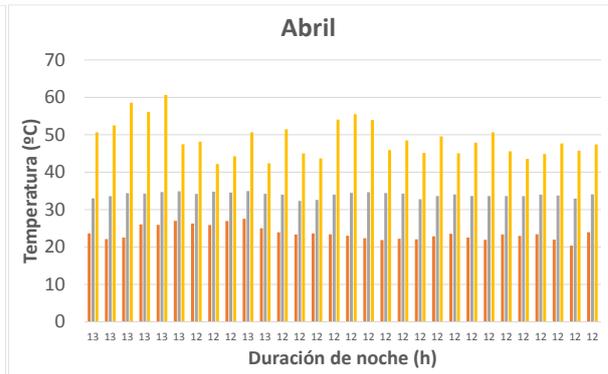
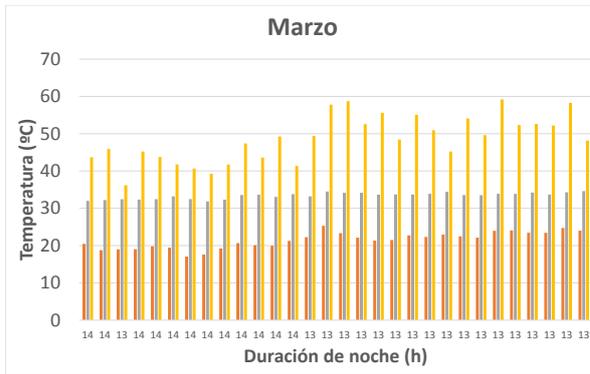
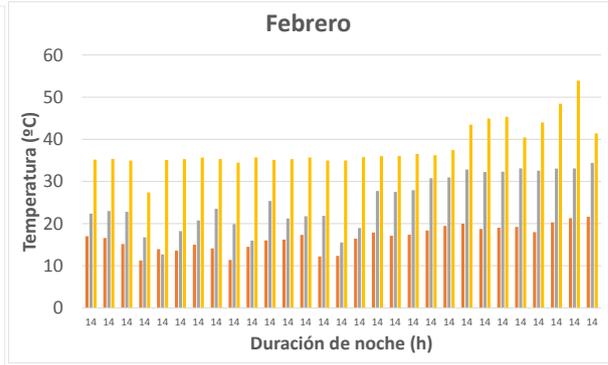
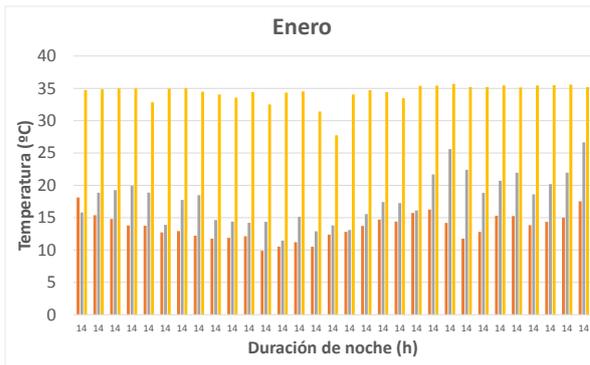
Puede verse en la figura 94, que en casi todos los meses, la temperatura media mensual del PCM a la salida alcanza el valor de la temperatura melt impuesta.

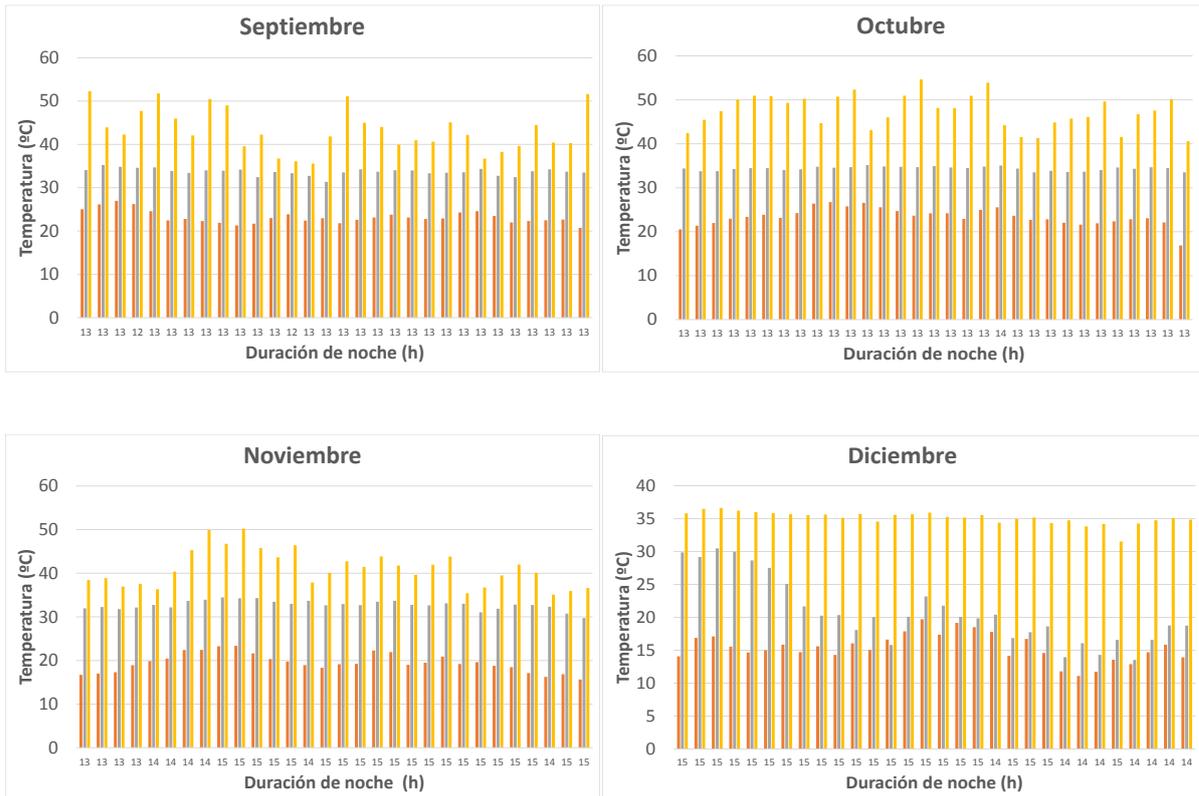
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	22,53	31,18	8,65
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	27,91	39,06	11,15
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	29,77	49,87	20,10
<b>Abril</b>	12,27	23,72	30,19	49,65	19,46
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	30,37	46,81	16,44
<b>Junio</b>	12,10	25,30	30,36	44,79	14,43
<b>Julio</b>	12,29	24,44	30,04	35,87	5,83
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	29,70	35,73	6,04
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	30,06	44,64	14,58
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	30,40	48,39	17,98
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	29,39	43,27	13,88
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	26,51	33,41	6,90

Tabla 25: datos promediados para la representación de la figura 94 para una Tmelt de 30 °C.

Lo anterior puede verse representado en la tabla 25 en la que los valores de dicha temperatura son prácticamente 30 °C.

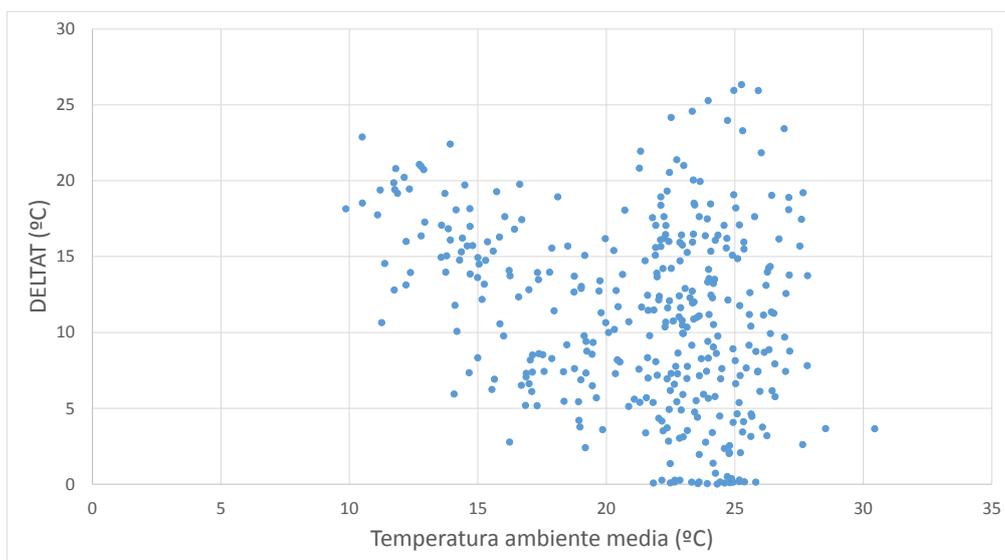
$T_{melt} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$





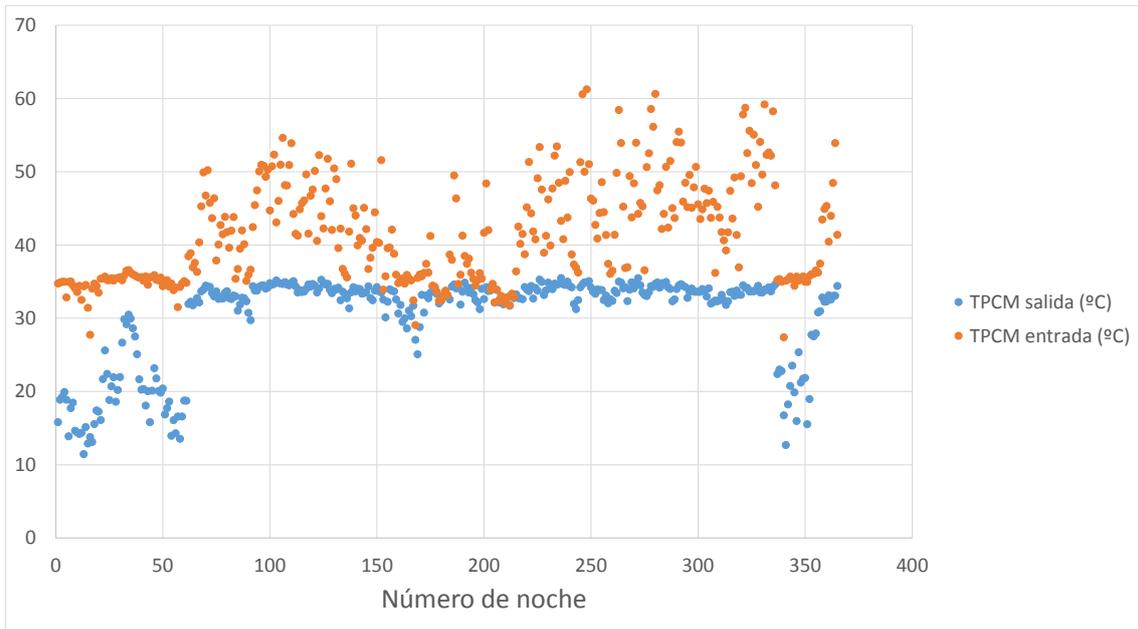
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Como ocurrió en Nzema, ahora la temperatura del PCM a la entrada es la que toma protagonismo y comienza a alcanzar la temperatura de cambio de fase impuesta.



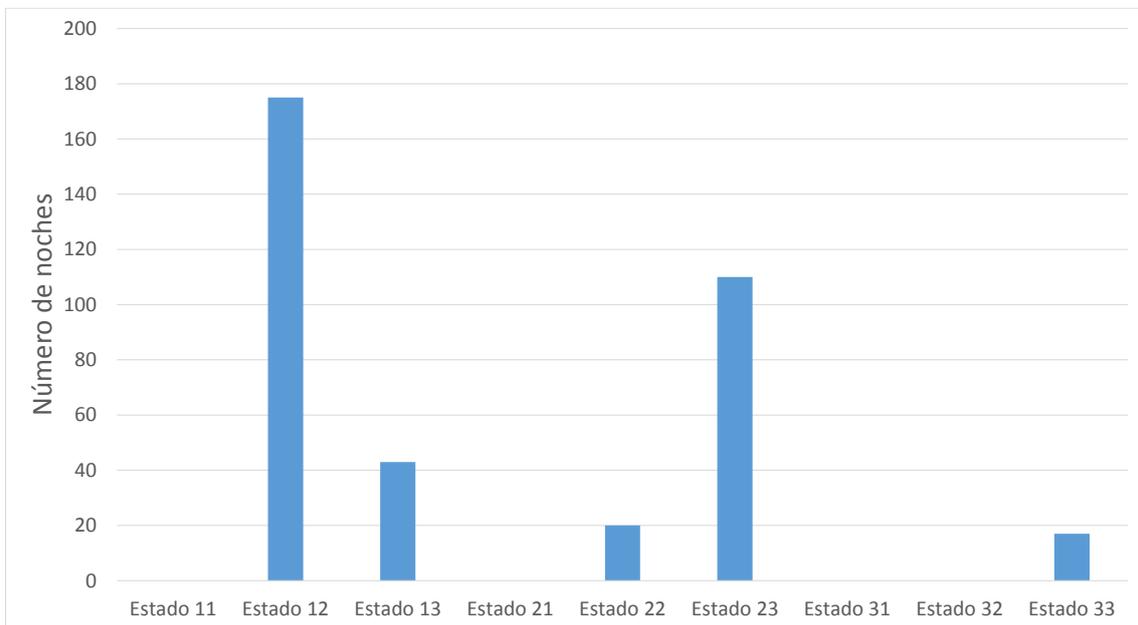
**Figura 95: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

La dispersión de puntos toma una forma de puntos en la que los valores de DELTAT alcanzan los 25 °C.



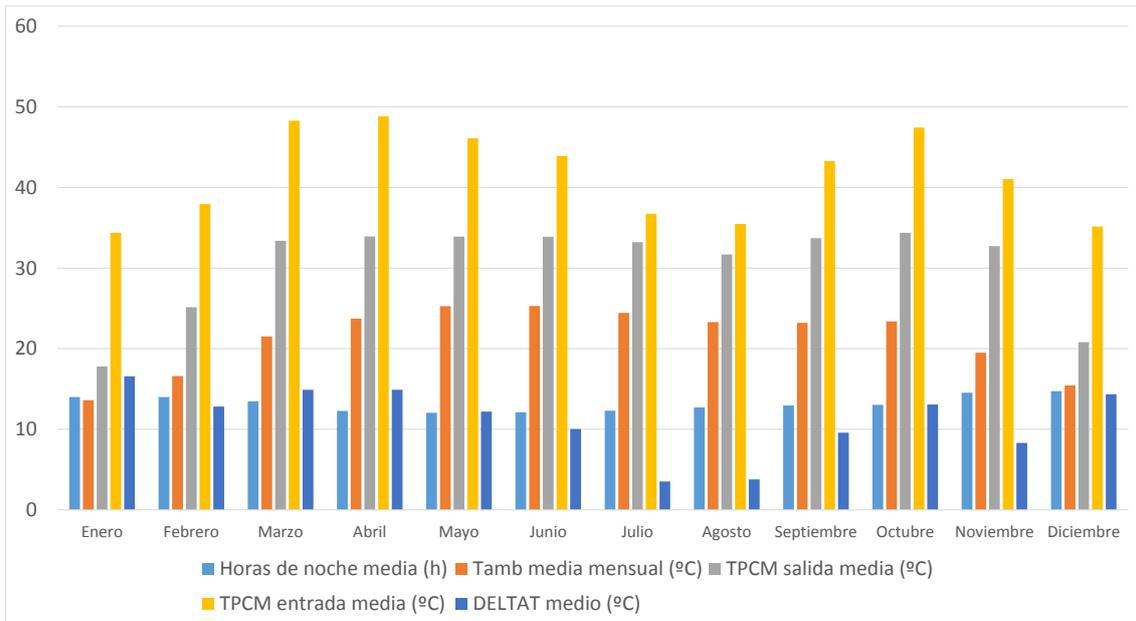
**Figura 96:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Empieza a verse una mayor cercanía entre las temperaturas del PCM a la entrada y salida para una  $T_{melt}$  de 35 °C.



**Figura 97:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

En este caso y como se representa en la figura 97, la predominancia de estados son el 12 y el 23.



**Figura 98:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

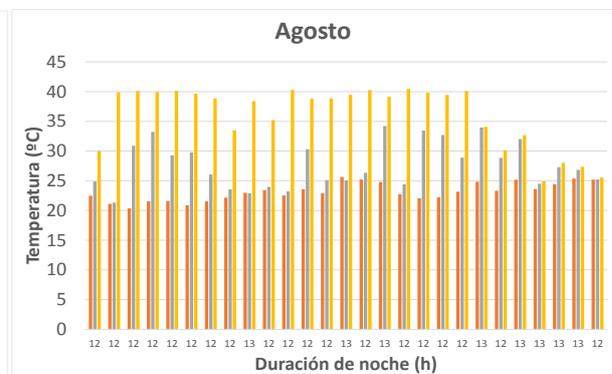
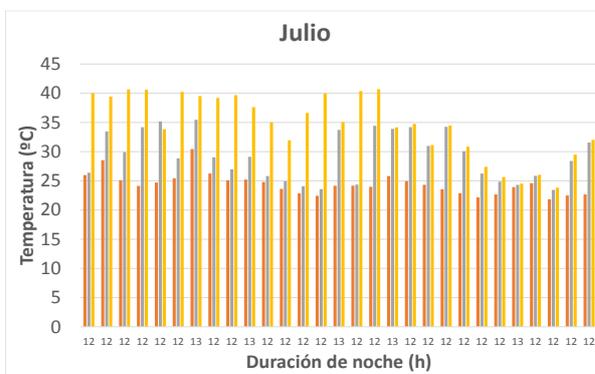
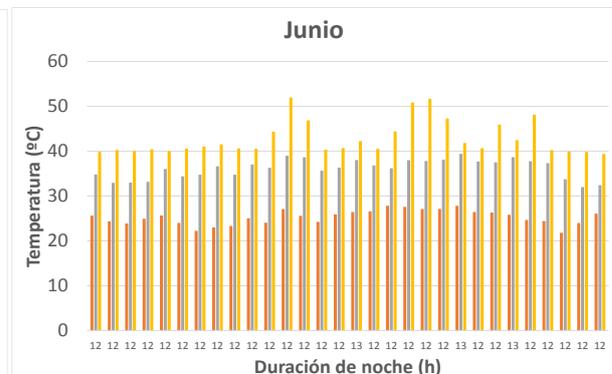
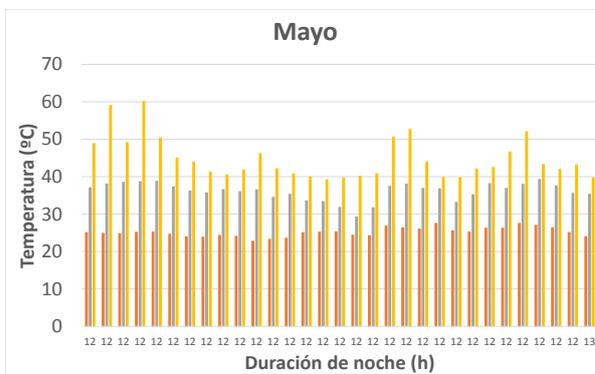
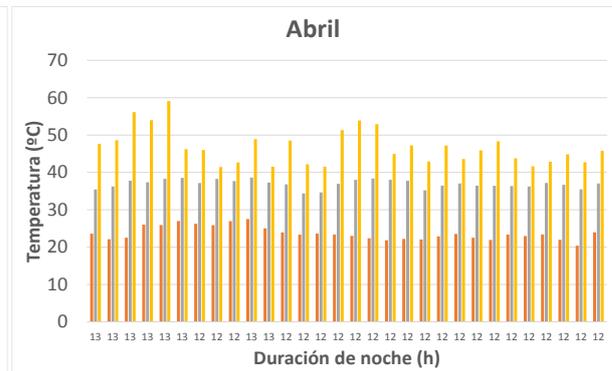
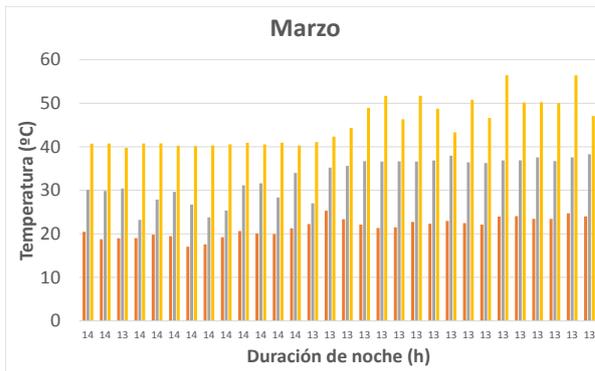
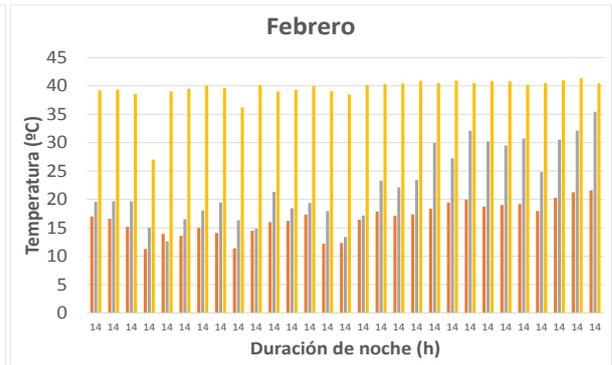
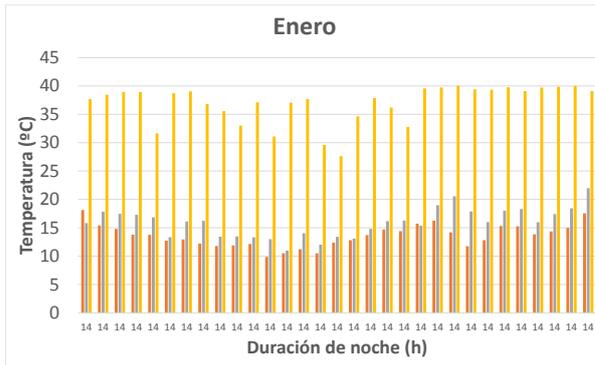
Puede verse en la figura 98 que ahora la temperatura media mensual del PCM a la salida se empieza a alejar de la temperatura melt mientras que, por otro lado, la temperatura media mensual del PCM a la entrada se acerca a dicho valor.

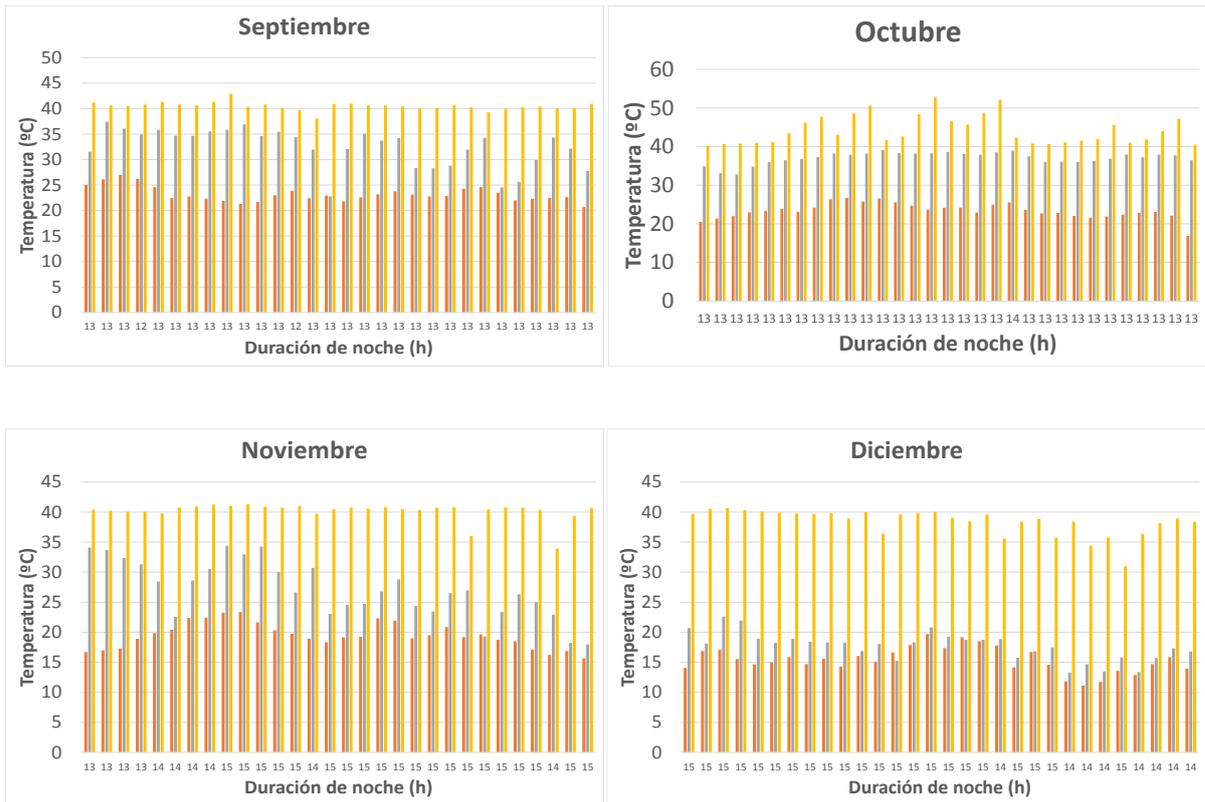
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	17,80	34,37	16,57
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	25,14	37,95	12,81
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	33,40	48,29	14,89
<b>Abril</b>	12,27	23,72	33,94	48,83	14,89
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	33,91	46,10	12,19
<b>Junio</b>	12,10	25,30	33,88	43,89	10,01
<b>Julio</b>	12,29	24,44	33,21	36,73	3,52
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	31,69	35,47	3,78
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	33,70	43,26	9,56
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	34,37	47,43	13,06
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	32,73	41,03	8,30
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	20,80	35,14	14,34

**Tabla 26:** datos promediados para la representación de la figura 98 para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

En la tabla 26 se ve más claramente lo descrito anteriormente. Algunos valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada se acercan mucho al valor impuesto de la temperatura de cambio de fase.

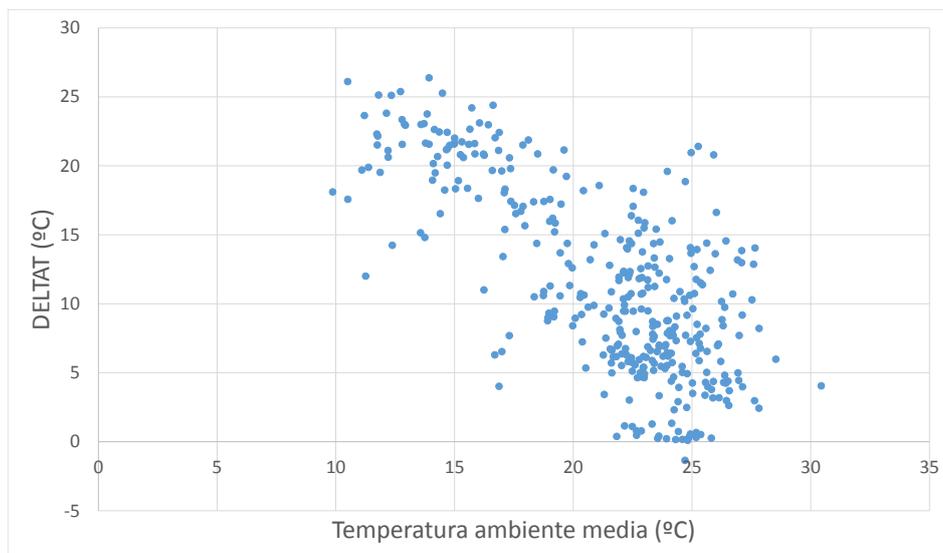
$T_{melt} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$





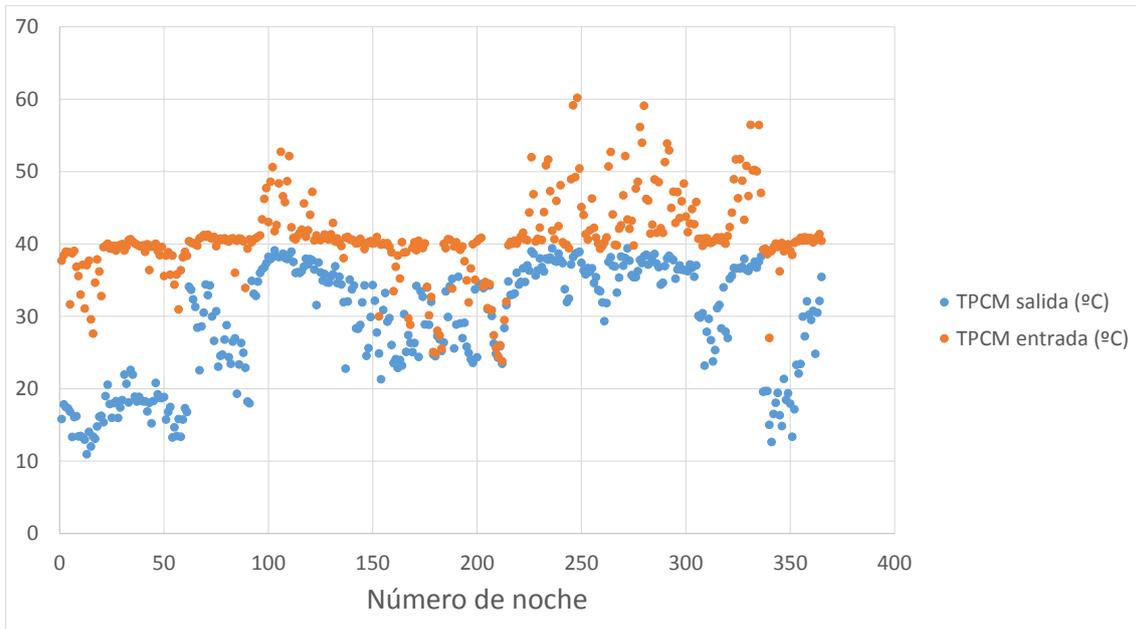
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Se puede ver en el grupo de gráficas que la temperatura del PCM a la entrada alcanza el valor exacto de la temperatura melt seleccionada, y en varios meses del año.



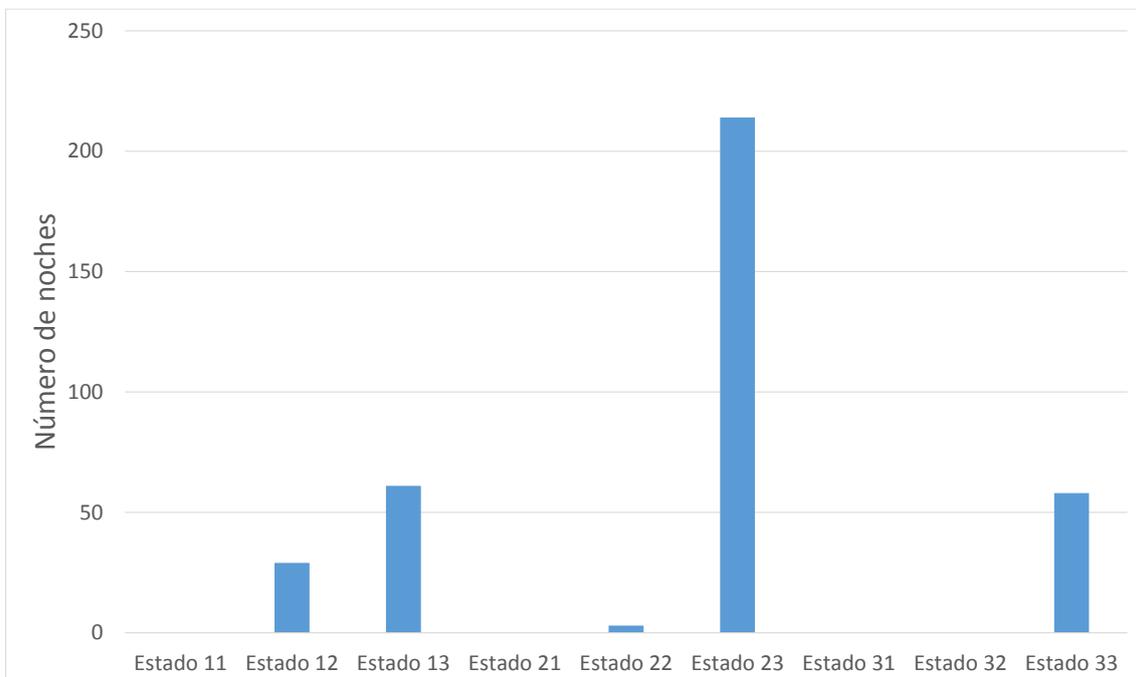
**Figura 99: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Destacar de la figura 99 que hay una mayor concentración de valores DELTAT entre las temperaturas ambiente media de 20 °C a 28 °C, aproximadamente.



**Figura 100:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Ahora las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida tienen valores muy cercanos, lo que quiere decir que se ha alcanzado una temperatura óptima de cambio de fase para el PCM.



**Figura 101:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Se puede ver, en la figura 101, la predominancia del estado 23 sobre los demás estados.

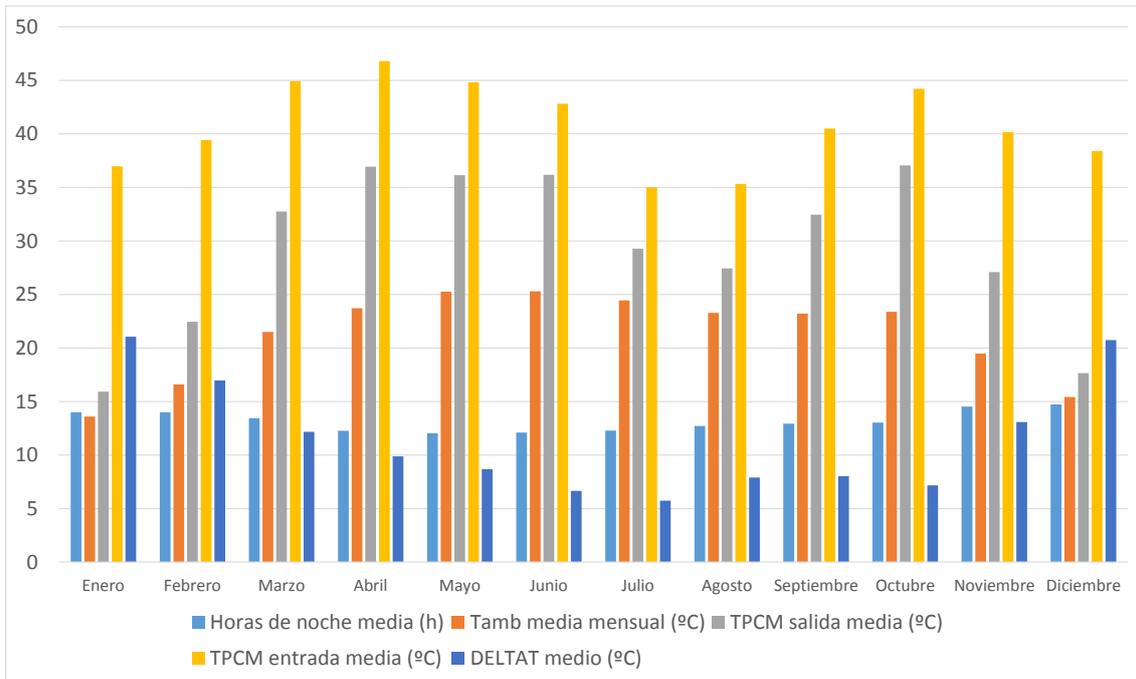


Figura 102: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 40 °C.

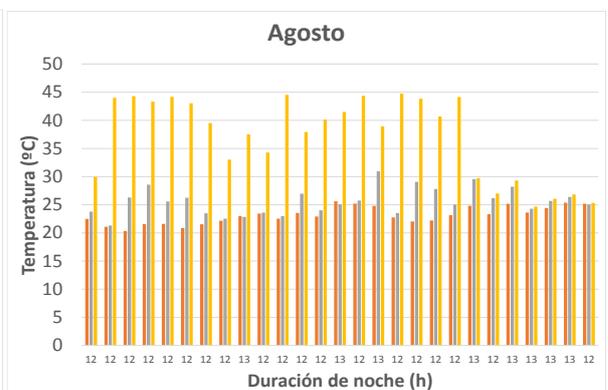
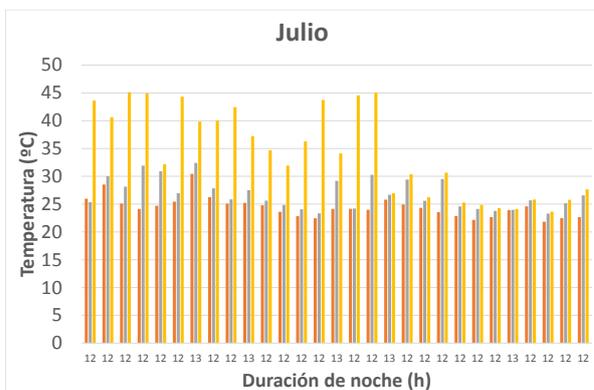
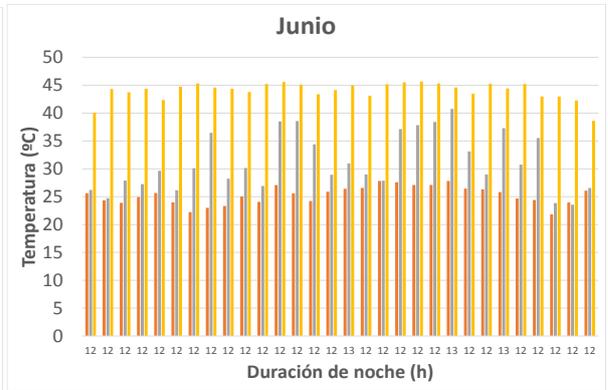
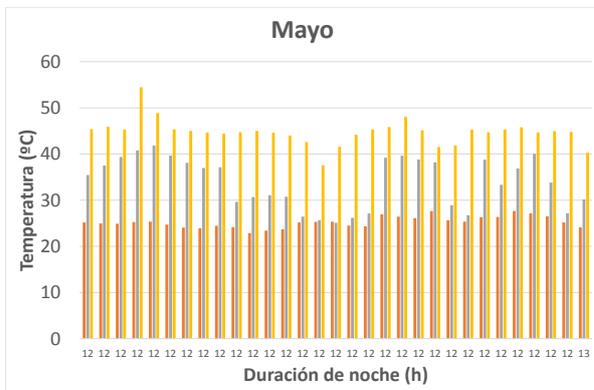
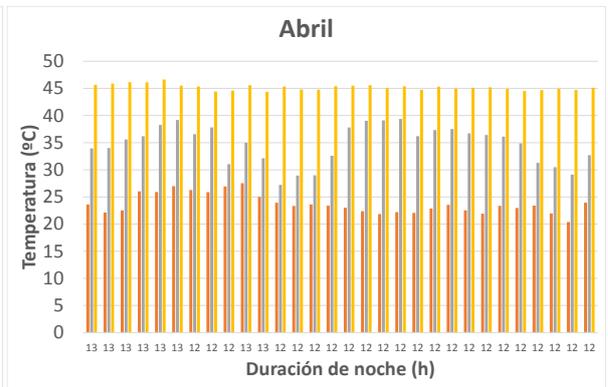
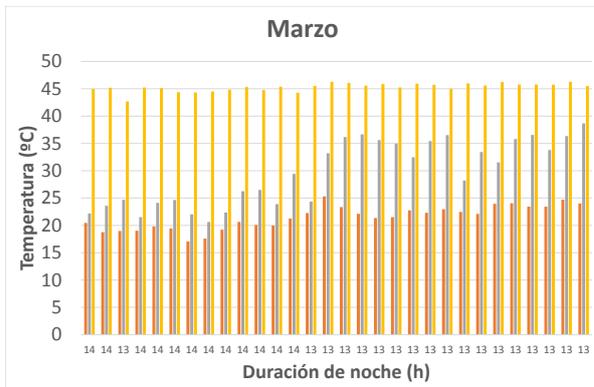
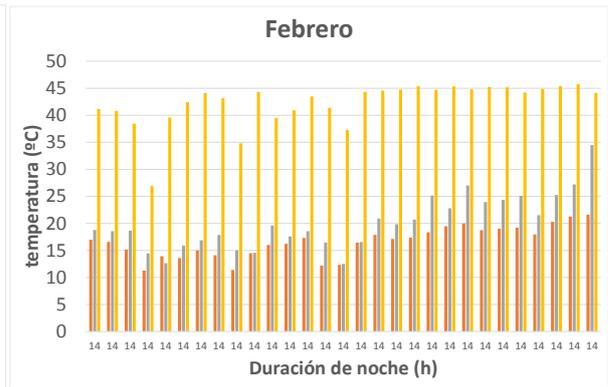
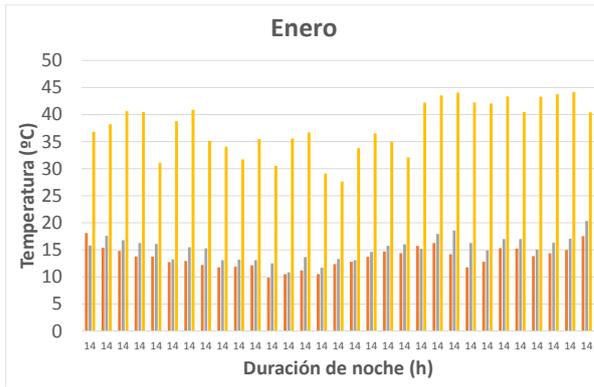
Se puede ver en la figura 102 que la temperatura media mensual del PCM alcanza los 40 °C en varios meses, mientras que en el resto solo hay una diferencia máxima de 5 °C.

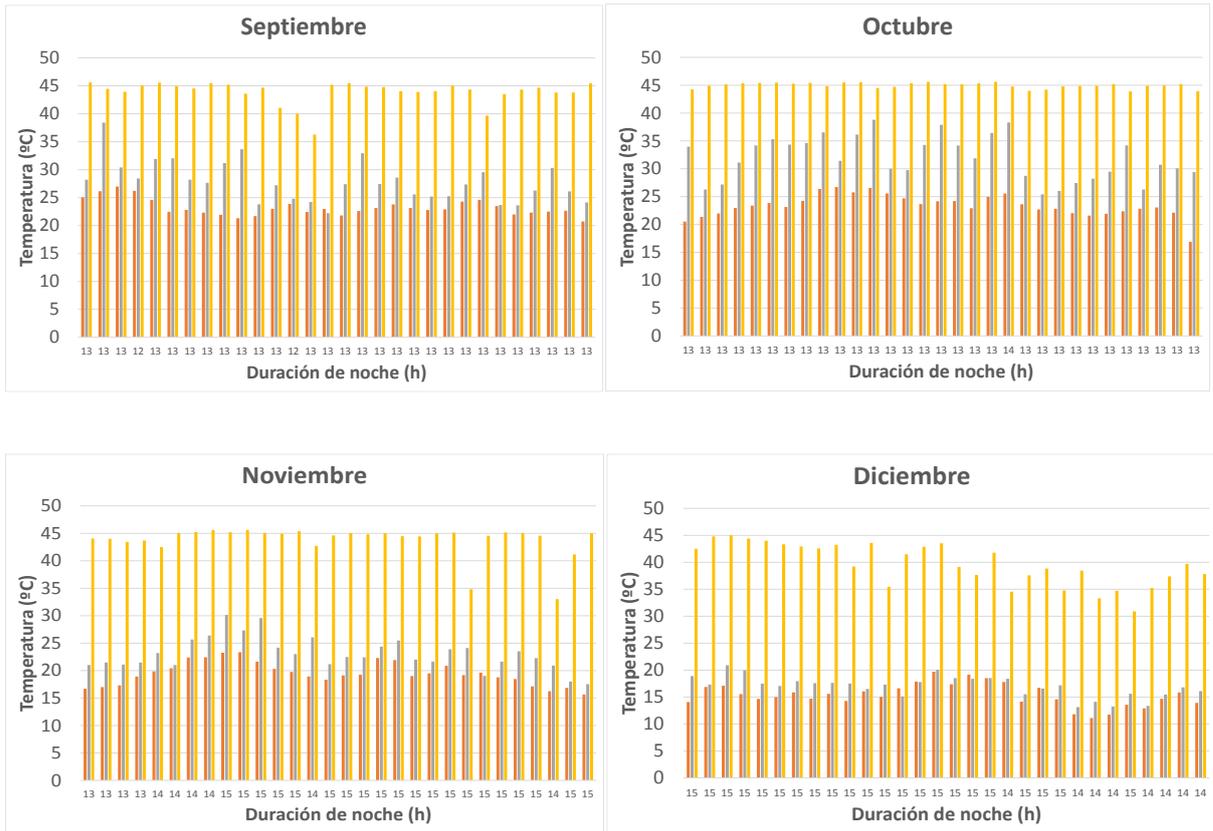
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	15,92	36,97	21,05
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	22,45	39,43	16,98
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	32,76	44,93	12,17
<b>Abril</b>	12,27	23,72	36,94	46,81	9,88
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	36,15	44,83	8,68
<b>Junio</b>	12,10	25,30	36,17	42,83	6,66
<b>Julio</b>	12,29	24,44	29,27	35,01	5,73
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	27,44	35,33	7,89
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	32,46	40,49	8,03
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	37,05	44,22	7,17
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	27,09	40,17	13,08
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	17,66	38,40	20,75

Tabla 27: datos promediados para la representación de la figura 102 para una Tmelt de 40 °C.

Lo anterior se justifica con la tabla 27 en la que se pone de manifiesto que muchas temperaturas del PCM a la entrada y a la salida son cercanas o muy cercanas a la temperatura melt seleccionada.

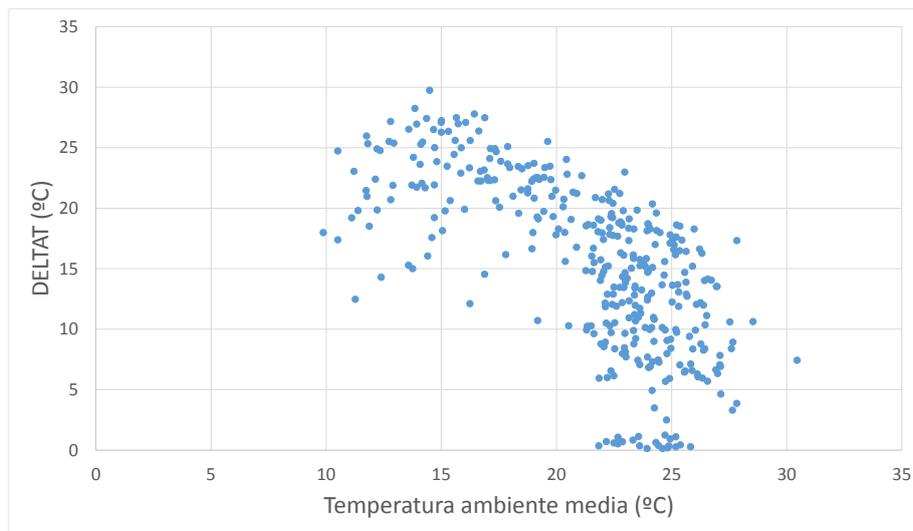
$T_{melt} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$





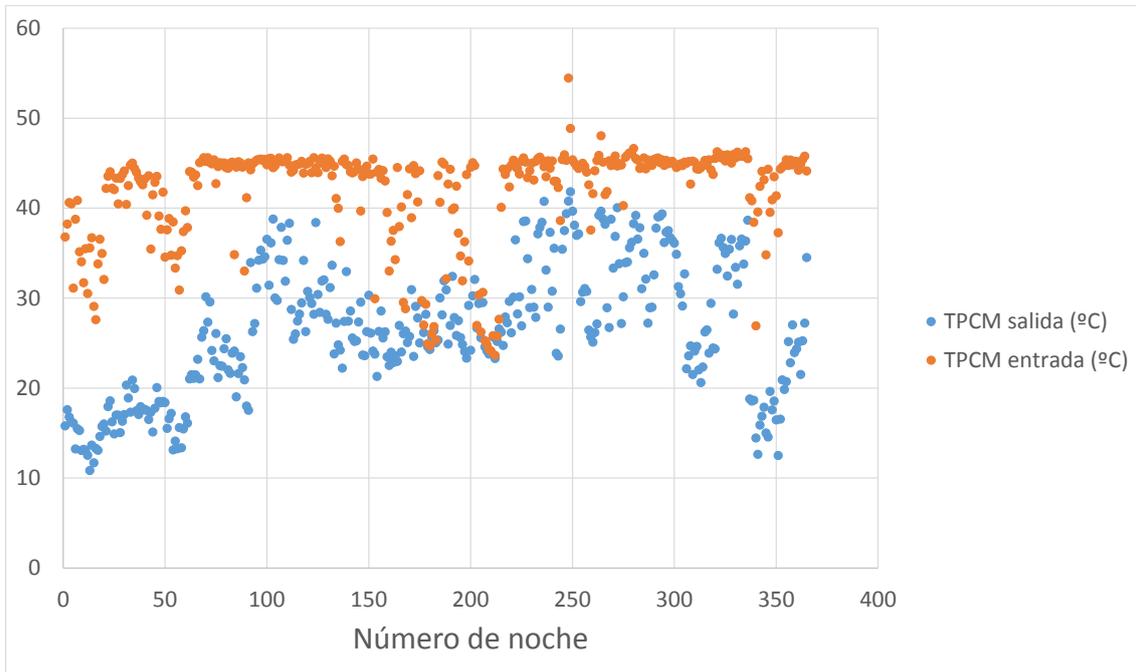
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

El comportamiento es muy similar a la temperatura melt anterior.



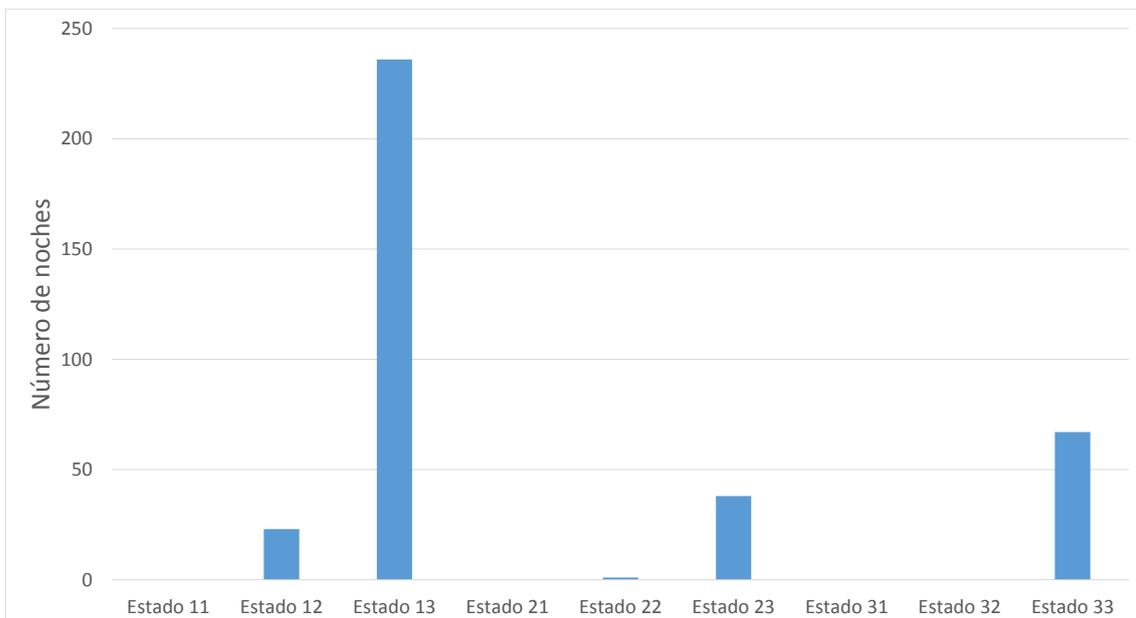
**Figura 103: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Se puede apreciar, en la figura 103, la misma dispersión y comportamiento que en la temperatura melt anterior.



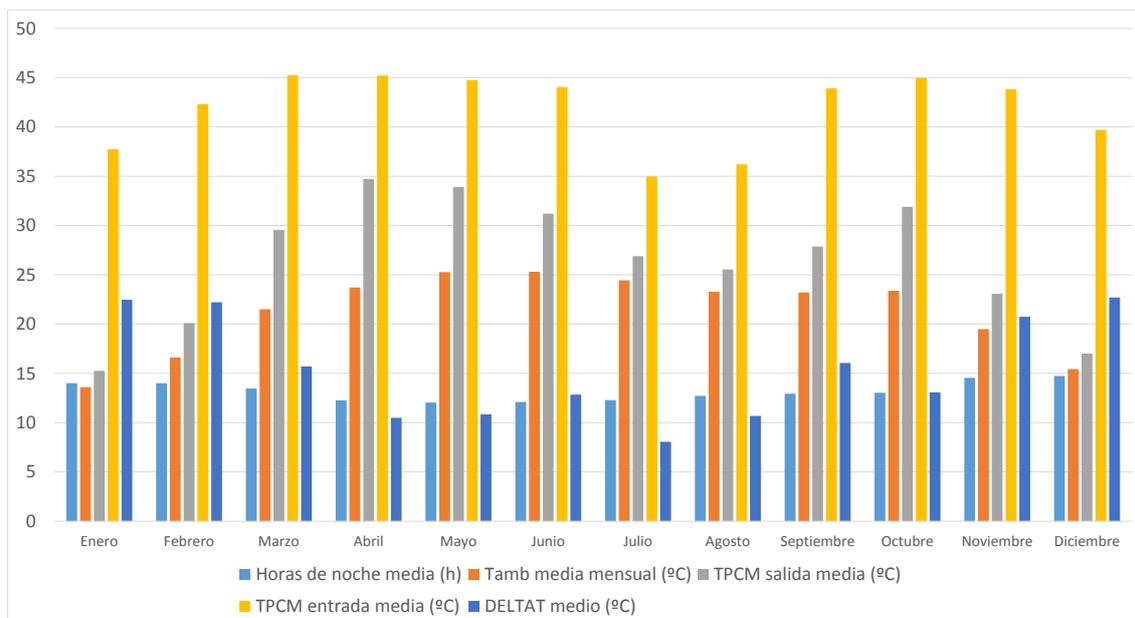
**Figura 104:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

La figura 104 difiere de su equivalente, para la temperatura melt de 40 °C, en que se puede ver que los valores de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida se están alejando.



**Figura 105:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

La predominancia ahora la tiene el estado 13 en la gran mayoría de las noches.



**Figura 106:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

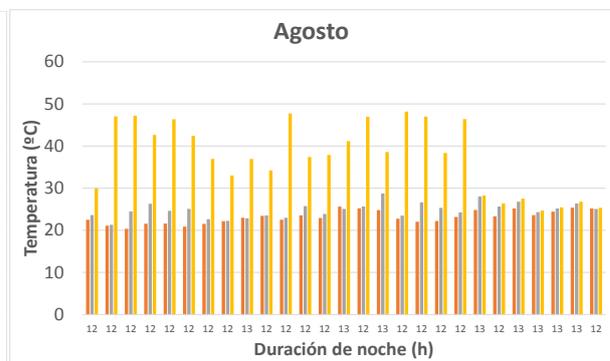
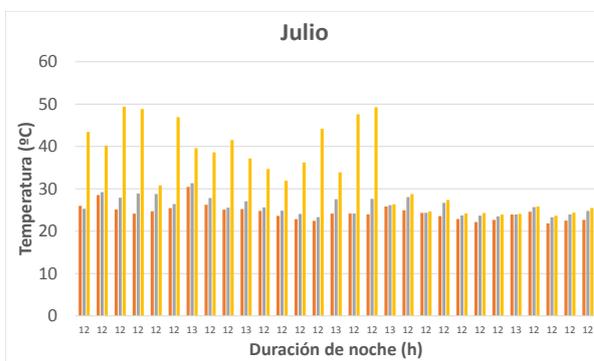
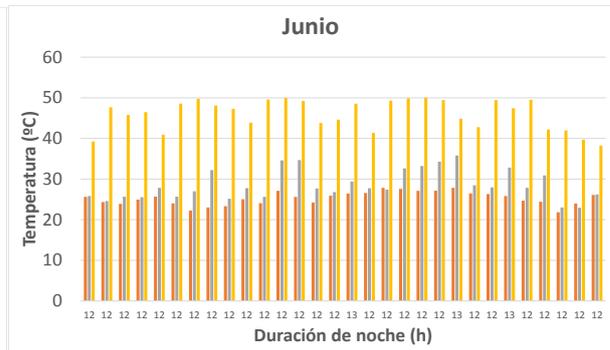
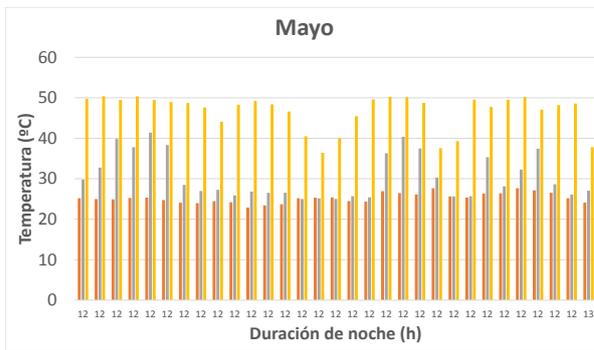
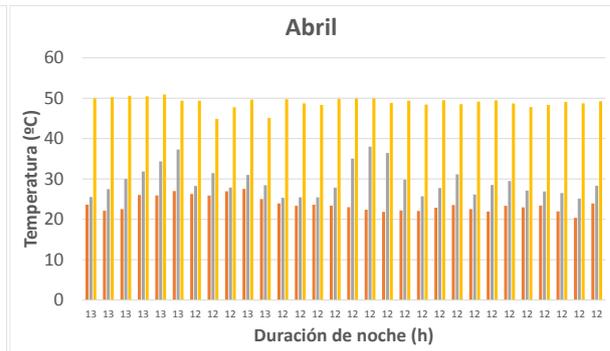
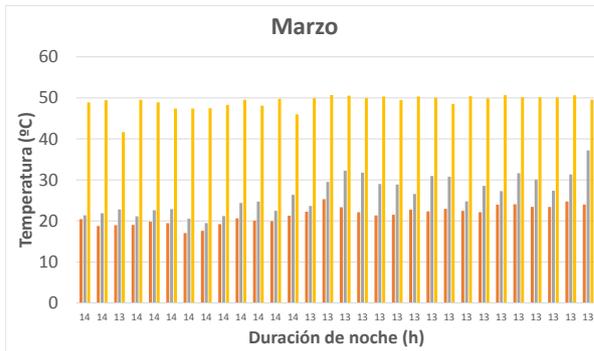
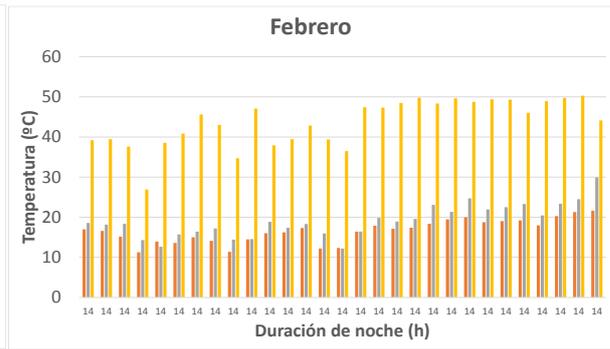
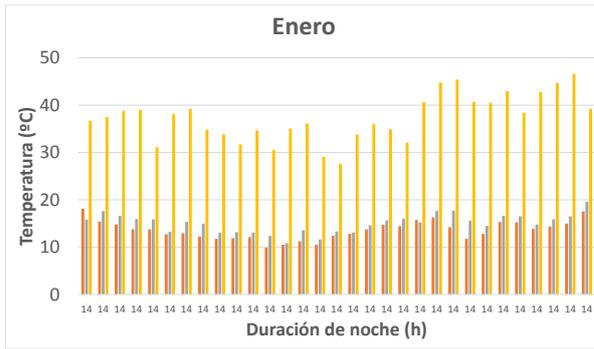
Los valores medios mensuales de interés alcanzan en menor medida la temperatura melt impuesta.

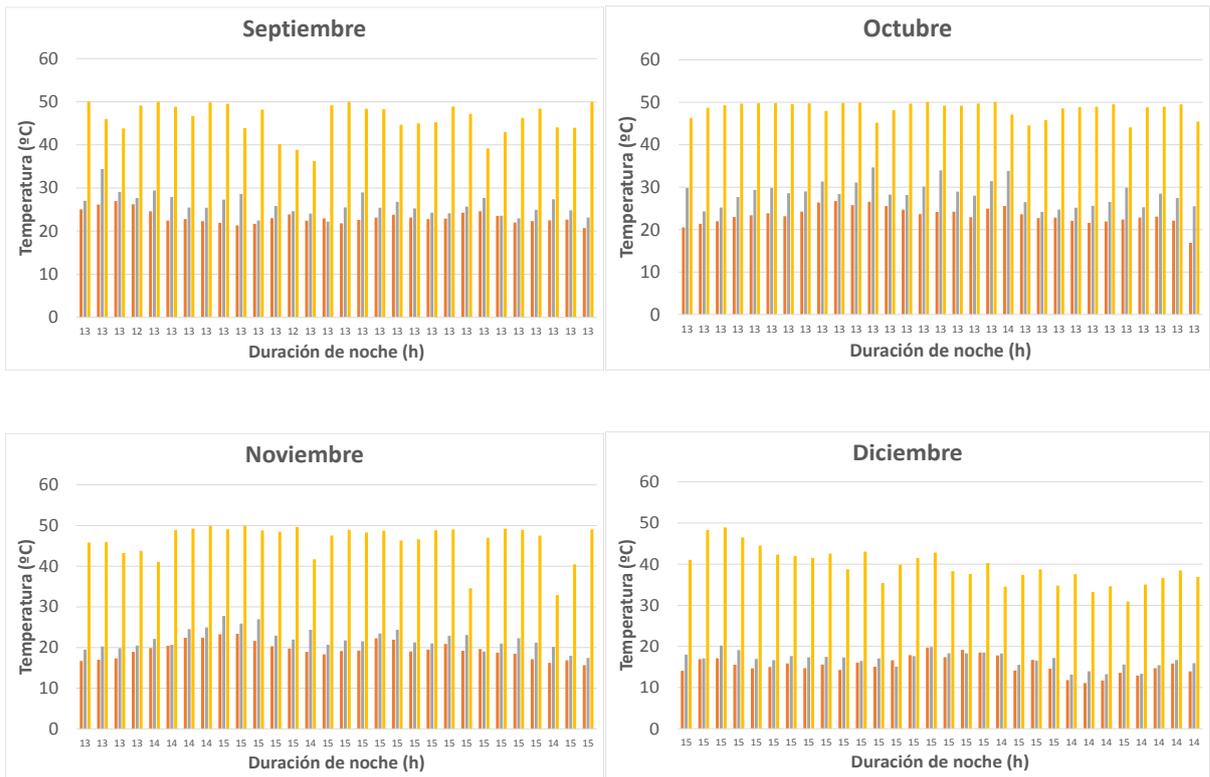
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	15,26	37,73	22,47
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	20,10	42,31	22,21
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	29,55	45,25	15,71
<b>Abril</b>	12,27	23,72	34,72	45,21	10,49
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	33,91	44,75	10,84
<b>Junio</b>	12,10	25,30	31,20	44,04	12,84
<b>Julio</b>	12,29	24,44	26,90	34,96	8,06
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	25,54	36,21	10,67
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	27,86	43,91	16,06
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	31,89	44,97	13,08
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	23,07	43,81	20,74
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	17,00	39,70	22,70

**Tabla 28:** datos promediados para la representación de la figura 106 para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

En la tabla 28 se destaca lo expuesto anteriormente, los valores de la temperatura media mensual del PCM a la salida apenas alcanzan la temperatura de cambio de fase, mientras que la temperatura media mensual del PCM a la entrada no alcanza con tanta frecuencia el valor impuesto, como lo hacía para un  $T_{melt}$  de 40 °C.

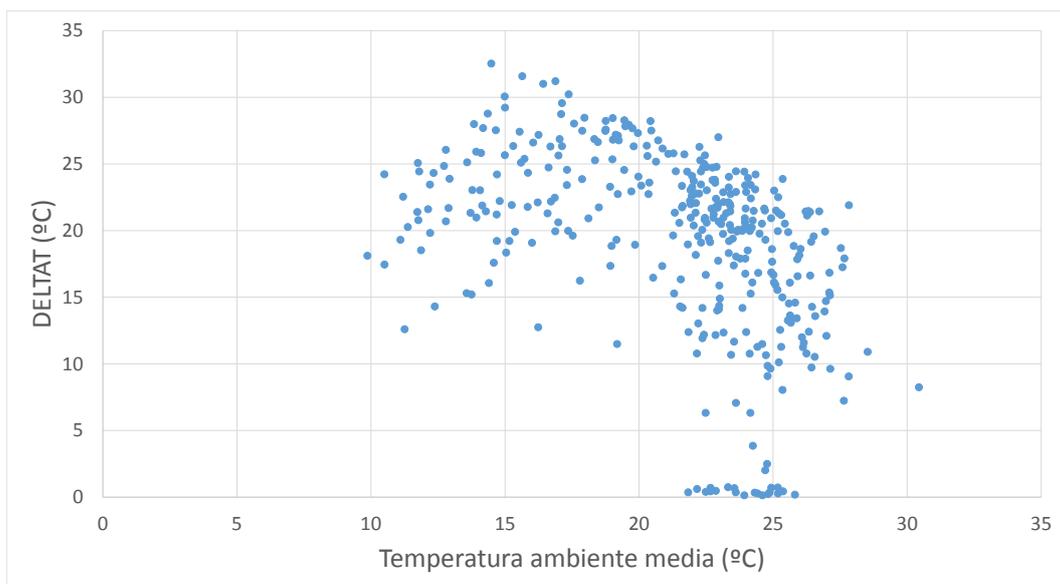
$T_{melt} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$





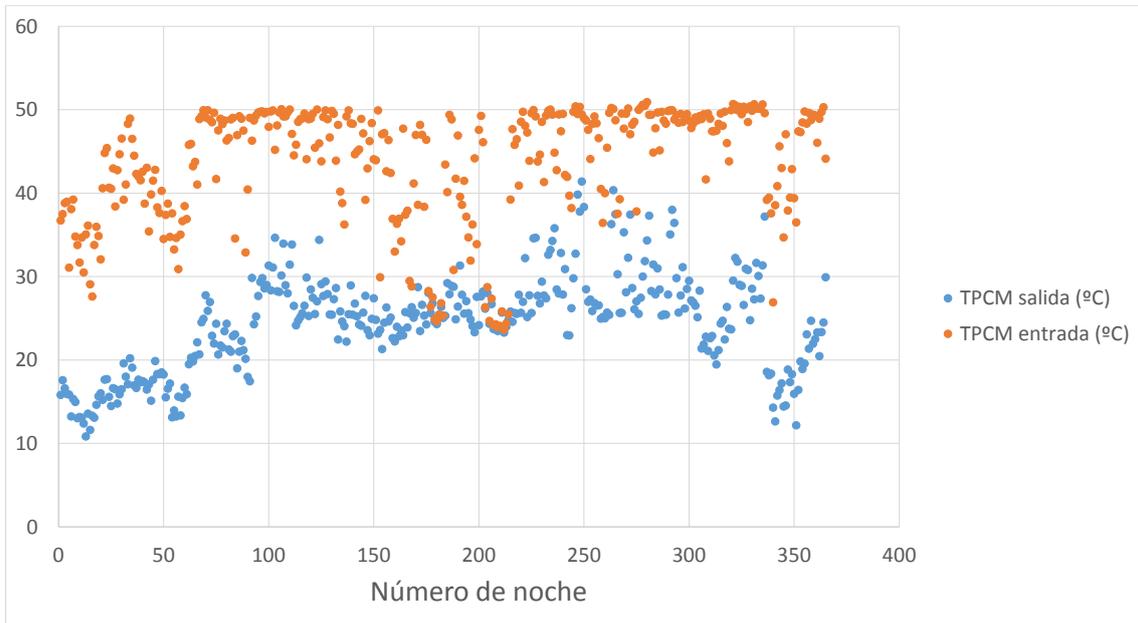
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Para una  $T_{melt}$  de 50 °C, la temperatura del PCM a la entrada alcanza este valor varios meses pero no la misma cantidad ni tan uniformemente como para una  $T_{melt}$  de 40 °C.



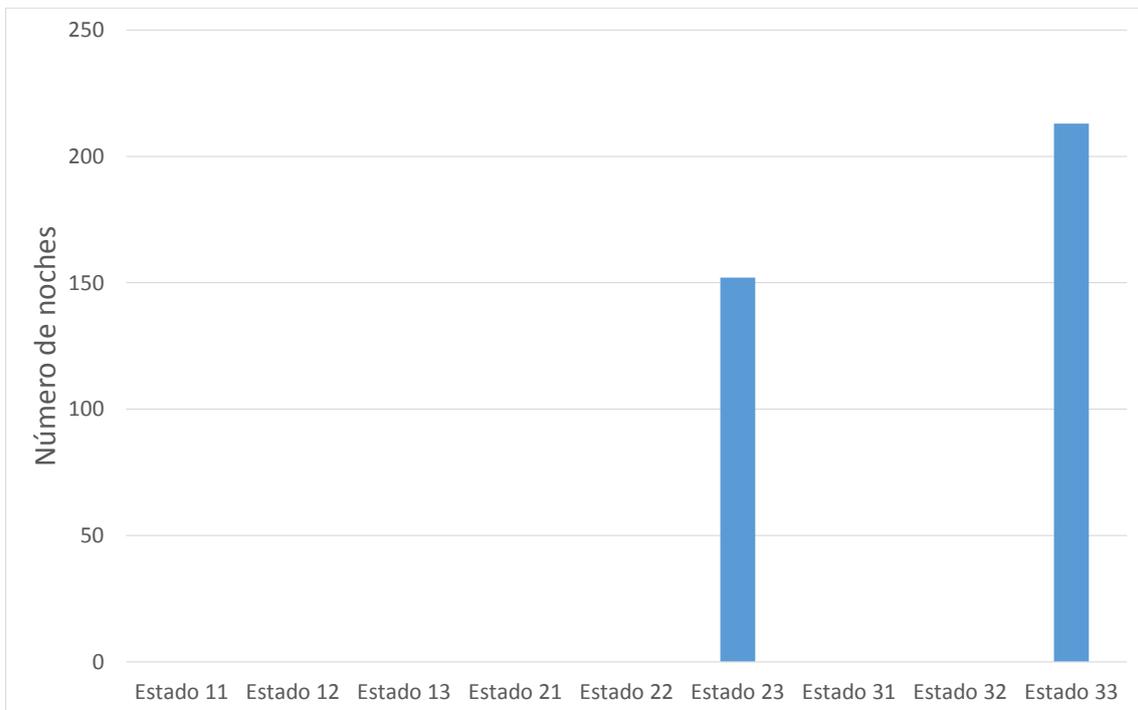
**Figura 107: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Los valores de DELTAT se concentran en el rango de 15 °C a 25 °C, para una temperatura ambiente media de 20 °C a 25 °C.



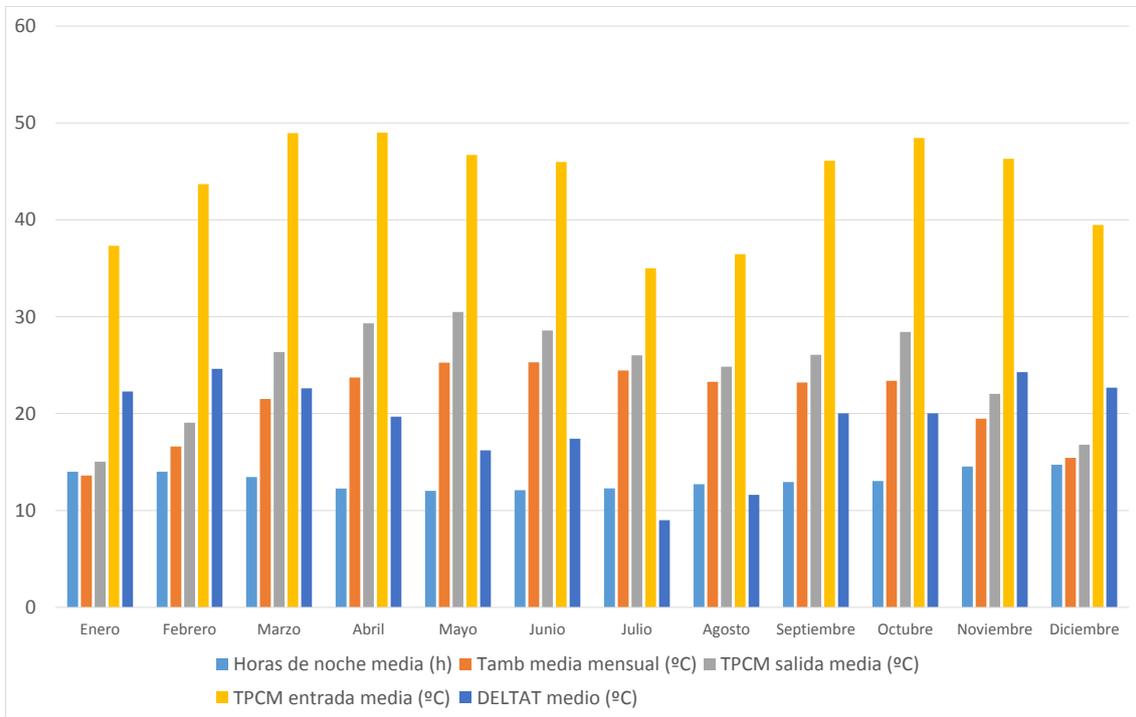
**Figura 108:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se ve claramente que esta temperatura de cambio de fase seleccionada no es óptima dado que la gran mayoría de los valores, correspondientes a la temperatura de entrada del PCM, alcanzan dicha temperatura pero la diferencia que existe con la temperatura del PCM a la salida ha aumentado con respecto a la  $T_{melt}$  de 45 °C.



**Figura 109:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

La predominancia de estados ahora se concentra en el 23 y en el 33, representados en la figura 109.



**Figura 110:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se puede ver que los parámetros medios mensuales de temperatura del PCM a la entrada y a la salida no alcanzan esta temperatura de cambio de fase.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	14,00	13,60	15,04	37,32	22,28
<b>Febrero</b>	14,00	16,60	19,06	43,68	24,62
<b>Marzo</b>	13,45	21,50	26,36	48,96	22,60
<b>Abril</b>	12,27	23,72	29,32	49,01	19,69
<b>Mayo</b>	12,03	25,26	30,49	46,70	16,21
<b>Junio</b>	12,10	25,30	28,57	45,98	17,41
<b>Julio</b>	12,29	24,44	26,01	35,00	8,99
<b>Agosto</b>	12,71	23,28	24,85	36,46	11,62
<b>Septiembre</b>	12,93	23,21	26,07	46,09	20,02
<b>Octubre</b>	13,03	23,38	28,42	48,45	20,03
<b>Noviembre</b>	14,53	19,48	22,04	46,31	24,27
<b>Diciembre</b>	14,73	15,43	16,79	39,47	22,67

**Tabla 29:** datos promediados para la representación de la figura 110 para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Recalcando lo anterior, en la tabla 29 puede verse como dichos valores no alcanzan la  $T_{melt}$  de 50 °C.

### 10.3 Conclusiones finales de Charanka

Tmelt	Horas de noche anual media (h)	Tamb media anual (°C)	TPCM salida anual (°C)	TPCM entrada anual (°C)	DELTAT anual (°C)	POUT (W/m <sup>2</sup> )	Porcentaje de producción
10	13,17	21,27	23,30	44,25	20,95	271787,44	9,01
15	13,17	21,27	23,48	43,48	20,00	271829,30	9,03
20	13,17	21,27	24,25	43,27	19,02	272120,49	9,15
25	13,17	21,27	26,09	42,80	16,71	272852,80	9,44
30	13,17	21,27	28,93	41,89	12,95	274585,17	10,14
35	13,17	21,27	30,38	41,54	11,16	276284,71	10,82
40	13,17	21,27	29,28	40,79	11,51	278233,53	11,60
45	13,17	21,27	26,42	41,90	15,49	278041,75	11,52
50	13,17	21,27	24,42	43,62	19,20	276074,60	10,73
Sin PCM						249316,15	

Tabla 30: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.

Se alcanza el pico de potencia a los 40 °C como se puede ver en la tabla 30.

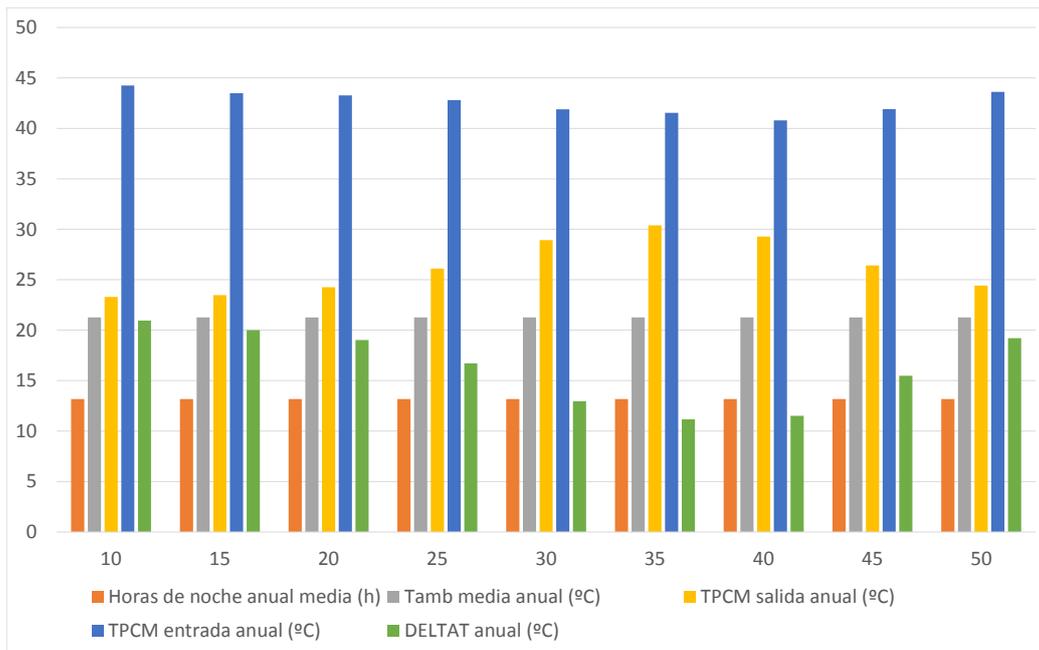


Figura 111: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada.

Nuevamente, se recalca en el parecido comportamiento de Charanka con Nzema dado que para temperaturas Tmelt intermedias, la temperatura del PCM se estabilizaba en torno a dicho valor para luego seguir una estabilidad de la temperatura del PCM a la entrada a la Tmelt seleccionada. Analizando la tabla 30, se ve que el pico de producción de potencia se alcanza para una Tmelt de 40 °C siendo este valor muy cercano a los 41 °C calculados con el método hora-hora.



## **11. Estudio de Golmud (China)**

### **11.1 Índice de figuras para Golmud**

<b>Figura 112: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>141</b>
<b>Figura 113: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 114: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 115: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 116: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 117: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>146</b>
<b>Figura 118: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>146</b>
<b>Figura 119: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>147</b>
<b>Figura 120: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>149</b>
<b>Figura 121: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 122: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 123: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>151</b>
<b>Figura 124: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 125: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 126: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 127: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>155</b>

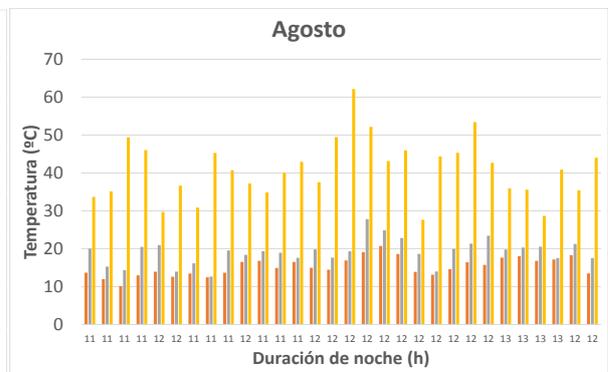
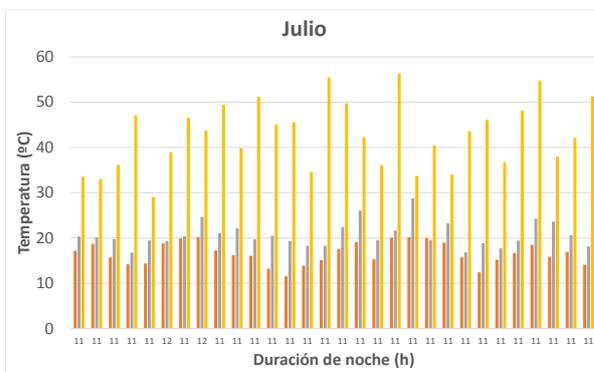
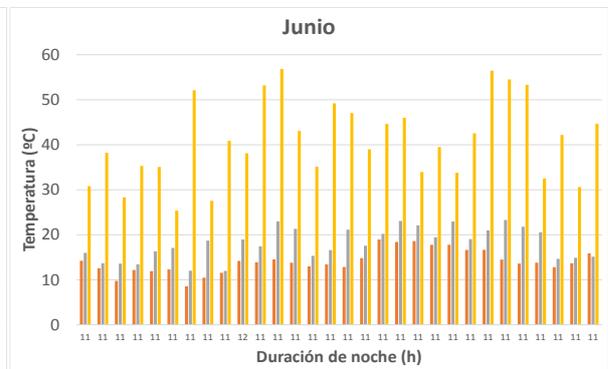
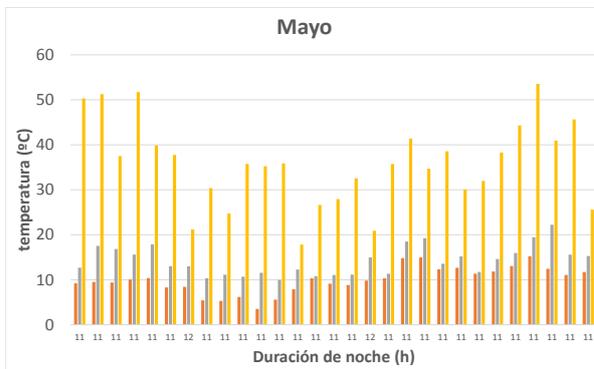
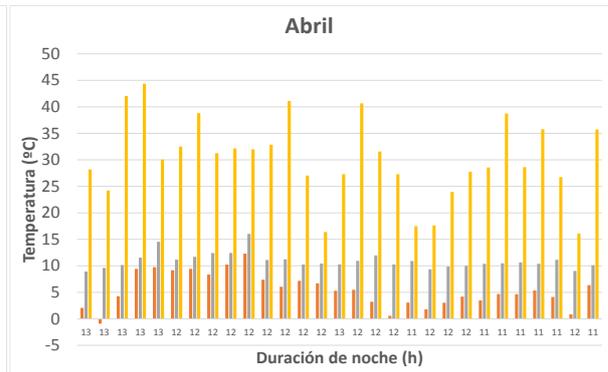
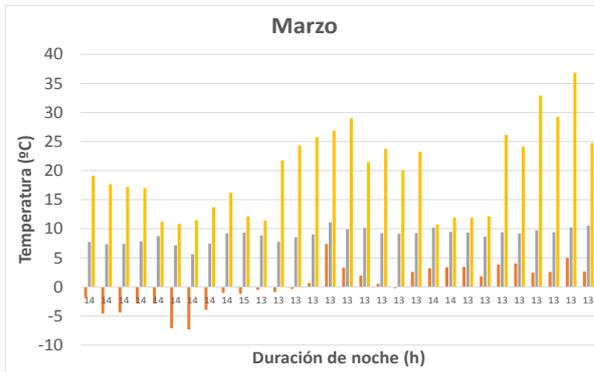
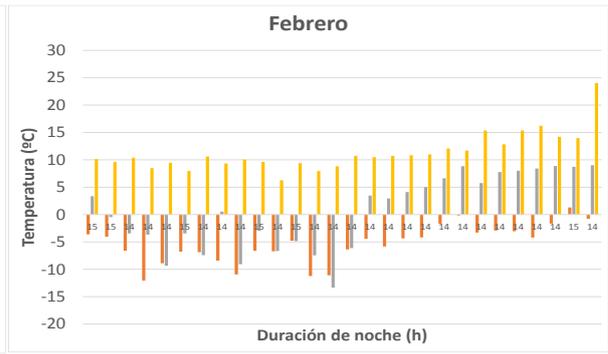
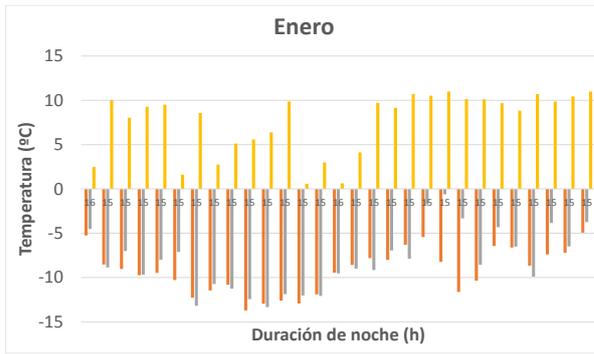
<b>Figura 128: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 129: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 130: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 131: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 132: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 133: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 134: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 135: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>163</b>
<b>Figura 136: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 137: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>166</b>
<b>Figura 138: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>166</b>
<b>Figura 139: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>167</b>
<b>Figura 140: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>169</b>
<b>Figura 141: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>170</b>
<b>Figura 142: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>170</b>
<b>Figura 143: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>171</b>
<b>Figura 144: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>173</b>

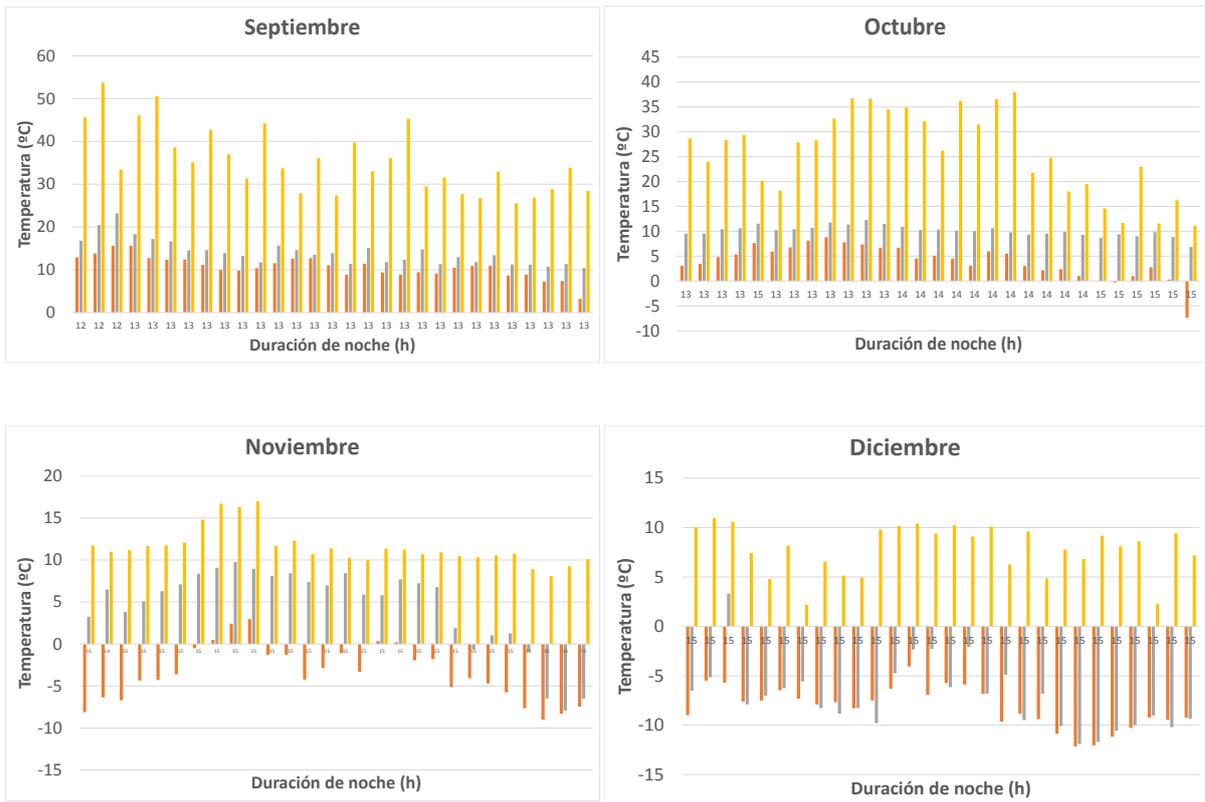
<b>Figura 145: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>174</b>
<b>Figura 146: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>174</b>
<b>Figura 147: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>175</b>
<b>Figura 148: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada <math>T_{melt}</math> analizada. ....</b>	<b>176</b>

## **11.2 Índice de tablas para Golmud**

<b>Tabla 31: datos promediados para la representación de la figura 115 para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C.....</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 32: datos promediados para la representación de la figura 119 para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C.....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 33: datos promediados para la representación de la figura 123 para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C.....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 34: datos promediados para la representación de la figura 127 para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C.....</b>	<b>155</b>
<b>Tabla 35: datos promediados para la representación de la figura 131 para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C.....</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 36: datos promediados para la representación de la figura 135 para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C.....</b>	<b>163</b>
<b>Tabla 37: datos promediados para la representación de la figura 139 para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C.....</b>	<b>167</b>
<b>Tabla 38: datos promediados para la representación de la figura 143 para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C.....</b>	<b>171</b>
<b>Tabla 39: datos promediados para la representación de la figura 147 para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>175</b>
<b>Tabla 40: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM. ....</b>	<b>176</b>

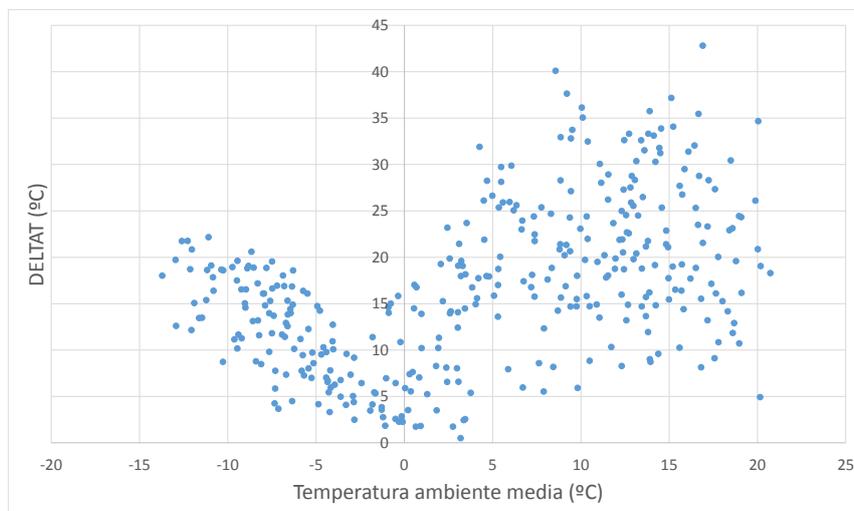
$T_{melt} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$





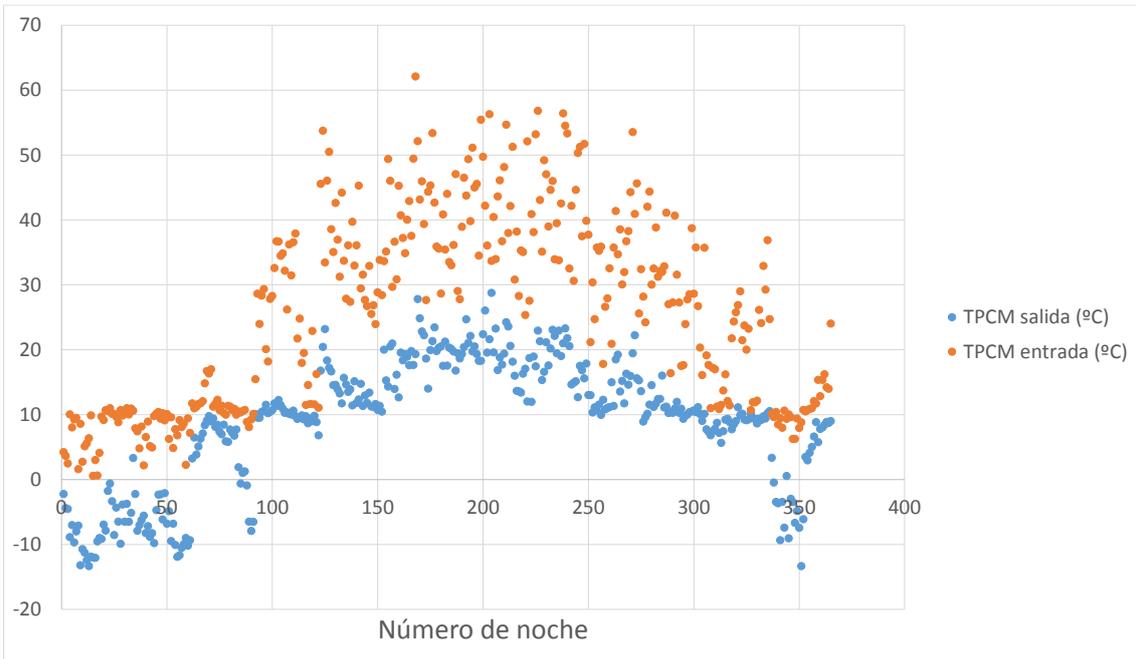
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Golmud se encuentra a la misma latitud que Neuhardenberg, por lo que las condiciones climáticas son casi similares. Como puede verse en el grupo de gráficas, hay meses muy fríos y meses muy cálidos, coincidiendo con la climatología alemana.



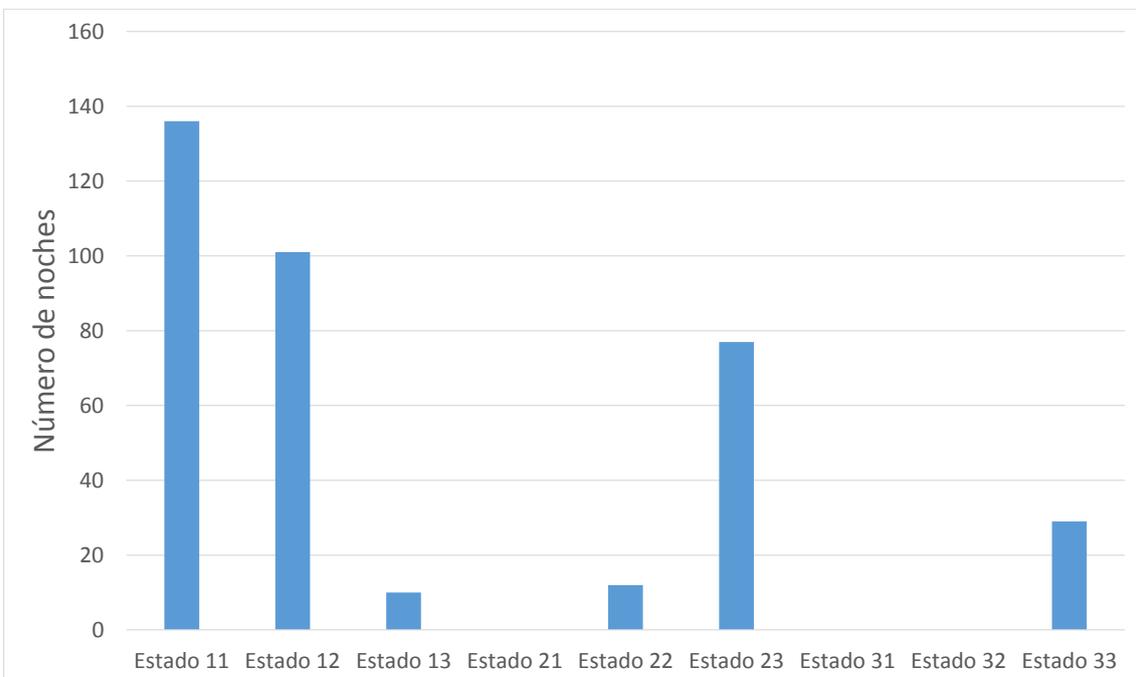
**Figura 112: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

Los saltos de temperatura varían de 0 °C a 40 °C, para una temperatura ambiente media en un rango de -15 °C a 20 °C. Con estos valores, que se han tomado de la figura 112, se puede ver que el clima de Golmud es muy severo en las estaciones de verano e invierno.



**Figura 113:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

La cercanía de temperaturas es similar a la localización alemana, para la misma  $T_{melt}$  seleccionada.



**Figura 114:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Los estados son muy diversos, viéndose los más destacado que son el 11, 12 y 23.

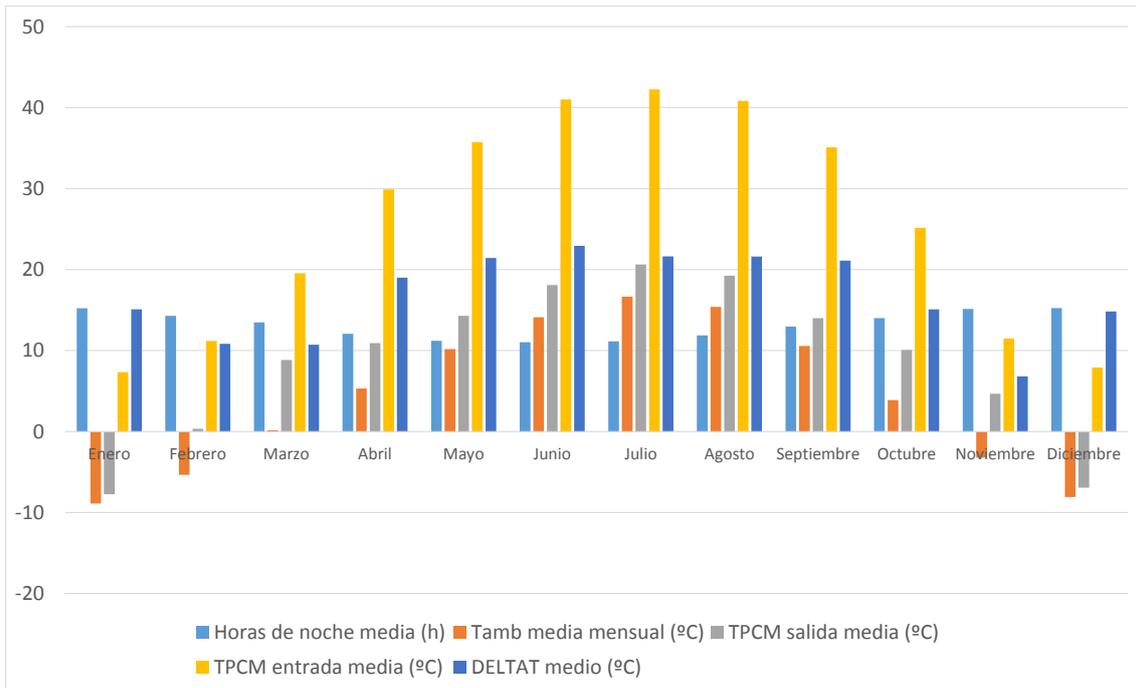


Figura 115: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una Tmelt de 10 °C.

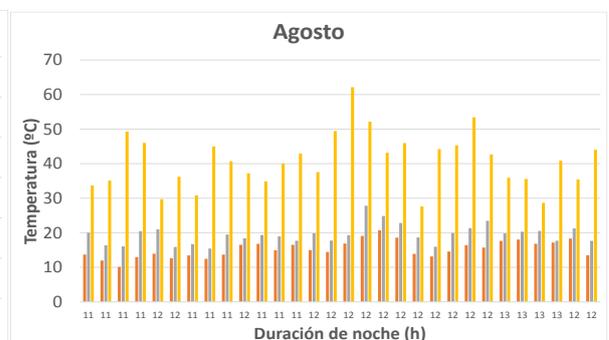
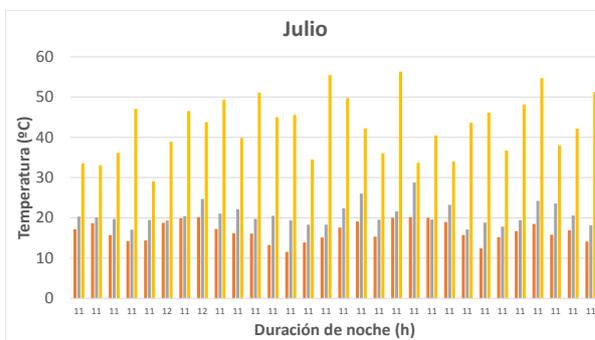
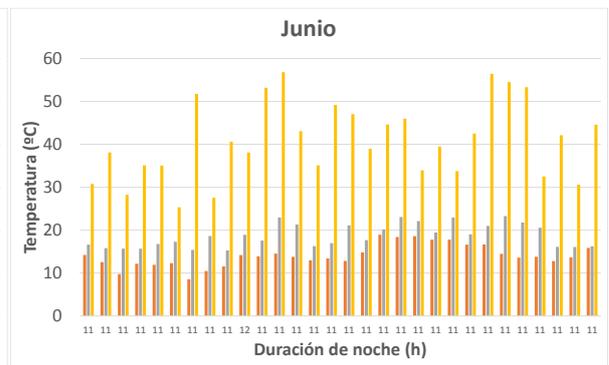
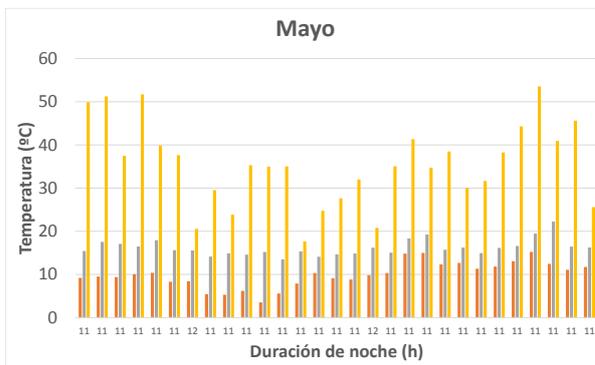
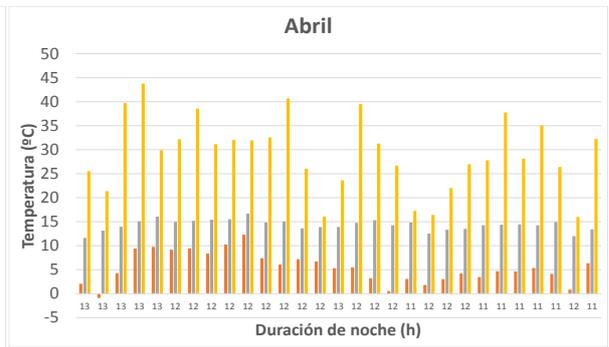
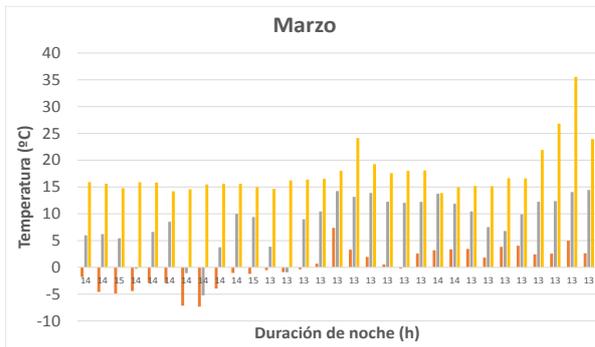
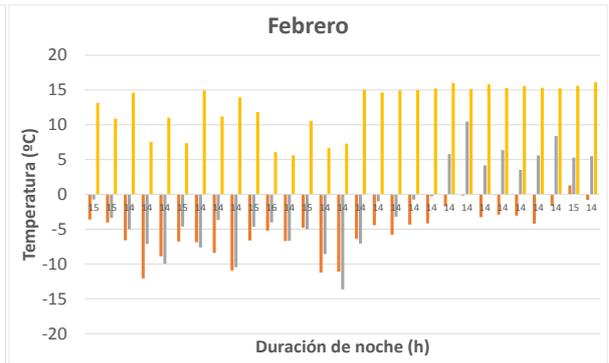
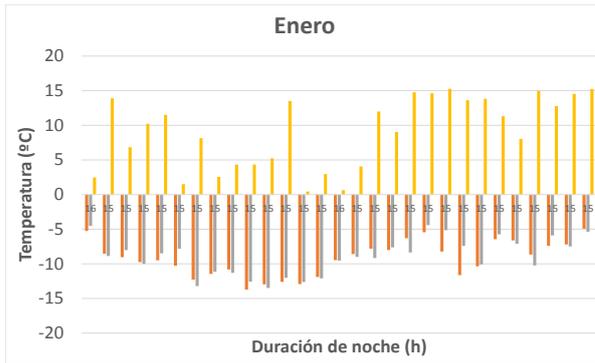
Se puede destacar, de la figura 115, que la temperatura media mensual del PCM a la salida toma valores negativos en algunos meses.

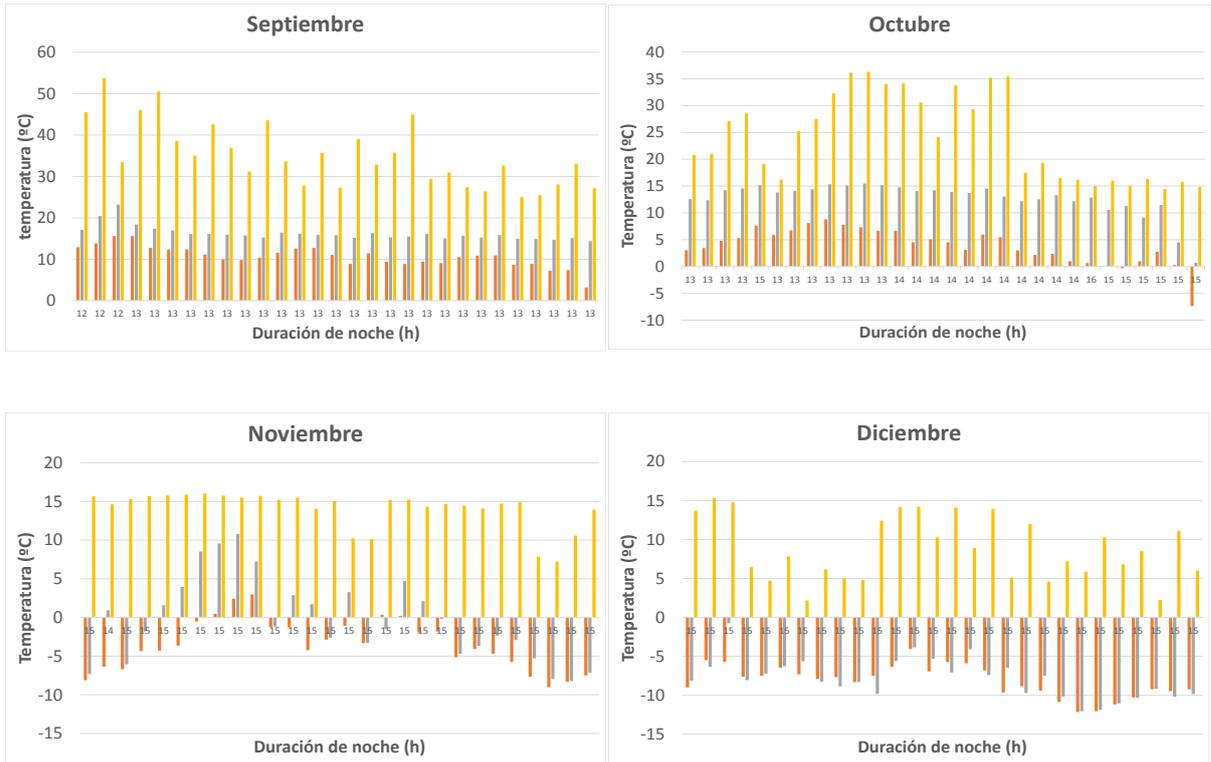
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-7,75	7,33	15,08
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	0,34	11,17	10,83
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	8,83	19,55	10,71
<b>Abril</b>	12,07	5,31	10,91	29,90	18,99
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	14,29	35,72	21,43
<b>Junio</b>	11,03	14,10	18,08	41,00	22,92
<b>Julio</b>	11,13	16,66	20,63	42,25	21,62
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	19,24	40,84	21,60
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	14,00	35,10	21,10
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	10,07	25,15	15,08
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	4,66	11,48	6,82
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-6,93	7,89	14,82

Tabla 31: datos promediados para la representación de la figura 115 para una Tmelt de 10 °C.

En la tabla 31 se detallan mucho mejor las temperaturas del PCM a la salida y los valores que toma en los meses fríos.

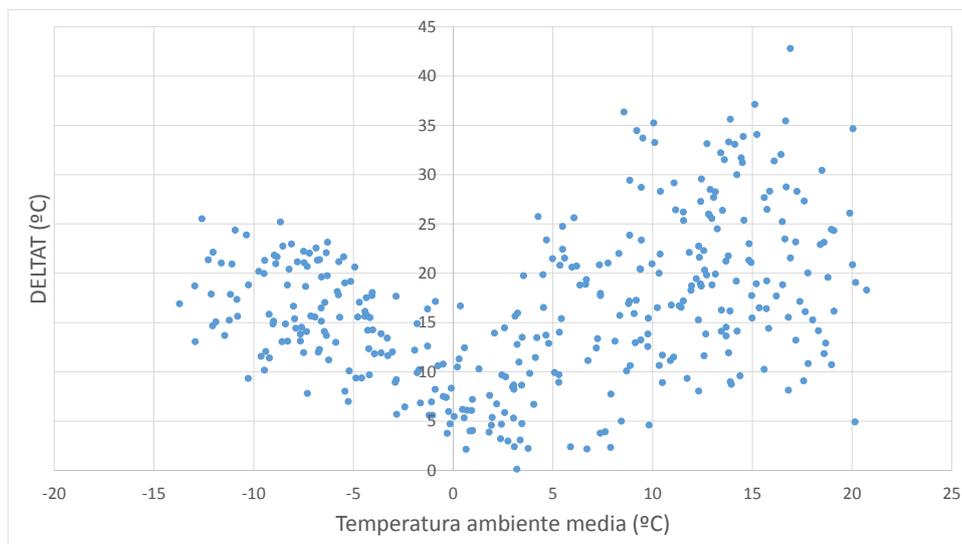
$T_{melt} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$





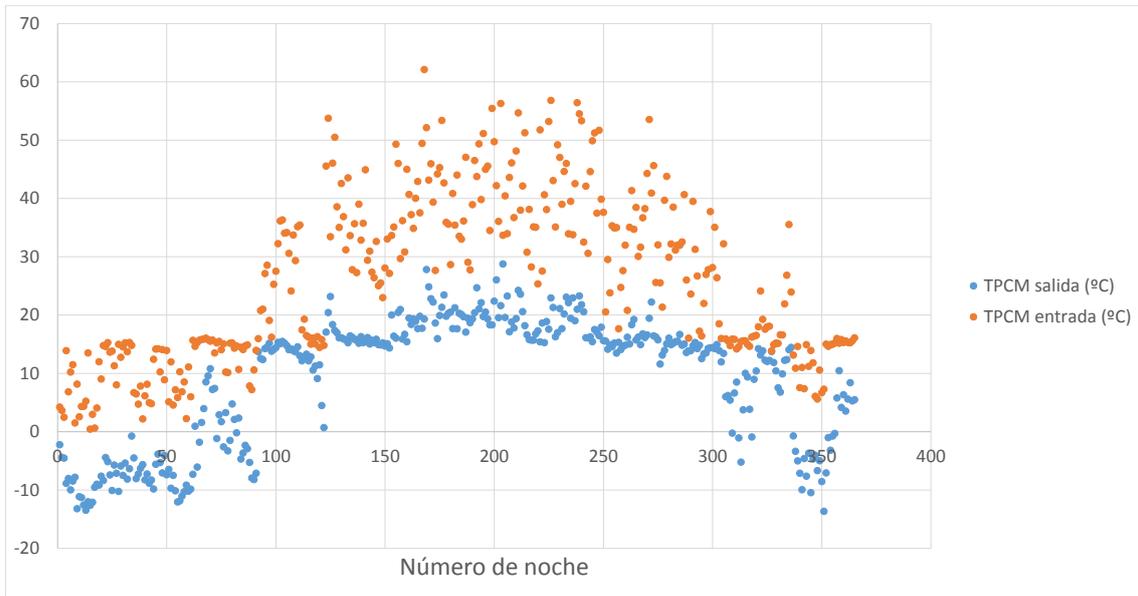
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Puede destacarse que, en algunos meses la temperatura del PCM a la entrada alcanza el valor de la  $T_{melt}$  seleccionada, y para otros meses, la temperatura del PCM a la salida también alcanza la temperatura de cambio de fase impuesta.



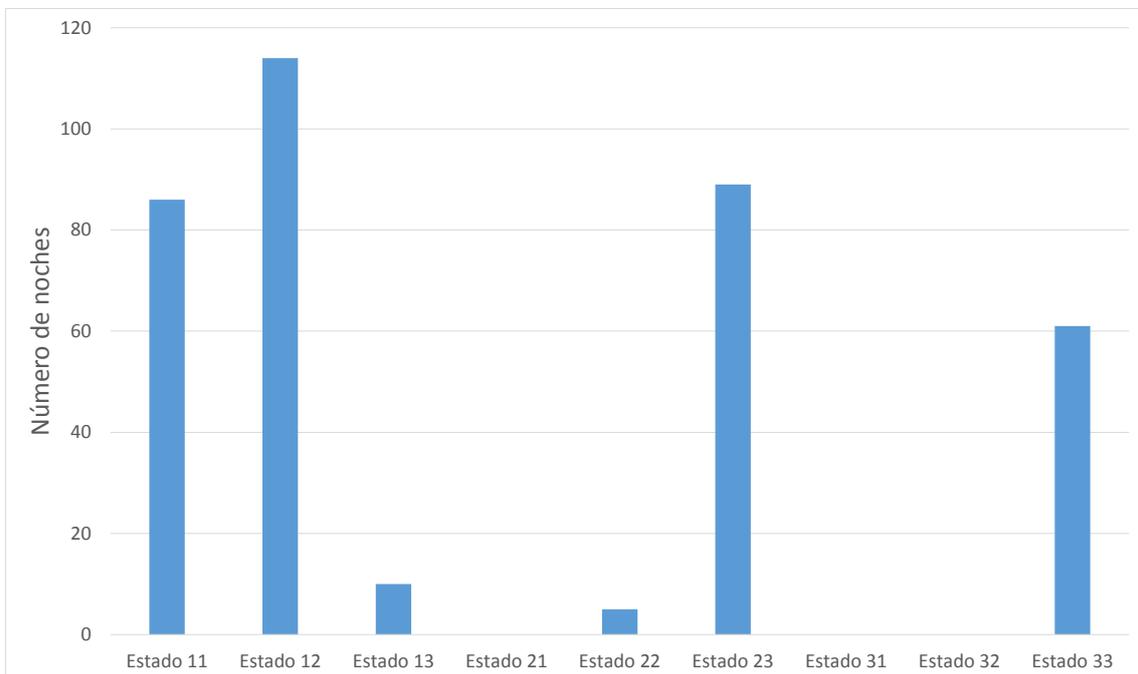
**Figura 116: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

El rango en el que varía la DELTAT es muy amplio, desde 0 °C a 45 °C, para temperaturas ambientales medias que van de -15 °C a 20 °C.



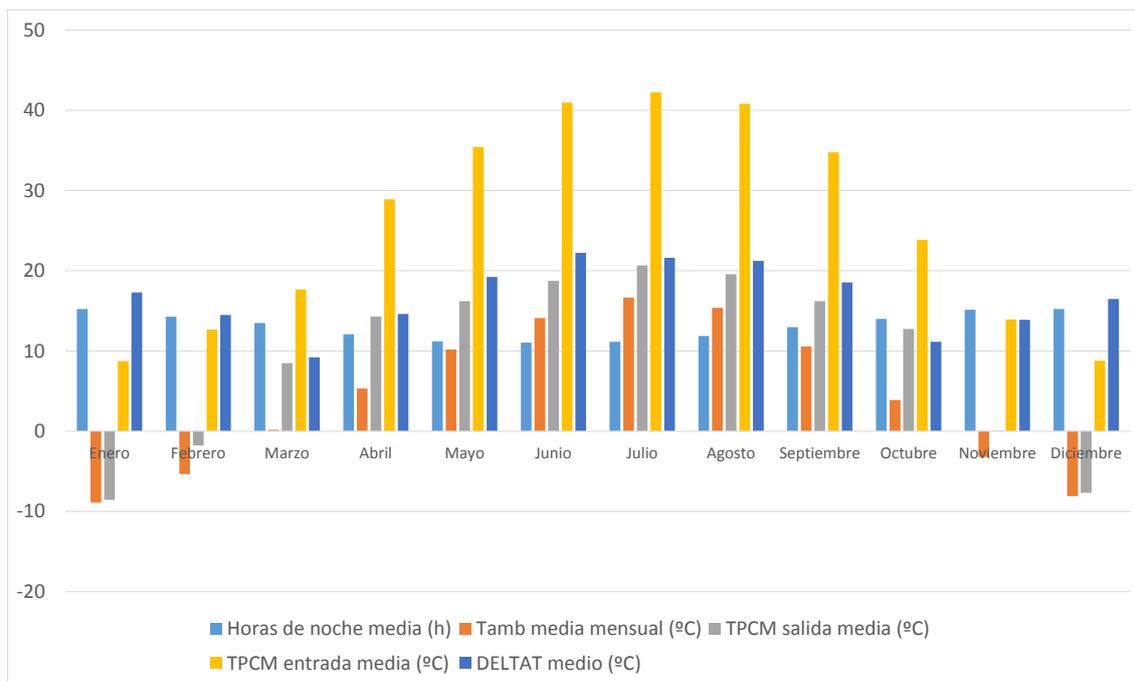
**Figura 117:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Todavía no se aprecia cercanía entre las temperaturas o que se mantengan constantes en el valor de la  $T_{melt}$  seleccionada, por lo que es necesario que se incremente la  $T_{melt}$ .



**Figura 118:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Existen diversos estados en los que se mueve el PCM a lo largo de las noches, predominando el estado 12 representado en la figura 118.



**Figura 119:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

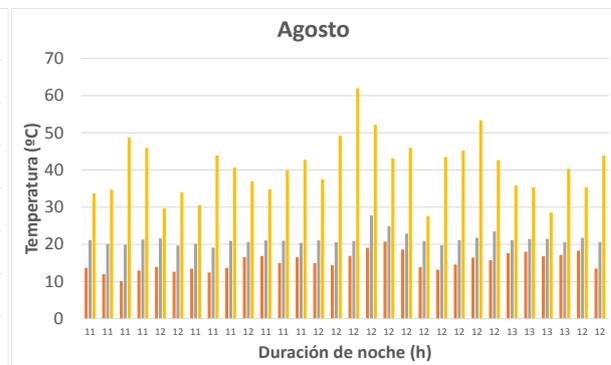
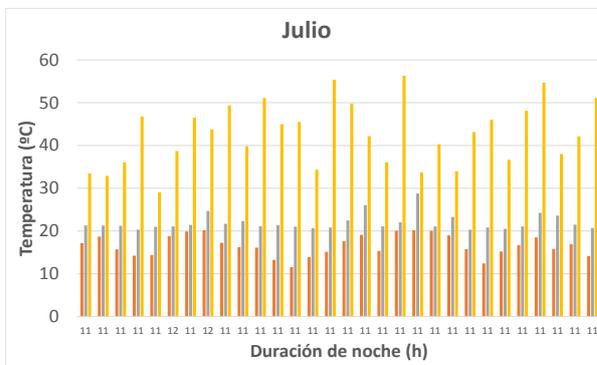
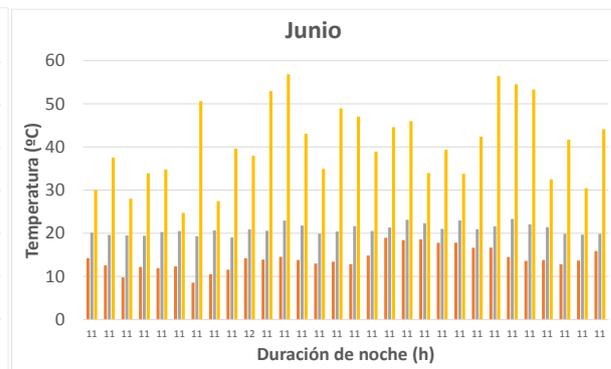
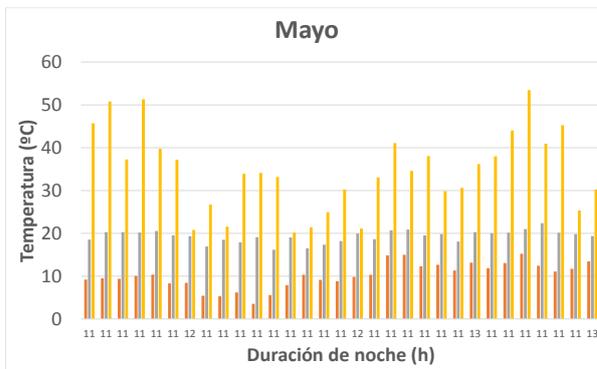
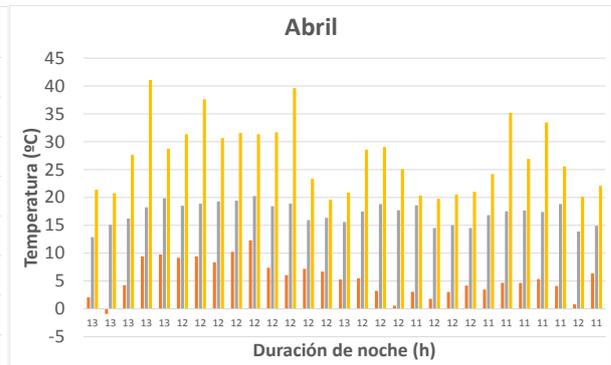
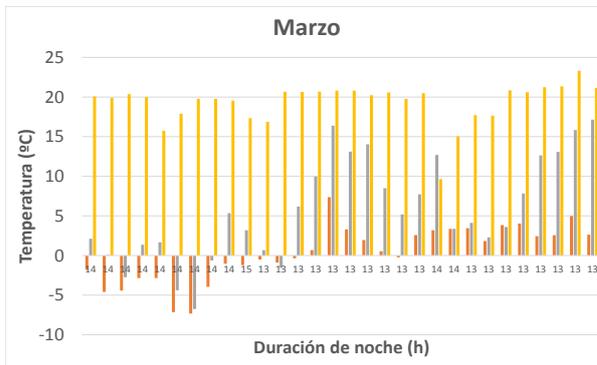
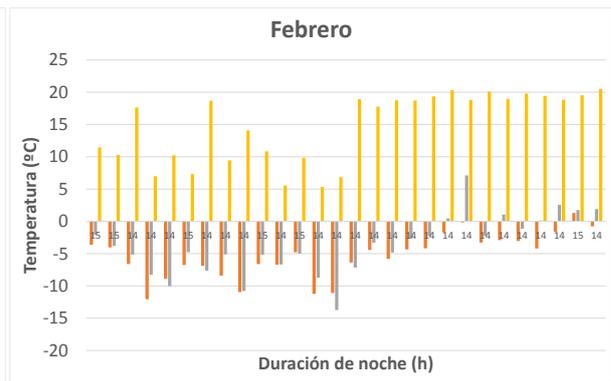
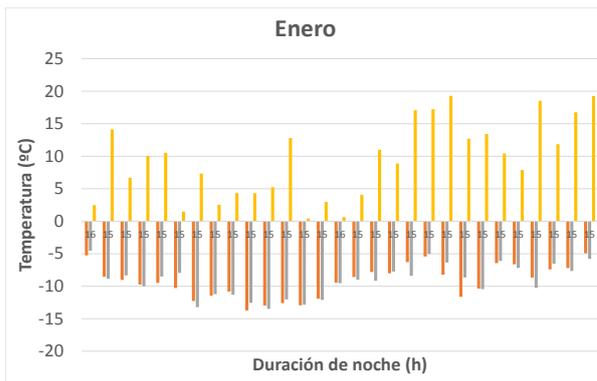
Se puede ver, en la figura 119, que aún no se alcanza una estabilidad en las temperaturas medias mensuales de interés.

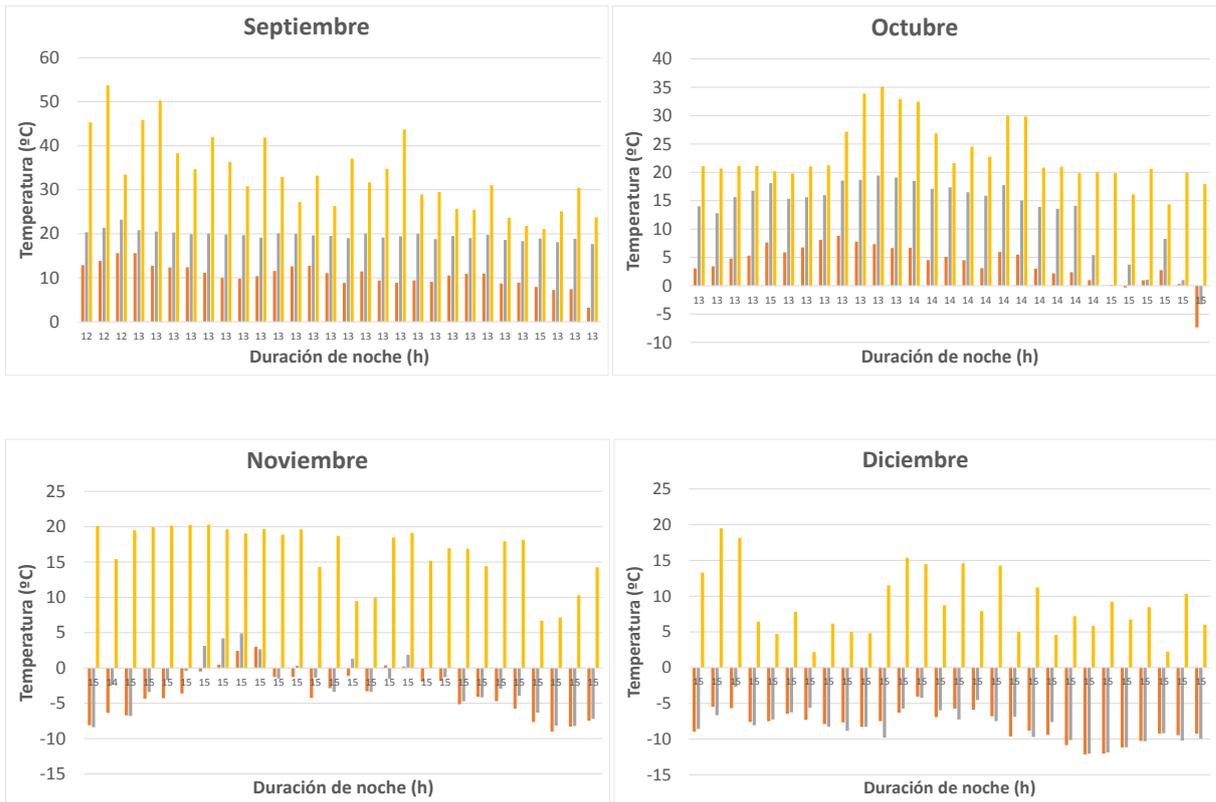
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,56	8,73	17,29
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-1,81	12,67	14,48
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	8,48	17,67	9,20
<b>Abril</b>	12,07	5,31	14,29	28,90	14,60
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	16,20	35,42	19,22
<b>Junio</b>	11,03	14,10	18,74	40,96	22,22
<b>Julio</b>	11,13	16,66	20,65	42,25	21,60
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	19,57	40,81	21,23
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	16,21	34,75	18,55
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	12,74	23,87	11,13
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	0,03	13,92	13,89
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,70	8,78	16,48

**Tabla 32:** datos promediados para la representación de la figura 119 para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

En la tabla 32, algunas de las temperaturas medias mensuales alcanzan el valor de la  $T_{melt}$  seleccionada, pero en muy pocas ocasiones.

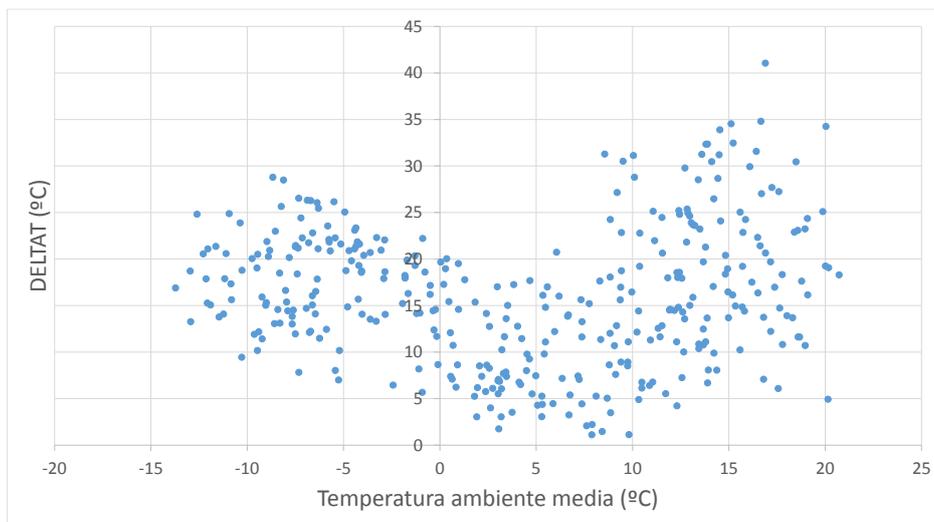
$T_{melt} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$





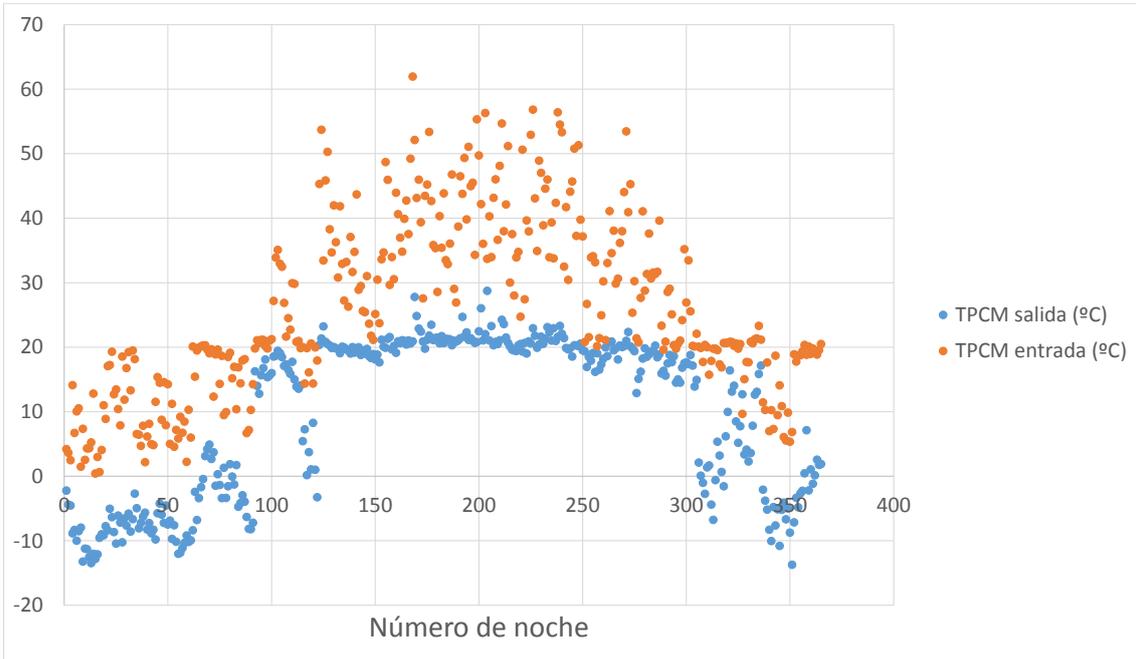
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Se puede ver en el grupo de gráficas, que para los meses fríos la temperatura del PCM a la entrada alcanza la  $T_{melt}$  de 20 °C, mientras que para los meses templados-cálidos, es la temperatura del PCM a la salida la que alcanza dicha  $T_{melt}$ .



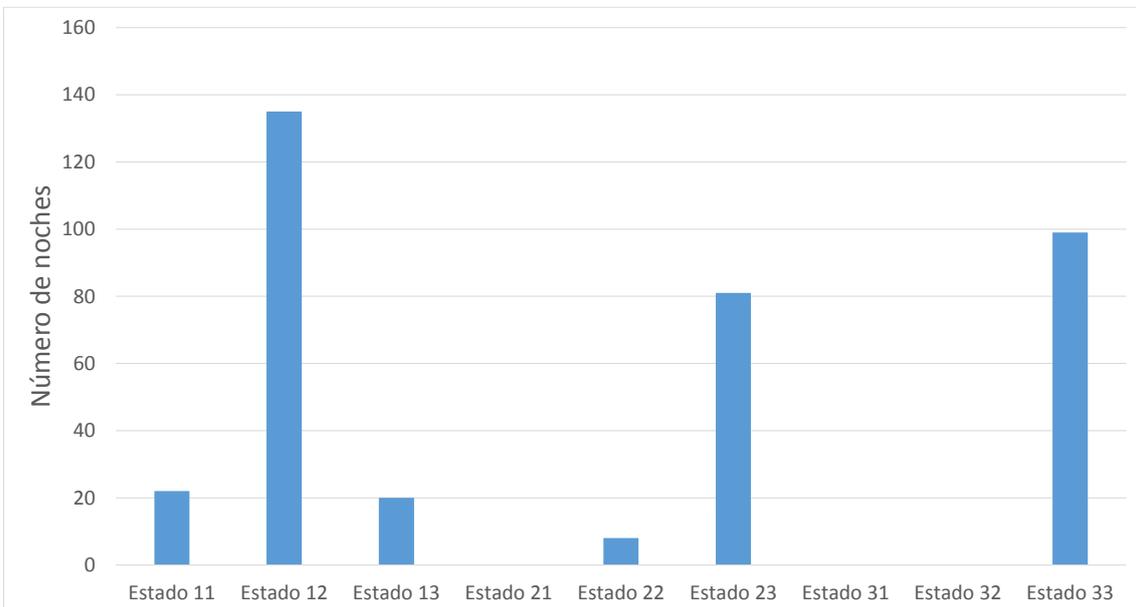
**Figura 120: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELATAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

La diferencia de temperatura DELTAT todavía experimenta saltos muy dispersos, de 0 °C a 42 °C, para una temperatura media que varía de -15 °C a 20 °C.



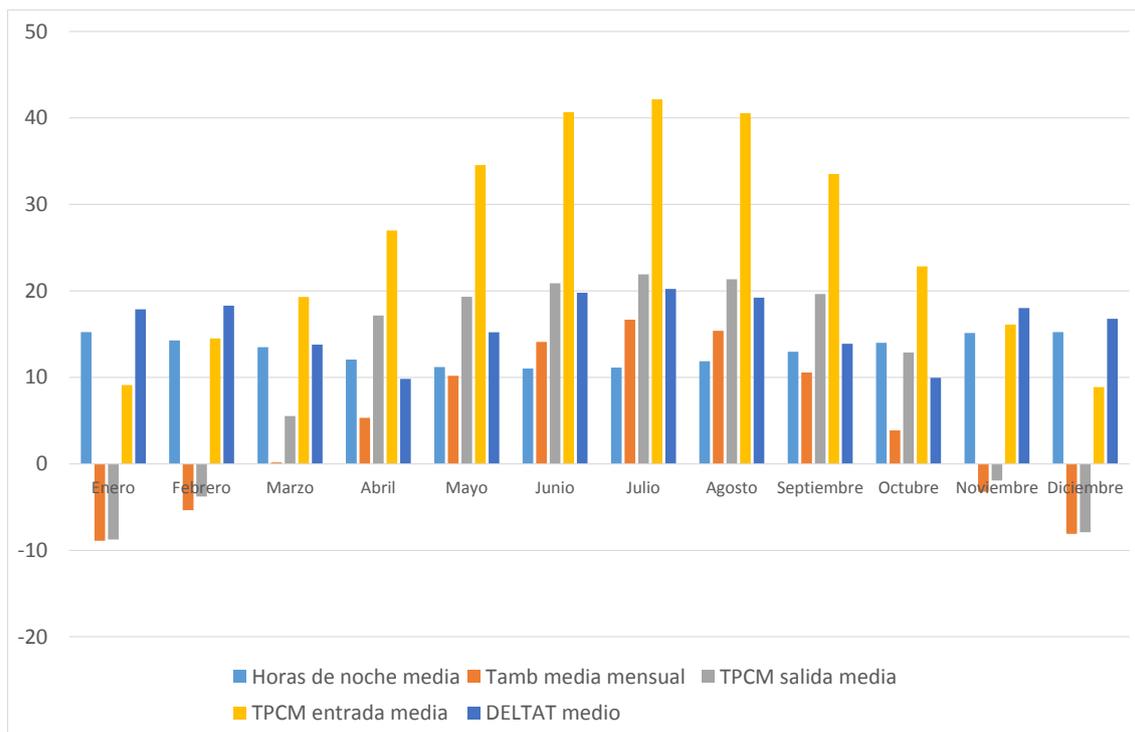
**Figura 121:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se comienza a ver una estabilidad en los valores de la temperatura del PCM a la salida entorno a la temperatura de cambio de fase seleccionada.



**Figura 122:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Esta estabilidad, como se muestra en la figura 122, hace que nuevos estados iniciales y finales emerjan durante las noches, promoviendo un comportamiento óptimo del PCM.



**Figura 123:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

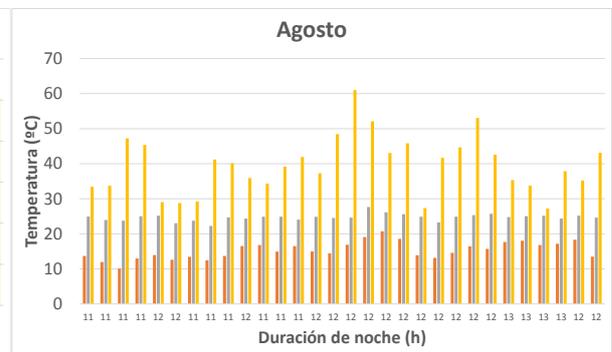
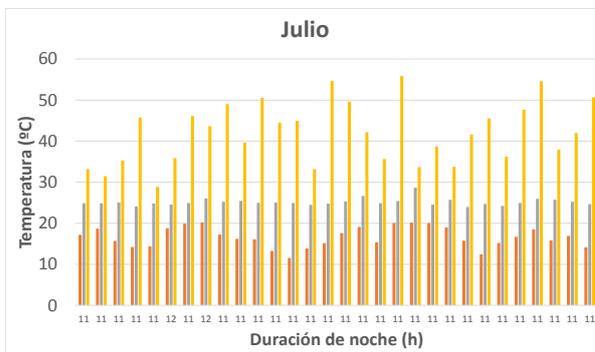
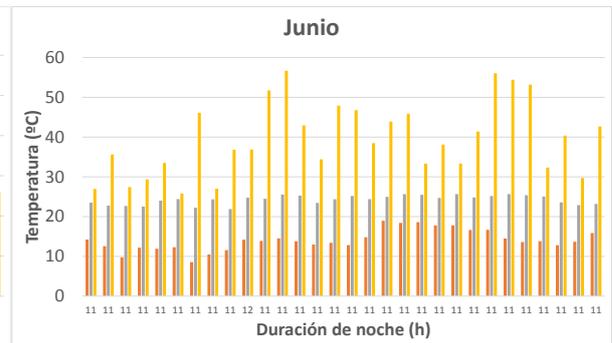
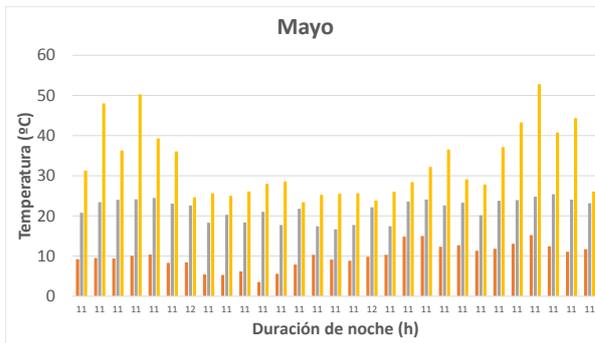
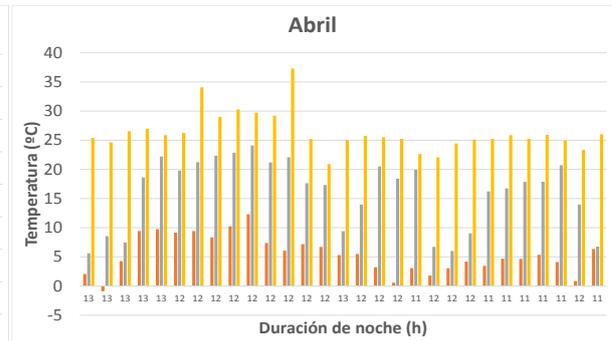
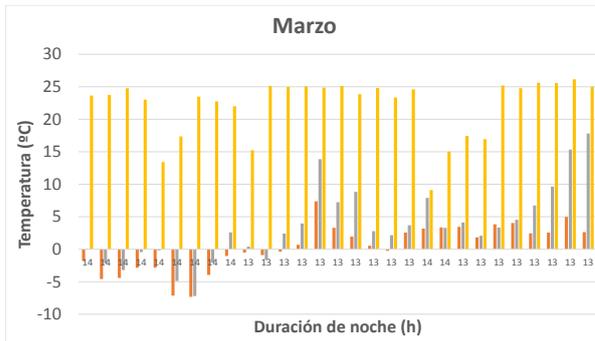
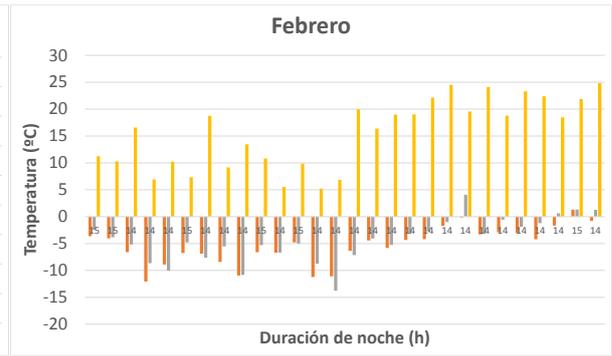
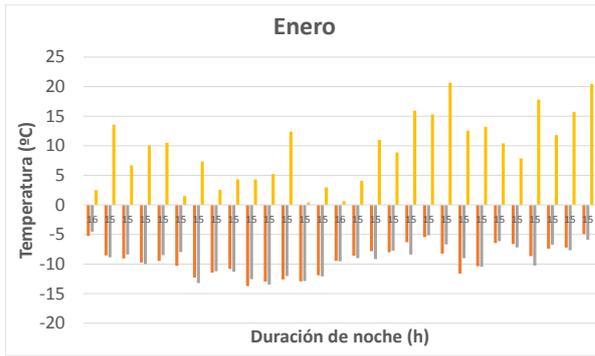
Puede verse en la figura 123, que la temperatura media mensual del PCM a la salida alcanza los 20 °C impuestos de  $T_{melt}$  en los meses templados-cálidos.

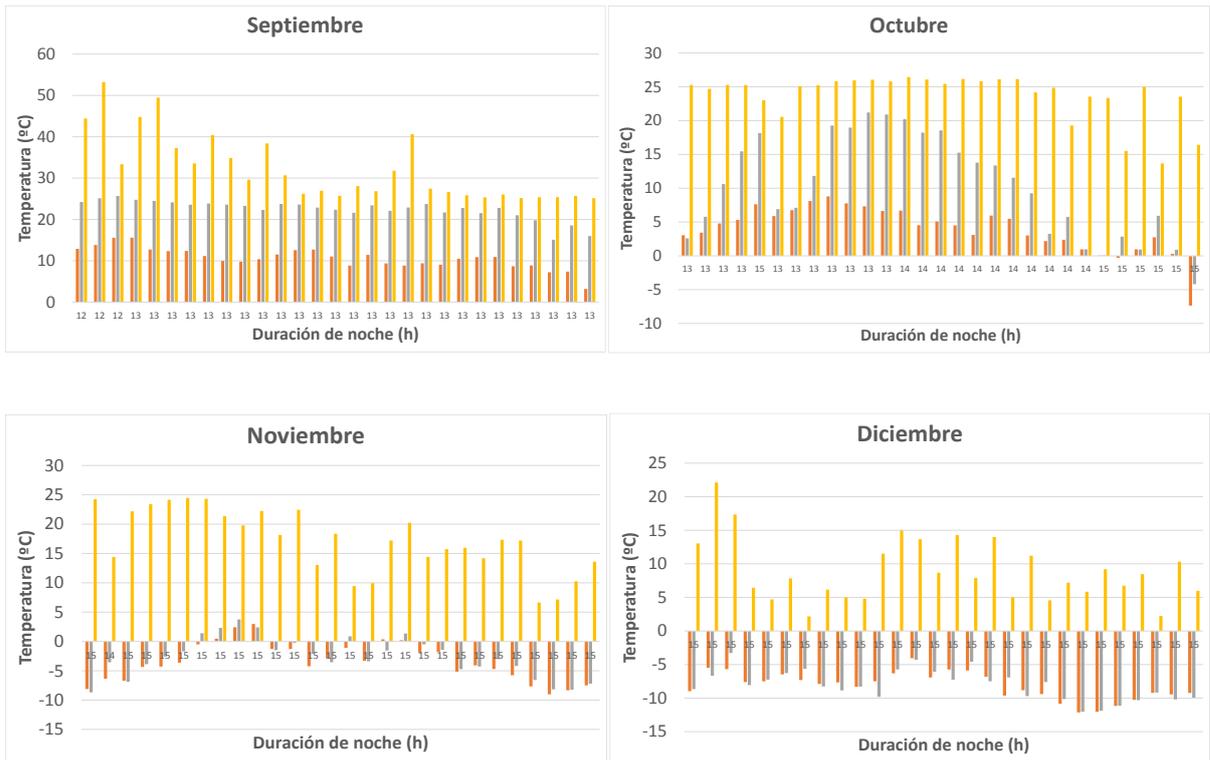
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,76	9,10	17,86
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-3,79	14,50	18,29
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	5,52	19,30	13,78
<b>Abril</b>	12,07	5,31	17,15	26,98	9,83
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	19,33	34,54	15,21
<b>Junio</b>	11,03	14,10	20,88	40,67	19,79
<b>Julio</b>	11,13	16,66	21,92	42,15	20,23
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	21,34	40,55	19,21
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	19,64	33,52	13,88
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	12,89	22,83	9,95
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-1,92	16,10	18,02
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,89	8,88	16,77

**Tabla 33:** datos promediados para la representación de la figura 123 para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se recalca, lo expuesto en la figura 123, en la tabla 33 el valor de la temperatura media mensual del PCM a la salida en torno a 20 °C en los meses destacados.

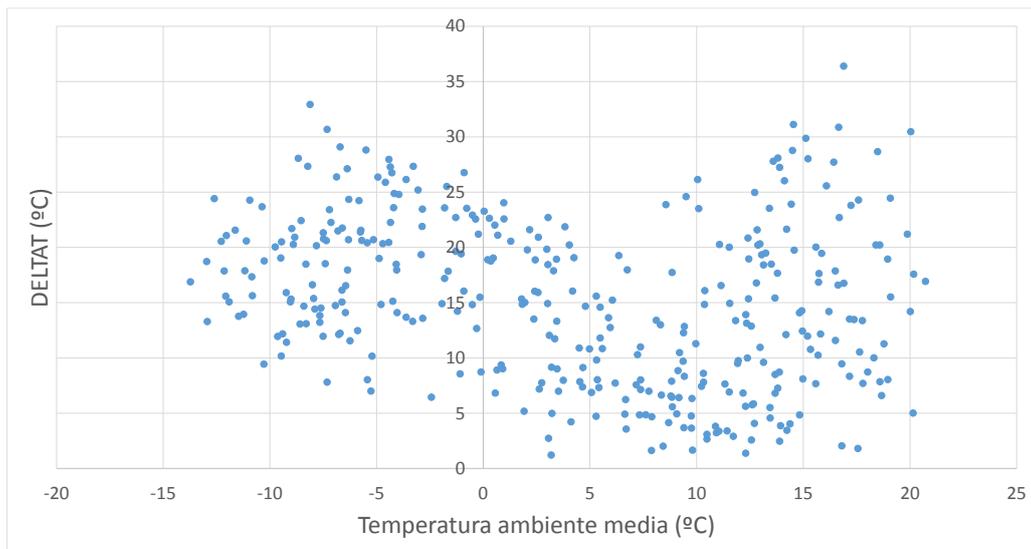
$T_{melt} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$





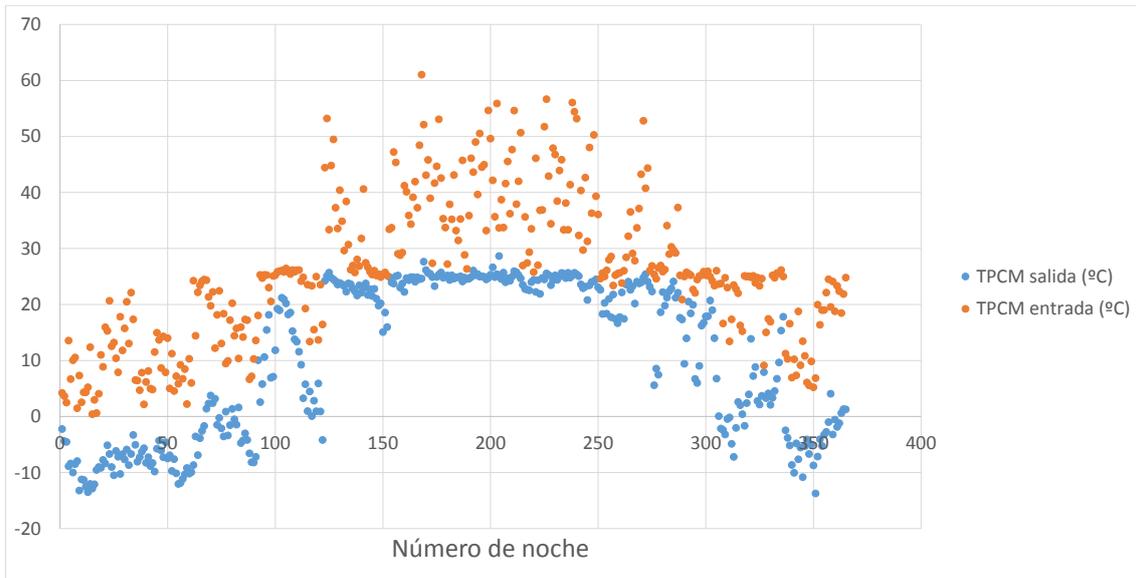
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Se observa el mismo comportamiento de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida visto en la temperatura melt anterior.



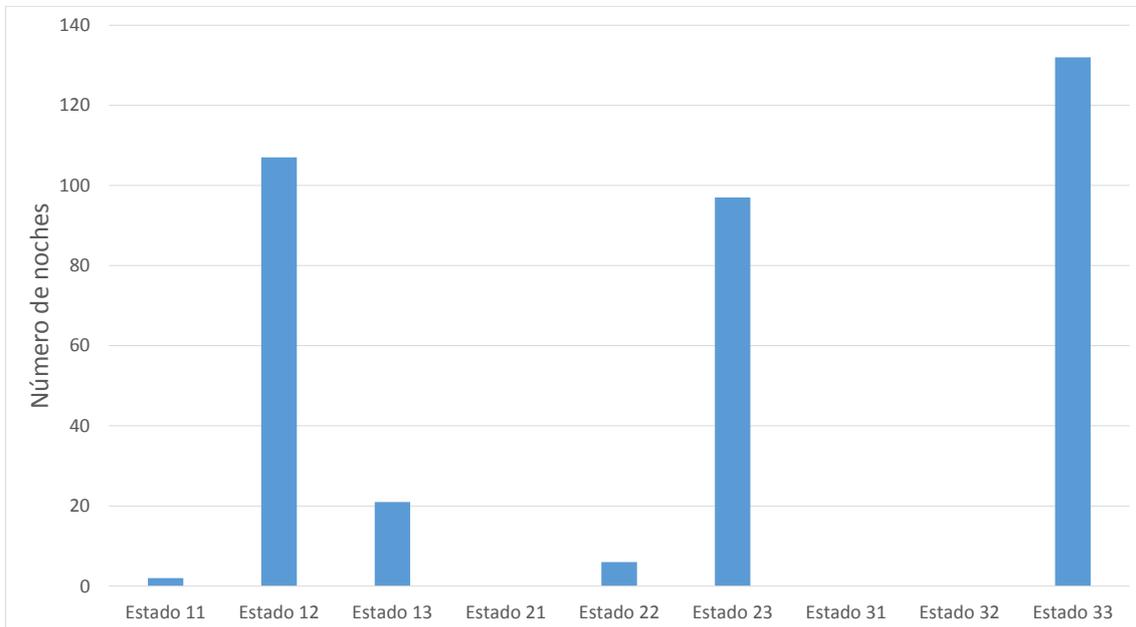
**Figura 124: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

De nuevo, los valores de DELTAT se mueven en el rango de 0 °C a 37 °C, aproximadamente, para el mismo rango de temperaturas ambientales medias.



**Figura 125:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Se aprecia en la figura 125 que la temperatura del PCM a la salida se mantiene constante en el valor de 25 °C, temperatura melt seleccionada, y que los valores de entrada y salida comienzan a ser más cercanos.



**Figura 126:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

La predominancia ahora de estados iniciales y finales se mueven entre el 12, 23 y el 33.

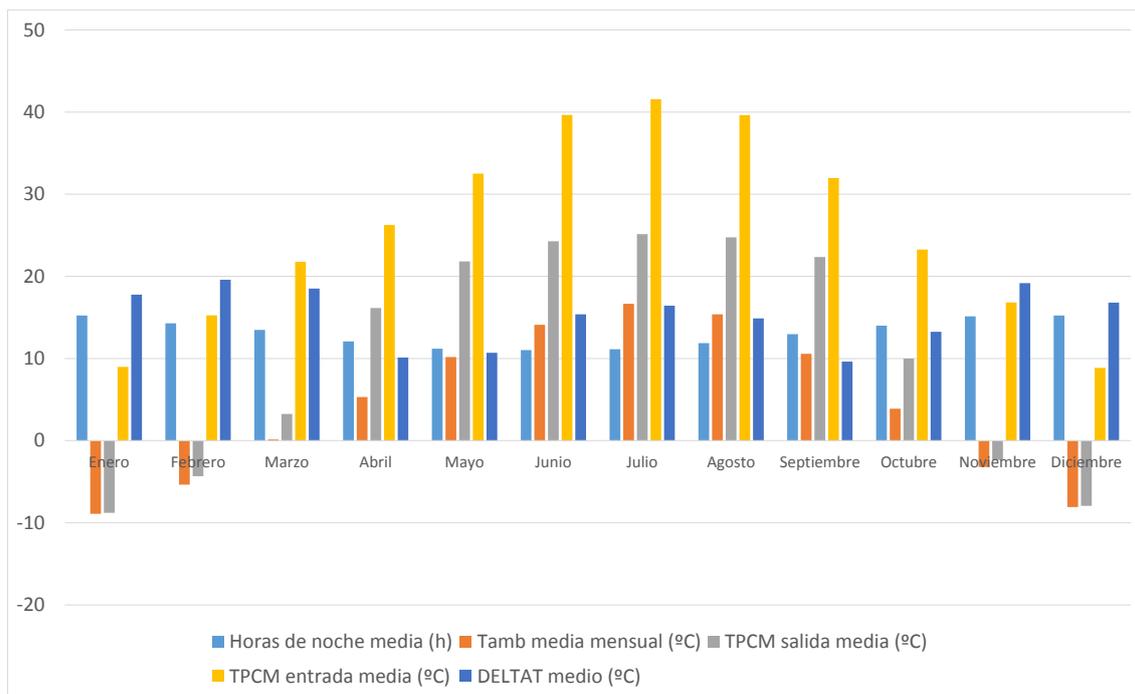


Figura 127: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

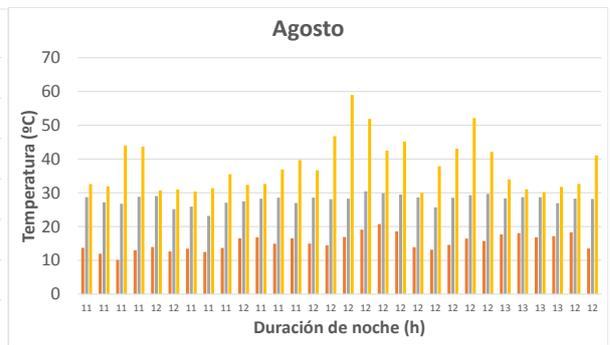
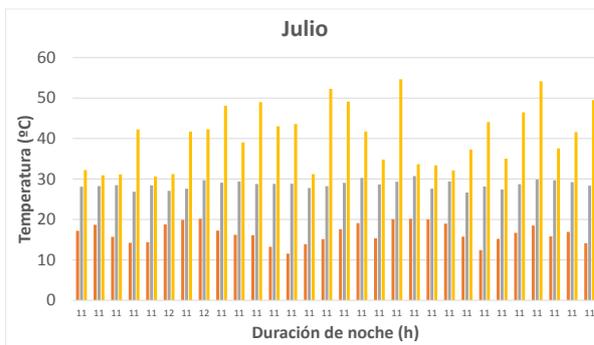
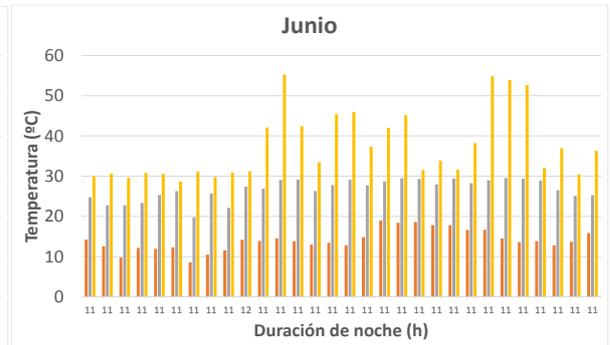
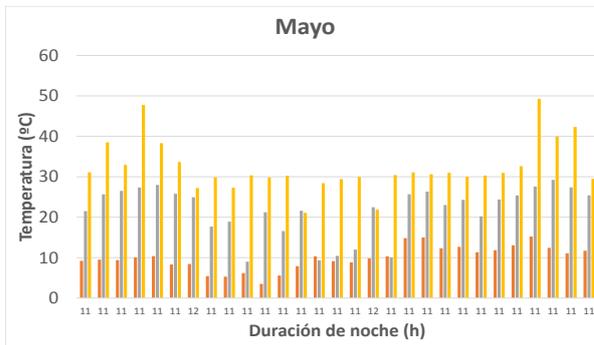
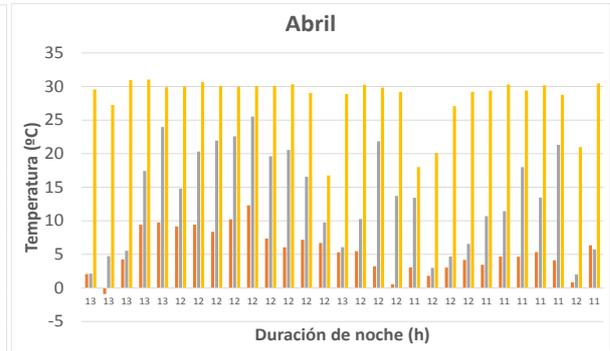
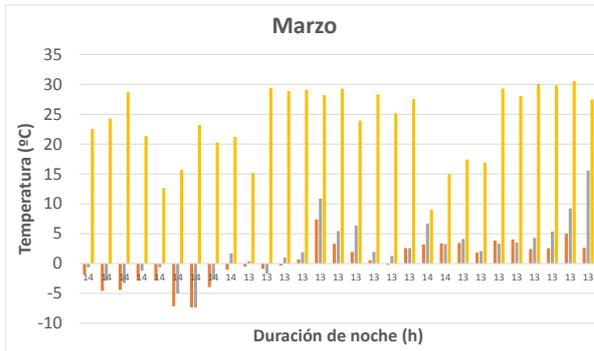
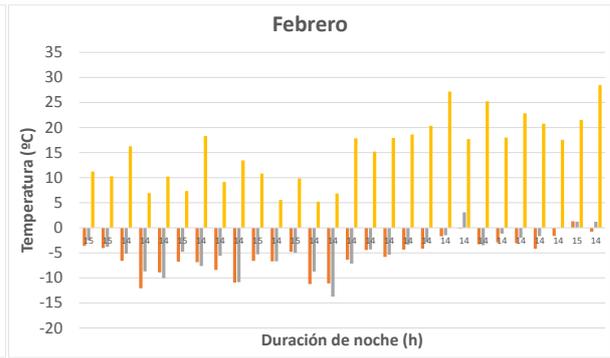
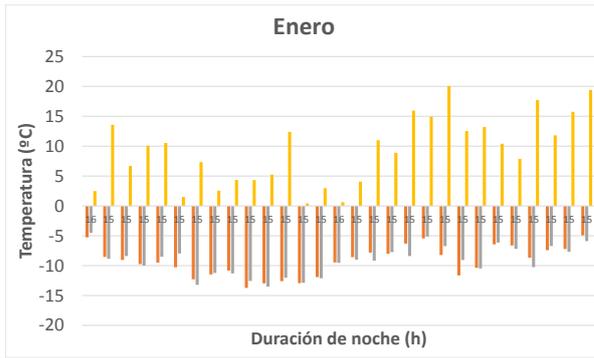
Para una  $T_{melt}$  de 25 °C, las temperaturas medias mensuales del PCM a la entrada y a la salida se alcanzan en los meses templados-cálidos.

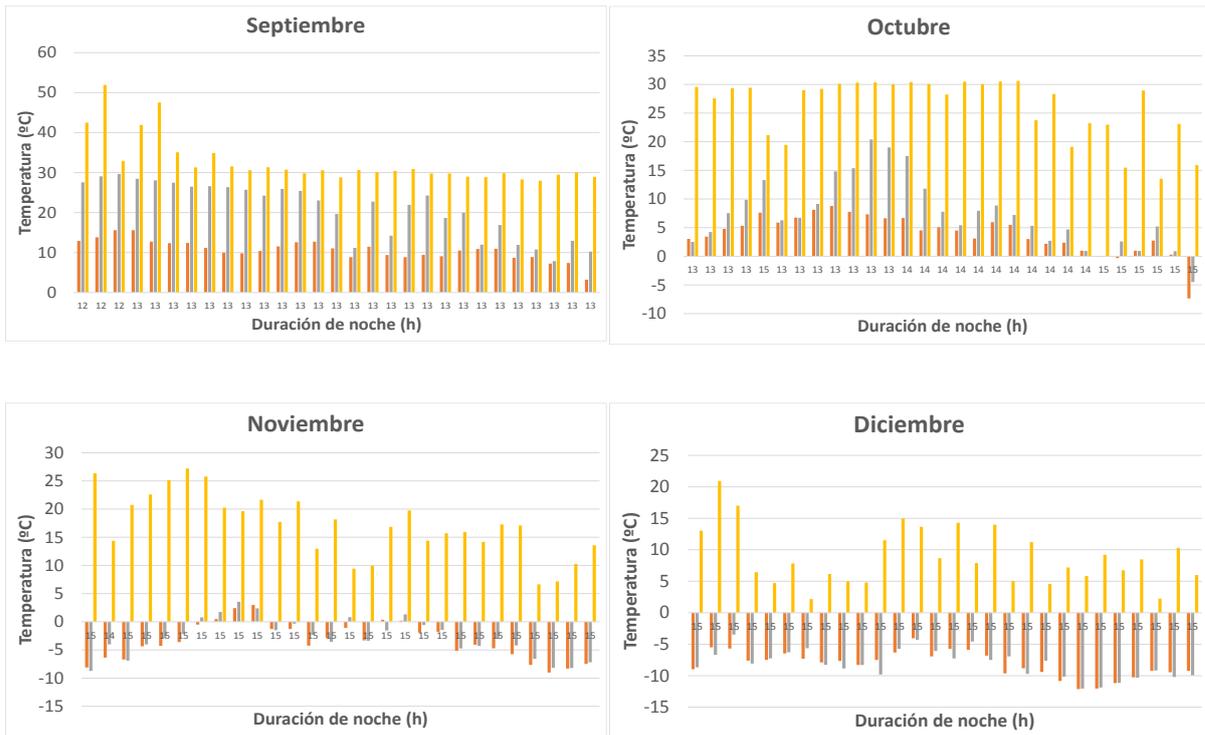
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,79	8,98	17,78
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,33	15,26	19,59
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	3,25	21,77	18,52
<b>Abril</b>	12,07	5,31	16,14	26,26	10,12
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	21,82	32,51	10,68
<b>Junio</b>	11,03	14,10	24,26	39,63	15,37
<b>Julio</b>	11,13	16,66	25,13	41,57	16,43
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	24,74	39,61	14,88
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	22,36	31,97	9,61
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	10,00	23,26	13,26
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,37	16,82	19,18
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,93	8,87	16,80

Tabla 34: datos promediados para la representación de la figura 127 para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Se pueden ver los valores alcanzados de la temperatura media mensual del PCM a la salida en los meses destacados, coinciden con lo descrito para la figura 127.

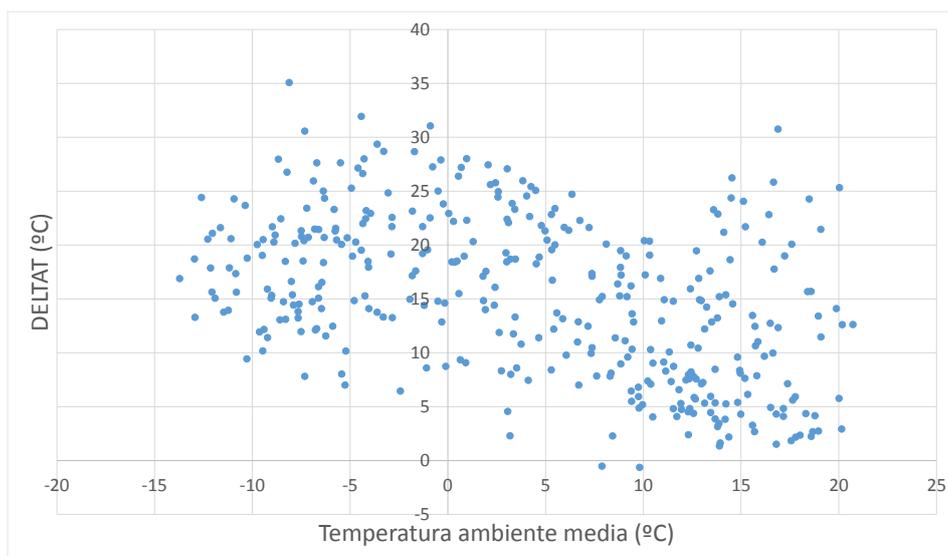
$T_{melt} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$





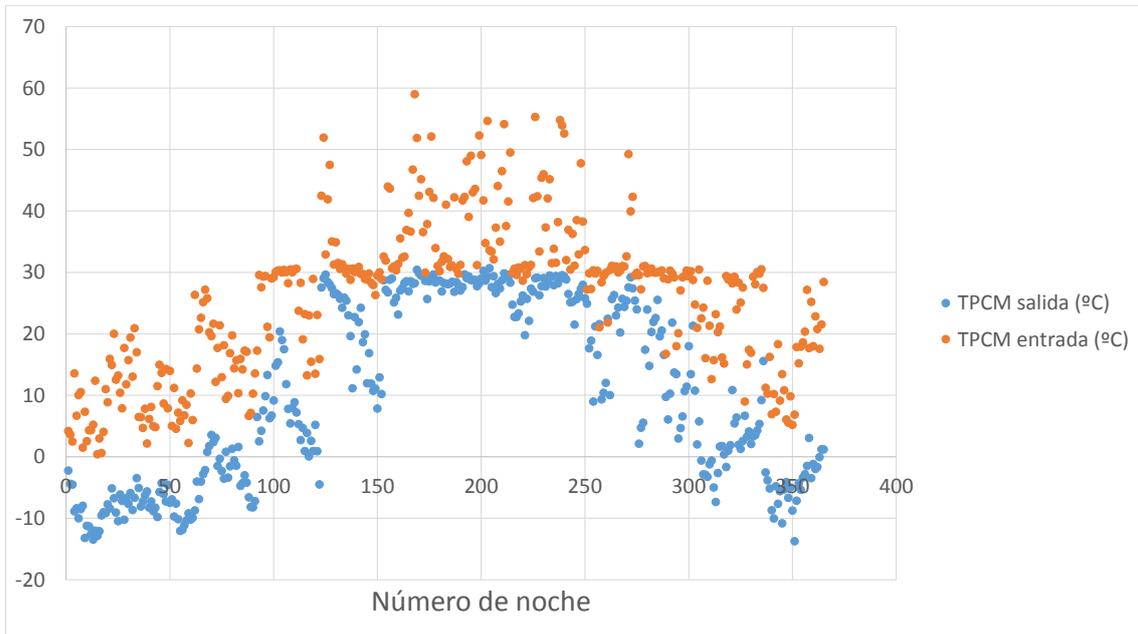
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Para algunos meses fríos, la temperatura del PCM a la entrada consigue alcanzar la  $T_{melt}$  impuesta, y para otros meses, aparte de esta temperatura, la del PCM a la salida alcanza también los 30 °C.



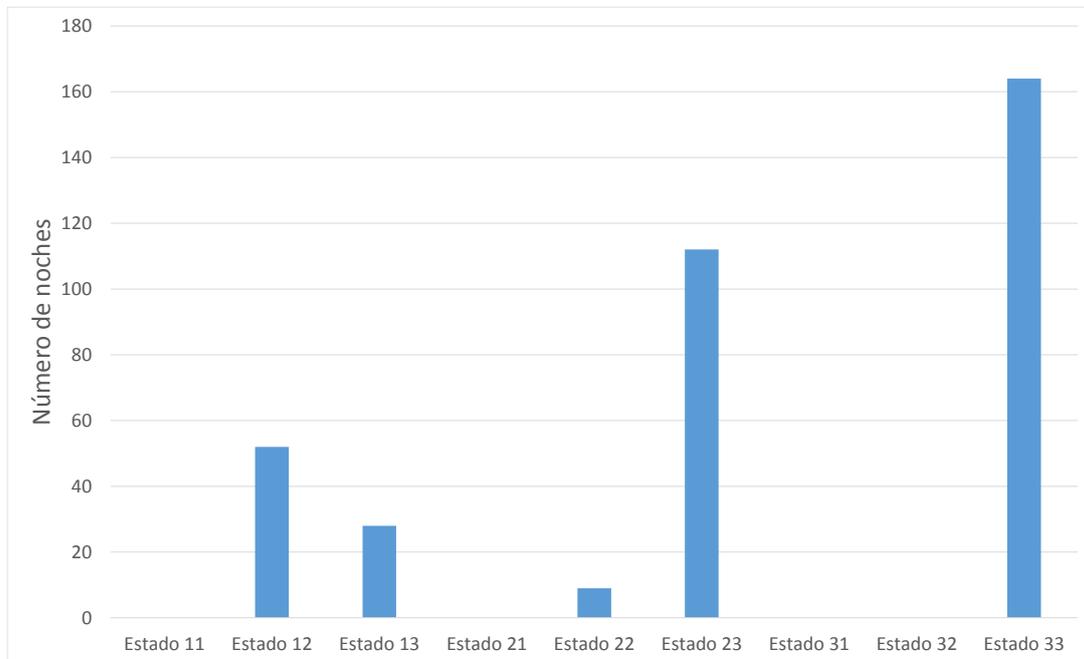
**Figura 128: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Se sigue viendo la misma dispersión comentada para las anteriores temperaturas de cambio de fase.



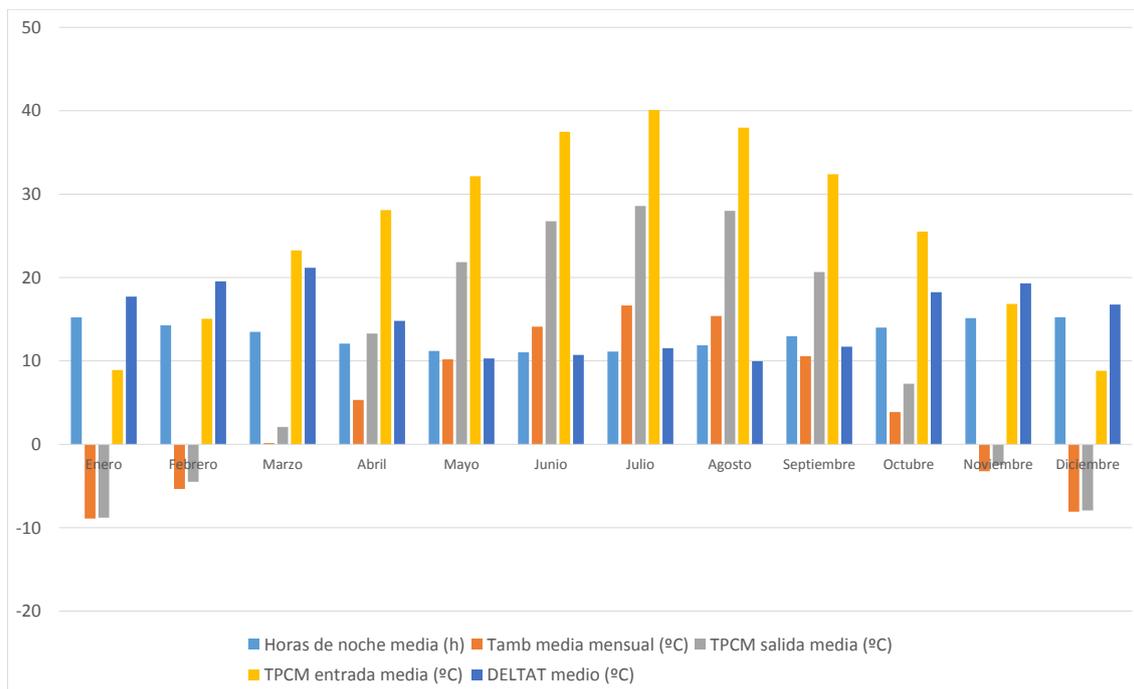
**Figura 129:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

No se aprecia demasiado la cercanía que existe entre la temperatura de entrada y salida del PCM con respecto a la temperatura melt anterior, con el añadido de que en el valor de 30 °C ambas temperaturas se mantiene casi constantes a lo largo de los meses templados-cálidos.



**Figura 130:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Predominan ahora los estados 23 y 33, que es lo que se busca en todas las localizaciones.



**Figura 131:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

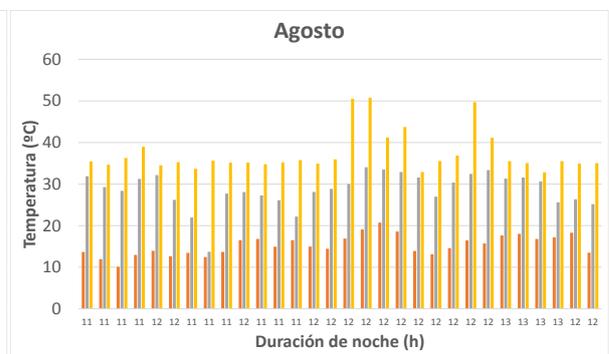
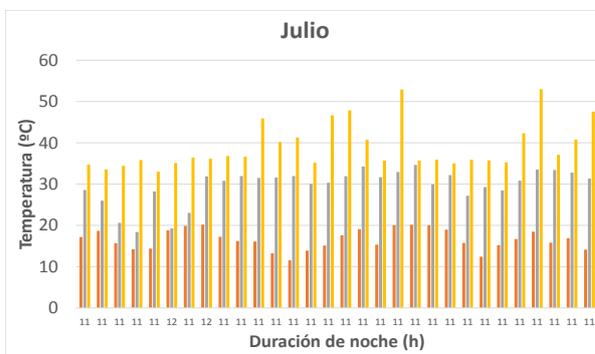
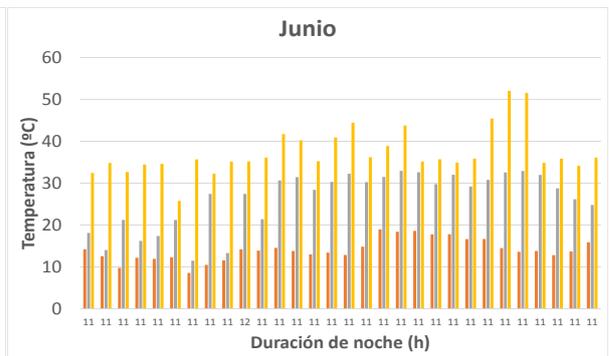
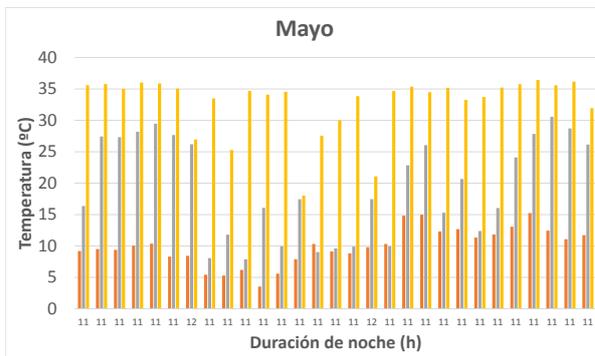
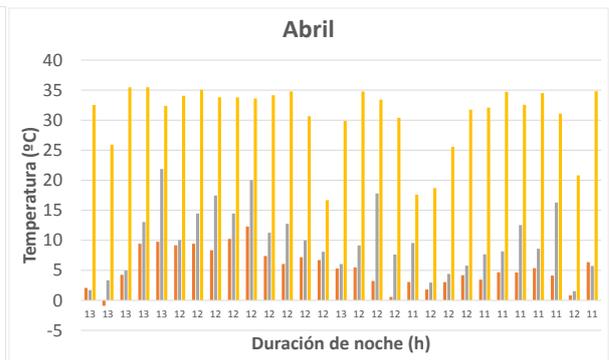
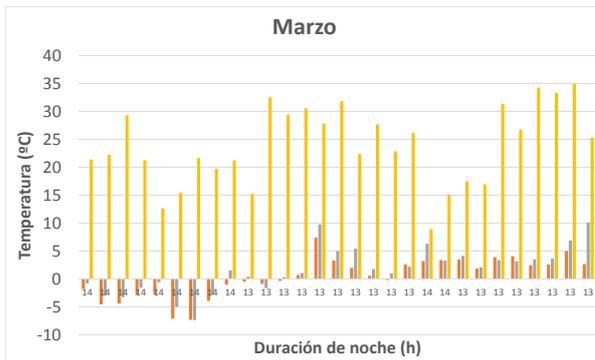
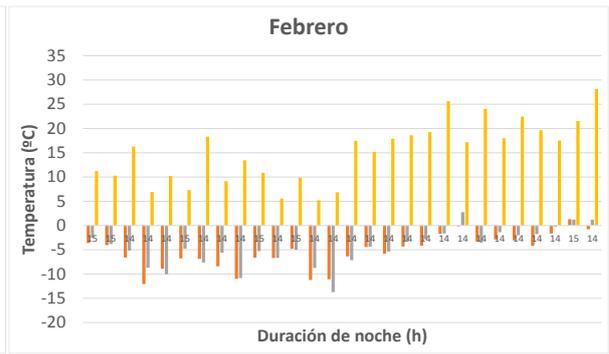
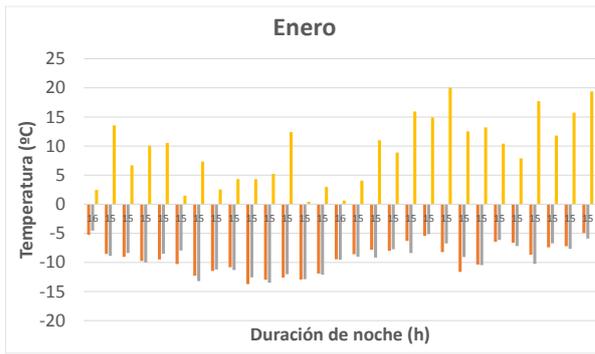
En la figura 131, se puede ver que los valores no son tan constantes de manera mensual debido a las extremas temperaturas ambientales nocturnas que existen en esta localización. Lo mismo ha ido ocurriendo a lo largo de todas las temperaturas de cambio de fase impuestas.

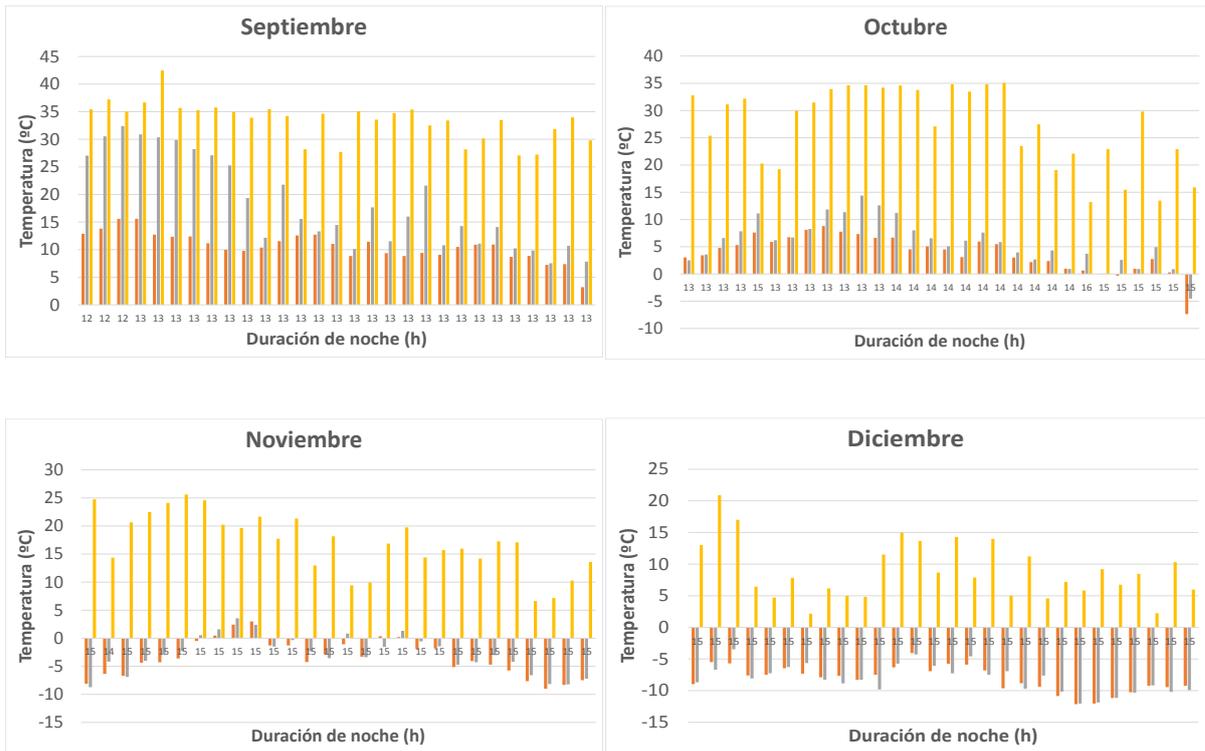
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,80	8,91	17,71
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,49	15,06	19,55
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	2,08	23,25	21,17
<b>Abril</b>	12,07	5,31	13,28	28,09	14,80
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	21,86	32,15	10,30
<b>Junio</b>	11,03	14,10	26,76	37,48	10,73
<b>Julio</b>	11,13	16,66	28,58	40,11	11,53
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	28,00	37,97	9,97
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	20,67	32,38	11,72
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	7,26	25,51	18,25
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,48	16,83	19,30
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,94	8,82	16,75

**Tabla 35:** datos promediados para la representación de la figura 131 para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Algunos valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada y a la salida, de la tabal 35, están en torno al valor de la  $T_{melt}$ .

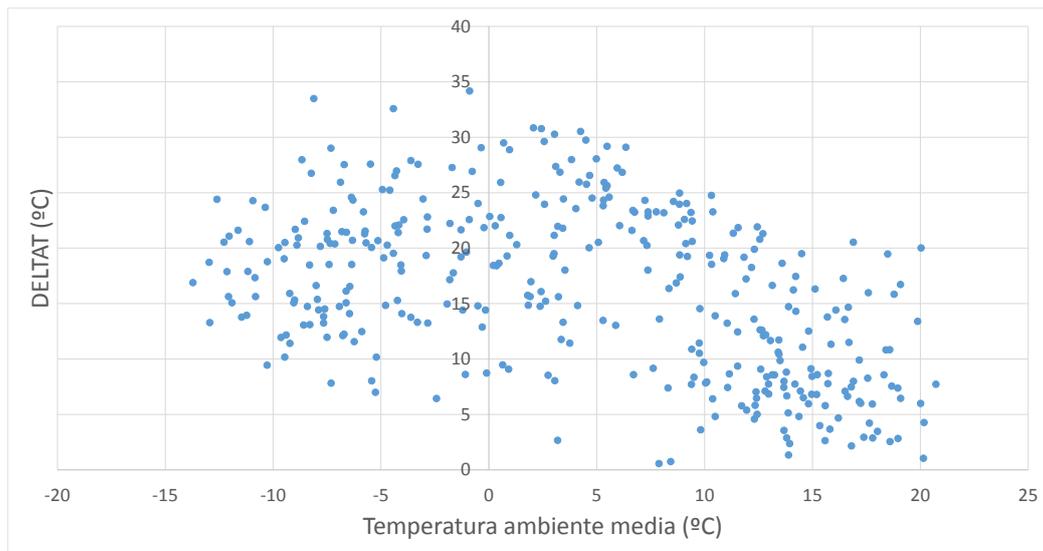
$T_{melt} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$





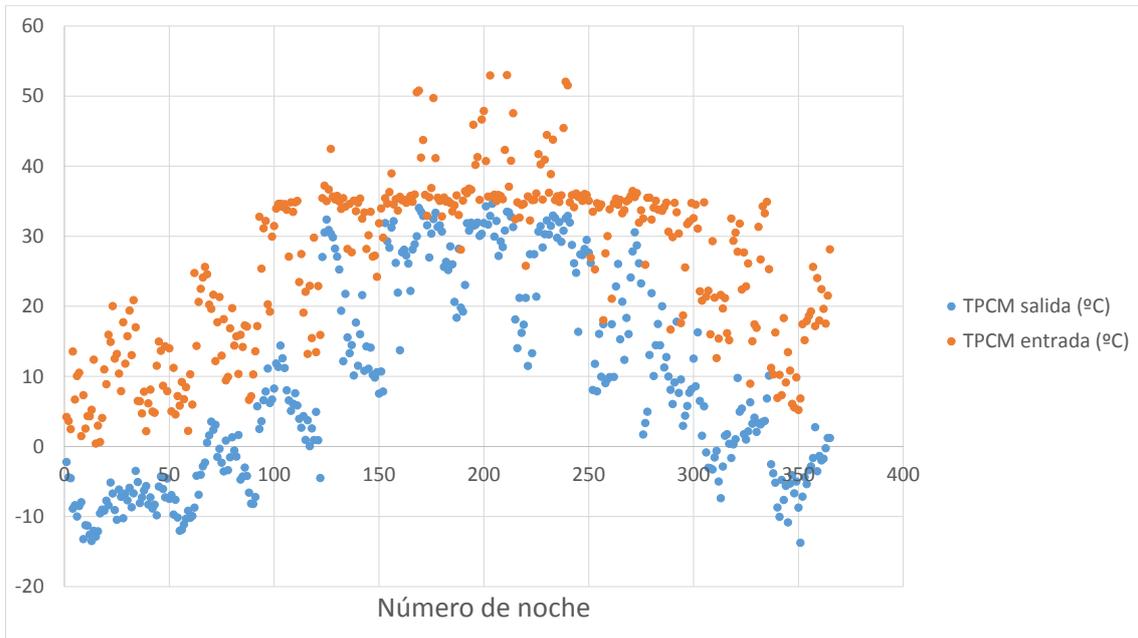
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Para 35 °C de temperatura de cambio de fase, en este caso solo la temperatura del PCM a la entrada se aproxima a dicho valor, como cabía esperar.



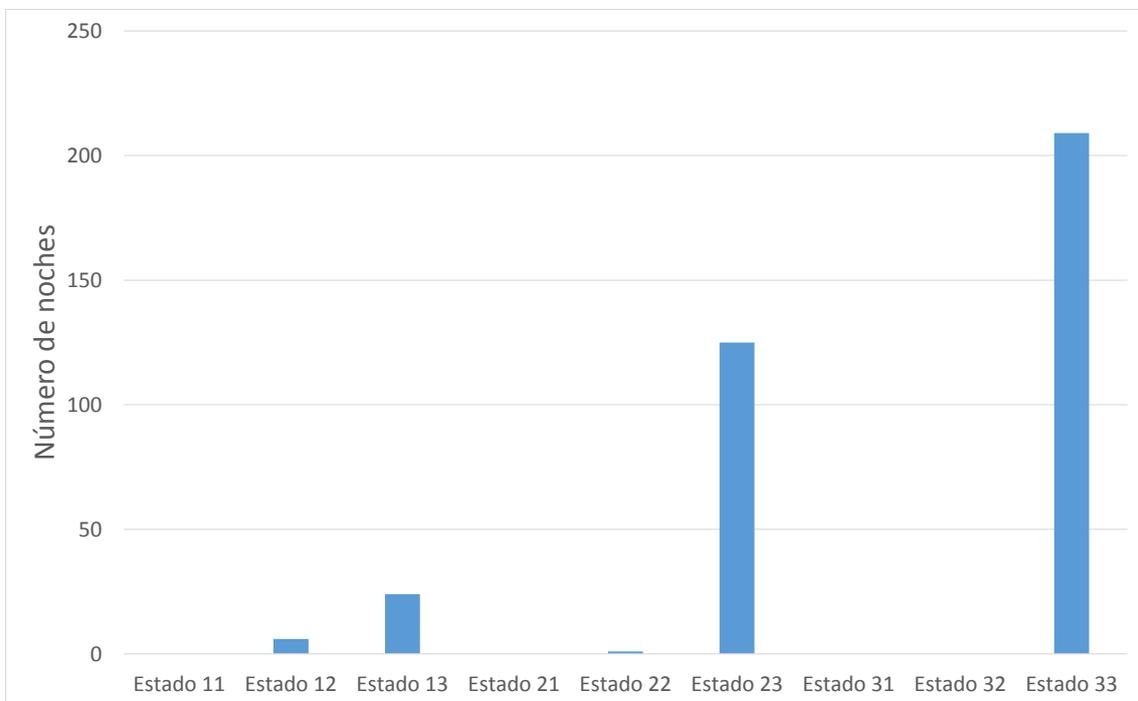
**Figura 132: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

La dispersión de puntos DELTAT – Temperatura ambiente media apenas ha cambiado su distribución, como se observa en la figura 132.



**Figura 133:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Como se ha destacado anteriormente, es ahora la temperatura del PCM a la entrada la que toma protagonismo, estabilizándose en el valor de la  $T_{melt}$  en los meses templados-cálidos.



**Figura 134:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Comienza a verse la predominancia del estado 33 conforma se incrementa la temperatura de cambio de fase impuesta.

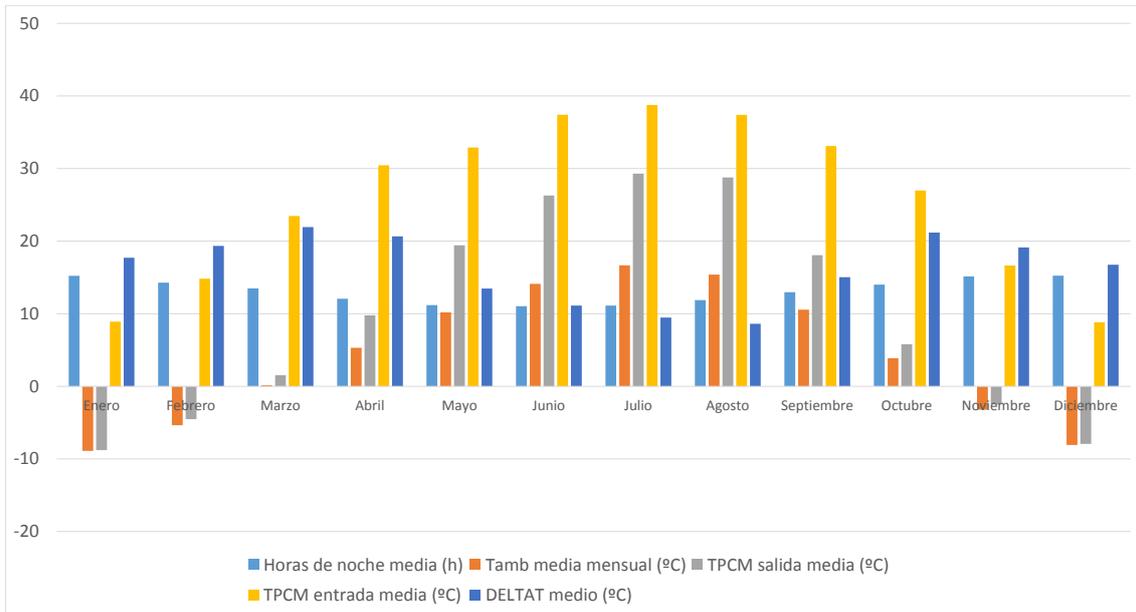


Figura 135: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

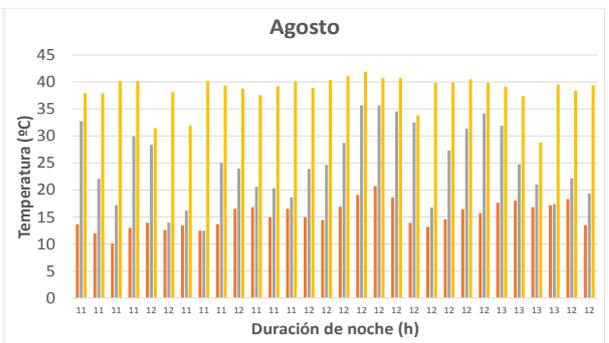
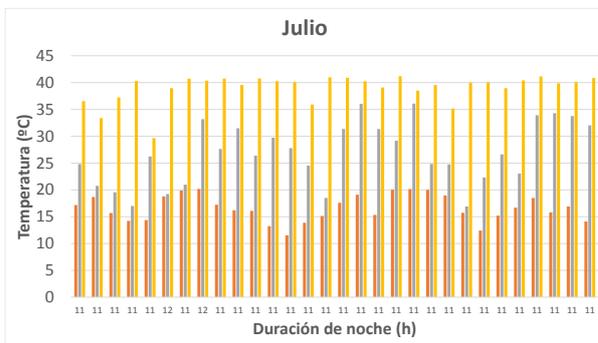
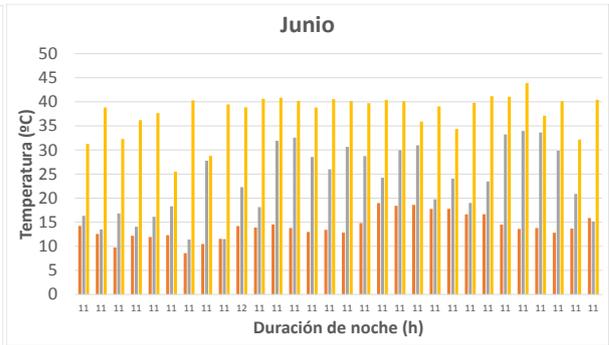
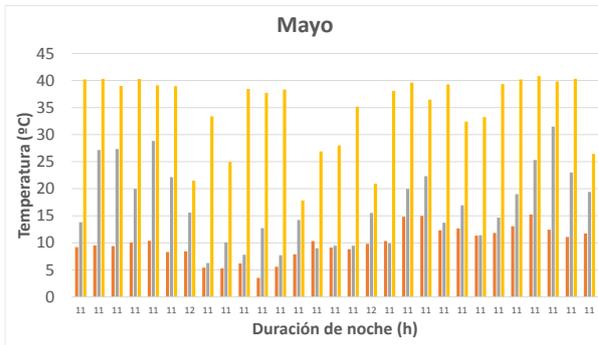
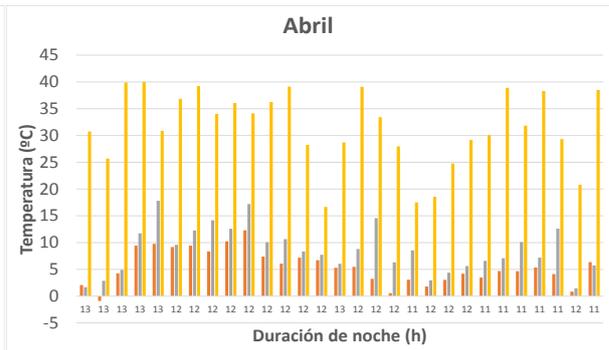
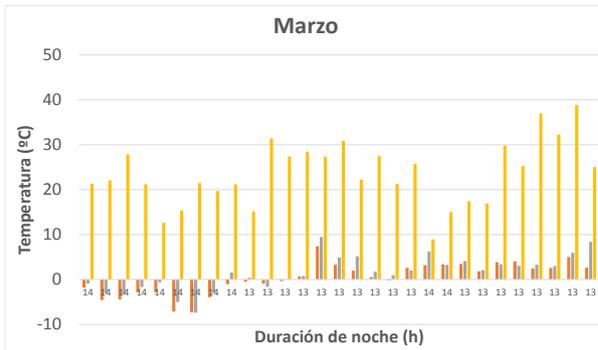
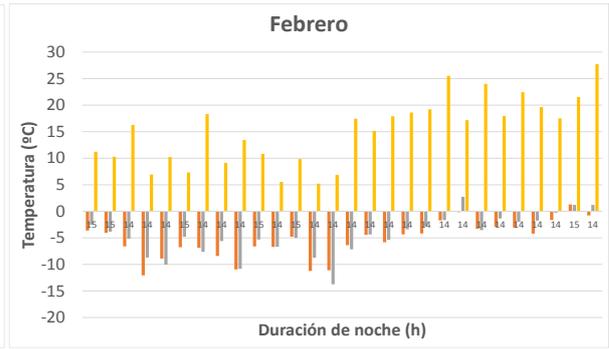
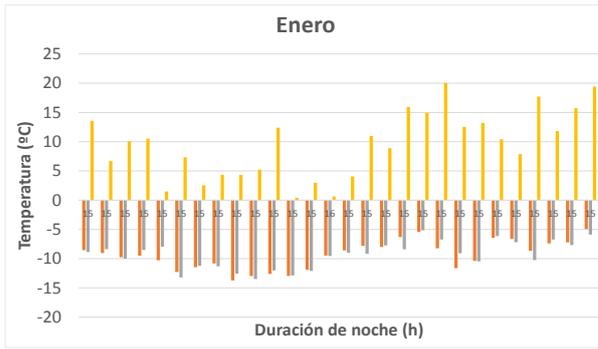
Se recalca todo lo anterior en la figura 35, en la que la temperatura media mensual del PCM a la entrada es la que se aproxima al valor seleccionado de la  $T_{melt}$ .

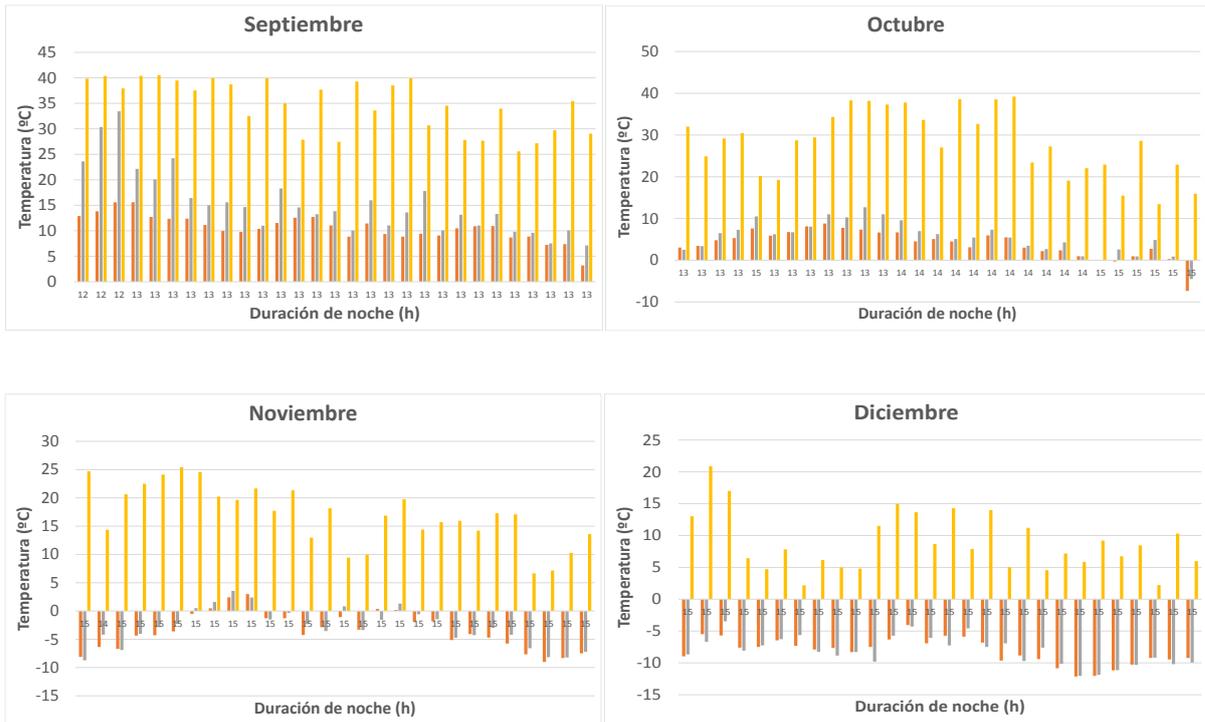
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,80	8,91	17,71
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,52	14,83	19,35
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	1,52	23,46	21,94
<b>Abril</b>	12,07	5,31	9,79	30,44	20,65
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	19,42	32,89	13,47
<b>Junio</b>	11,03	14,10	26,28	37,40	11,13
<b>Julio</b>	11,13	16,66	29,29	38,75	9,46
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	28,77	37,38	8,61
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	18,07	33,11	15,03
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	5,80	26,98	21,18
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,50	16,63	19,14
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,94	8,81	16,75

Tabla 36: datos promediados para la representación de la figura 135 para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Se puede ver lo comentado anteriormente en la tabla 36, donde los valores de los meses templados-cálidos son muy cercanos a la  $T_{melt}$  de 35 °C.

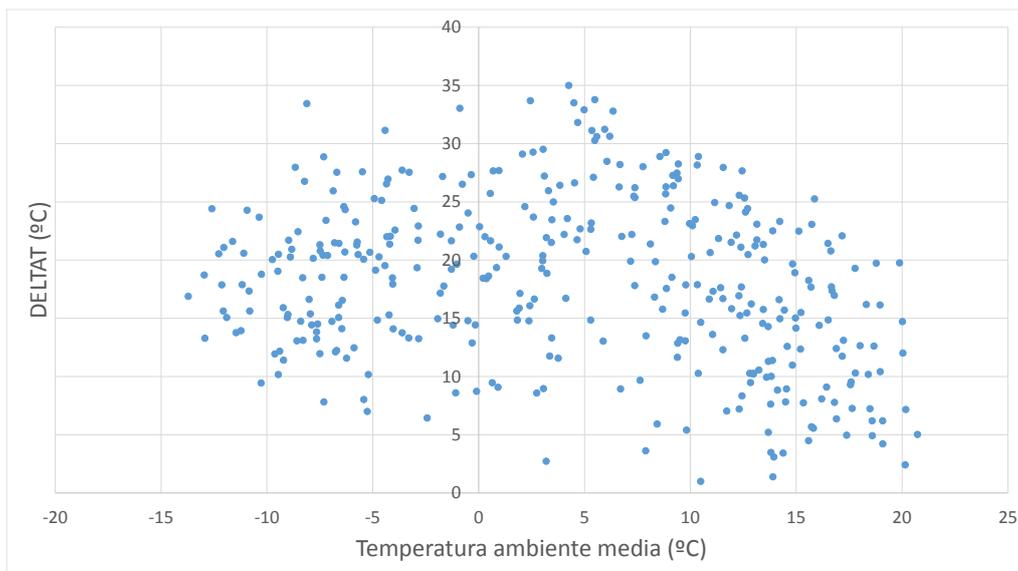
$T_{melt} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$





**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Se puede apreciar, para el grupo de gráficas, que la temperatura del PCM a la entrada alcanza la  $T_{melt}$  seleccionada excepto en los meses fríos.



**Figura 136: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELATAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

No hay ninguna novedad en cuanto a los valores de DELTAT con respecto a la temperatura ambiente media.

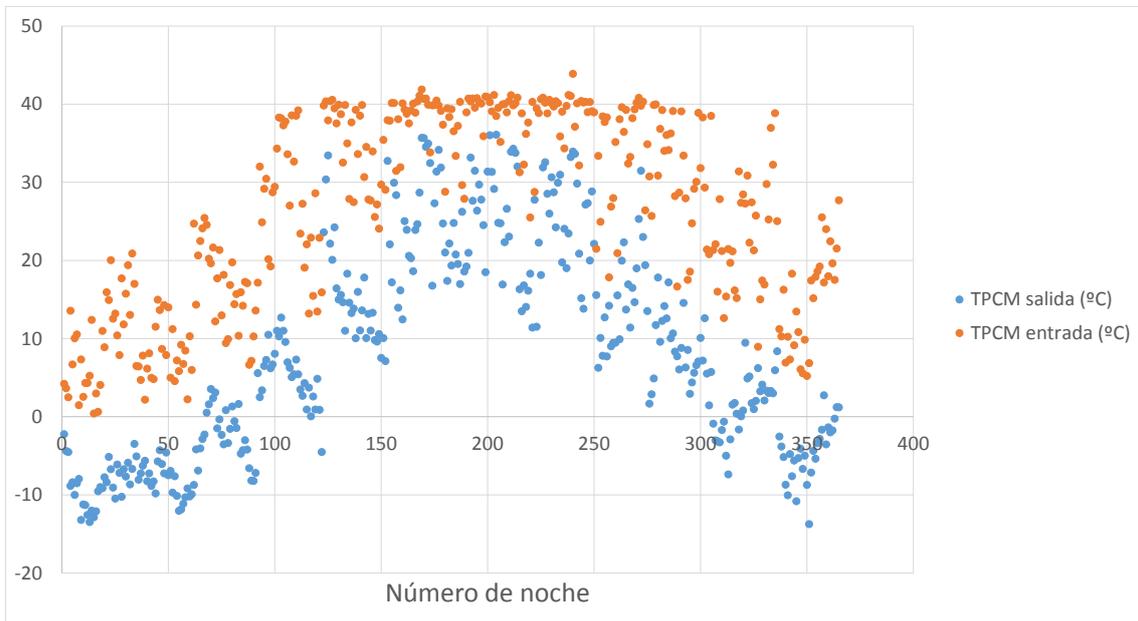


Figura 137: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Como cabía esperar, los valores de las temperaturas de entrada y salida del PCM comienzan alejarse cuanto mayor es la temperatura melt y cuanto más se aleja de la temperatura óptima.

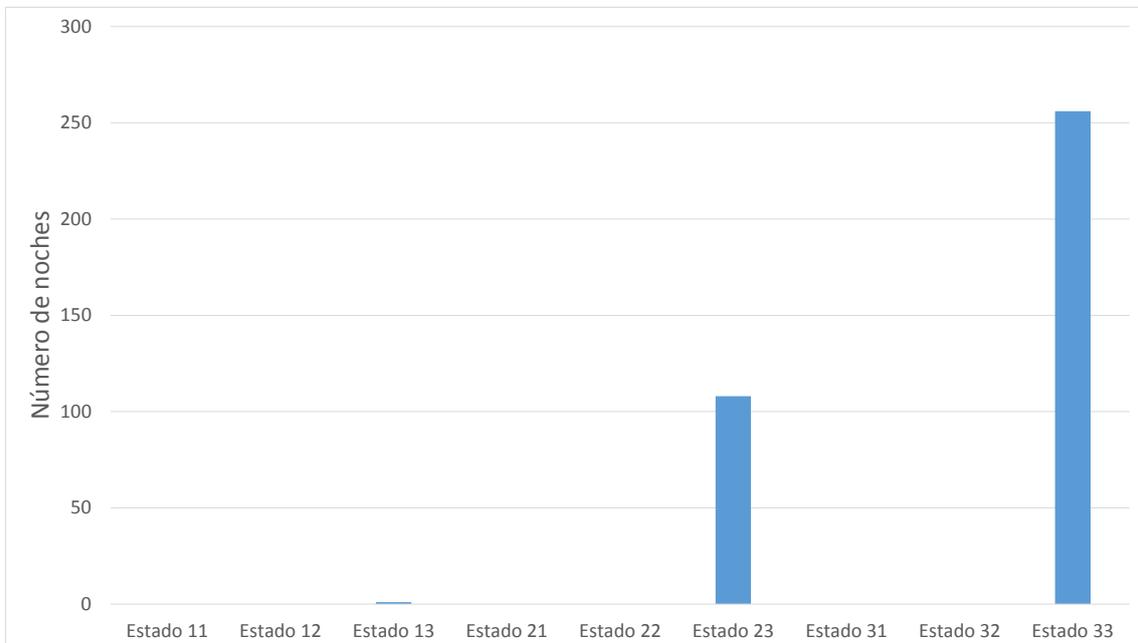
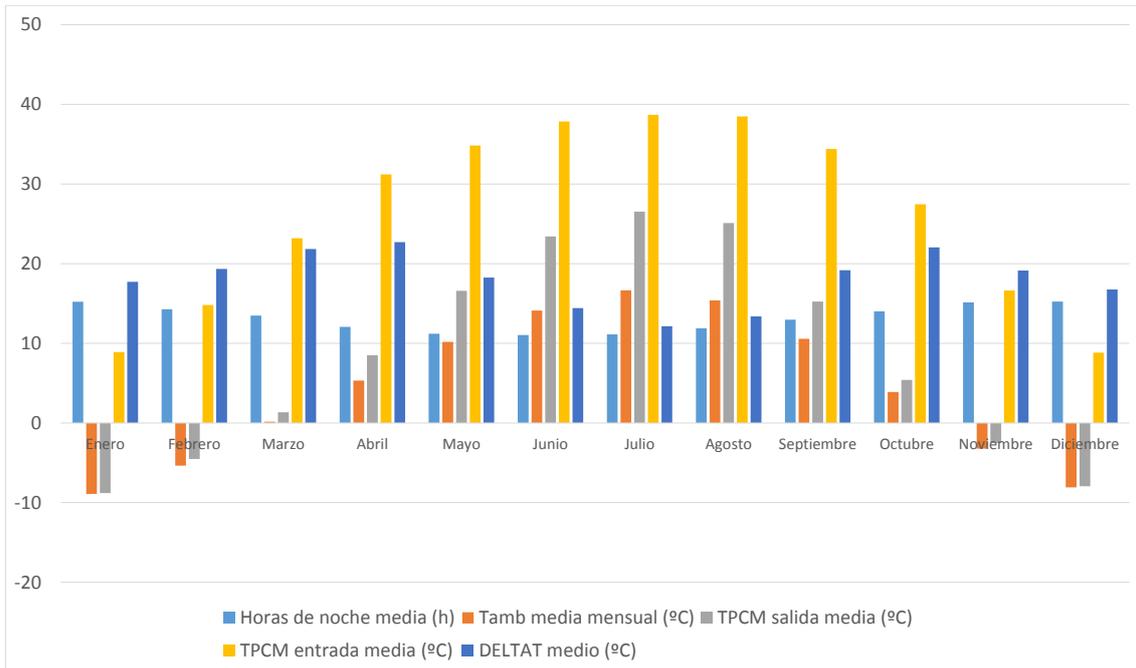


Figura 138: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

En la figura 138 se representa lo expuesto anteriormente, en la que la predominancia de estados es el 33.



**Figura 139:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

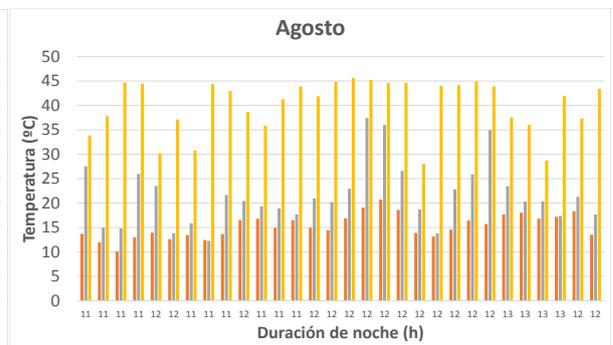
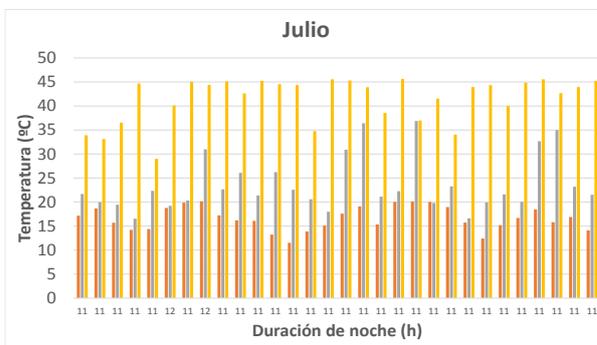
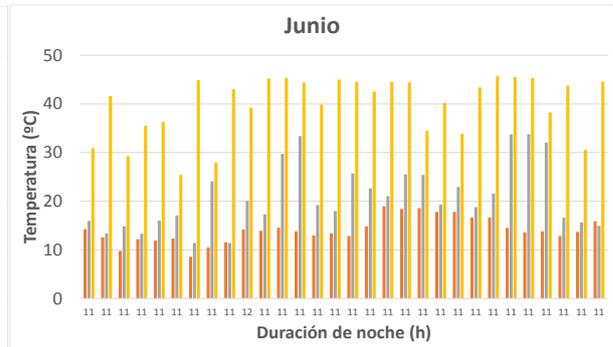
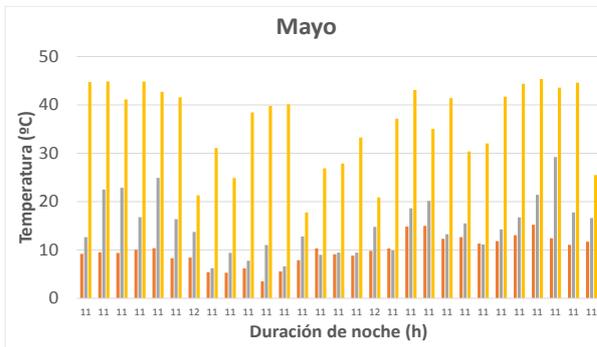
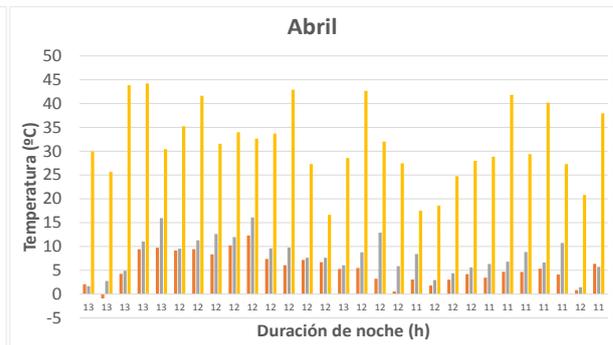
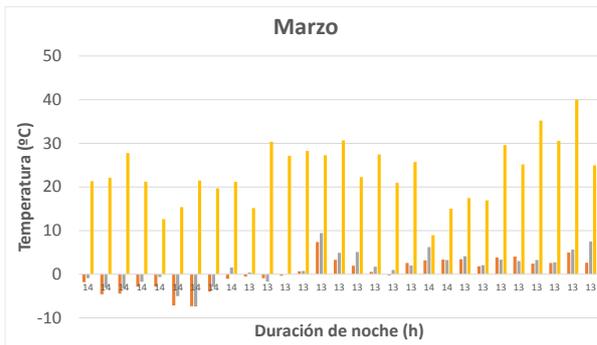
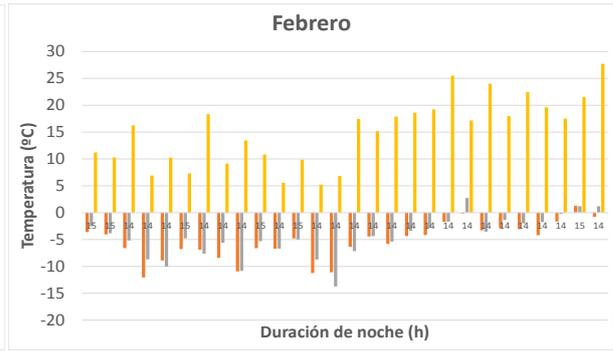
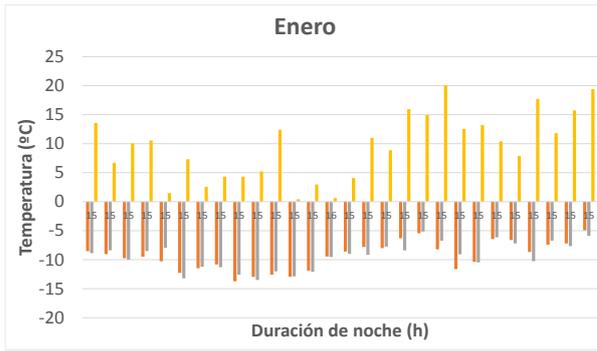
No hay muchos valores medios mensuales de la temperatura del PCM a la entrada que alcancen dicha temperatura melt.

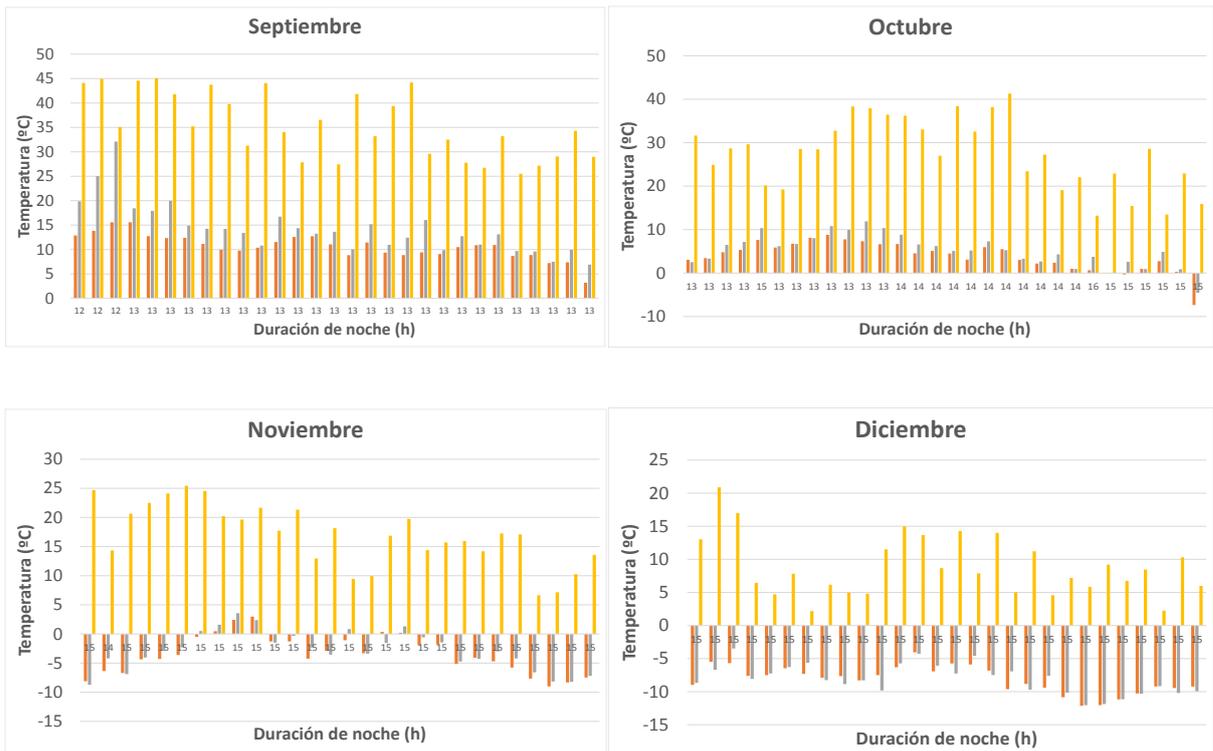
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,80	8,91	17,71
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,52	14,81	19,33
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	1,35	23,19	21,84
<b>Abril</b>	12,07	5,31	8,50	31,21	22,71
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	16,59	34,84	18,25
<b>Junio</b>	11,03	14,10	23,42	37,85	14,43
<b>Julio</b>	11,13	16,66	26,54	38,69	12,15
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	25,10	38,47	13,37
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	15,24	34,41	19,16
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	5,41	27,45	22,04
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,50	16,63	19,13
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,94	8,81	16,75

**Tabla 37:** datos promediados para la representación de la figura 139 para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Se puede ver en la tabla 37, que solo en los meses intermedios algunos valores se aproximan a la  $T_{melt}$  seleccionada.

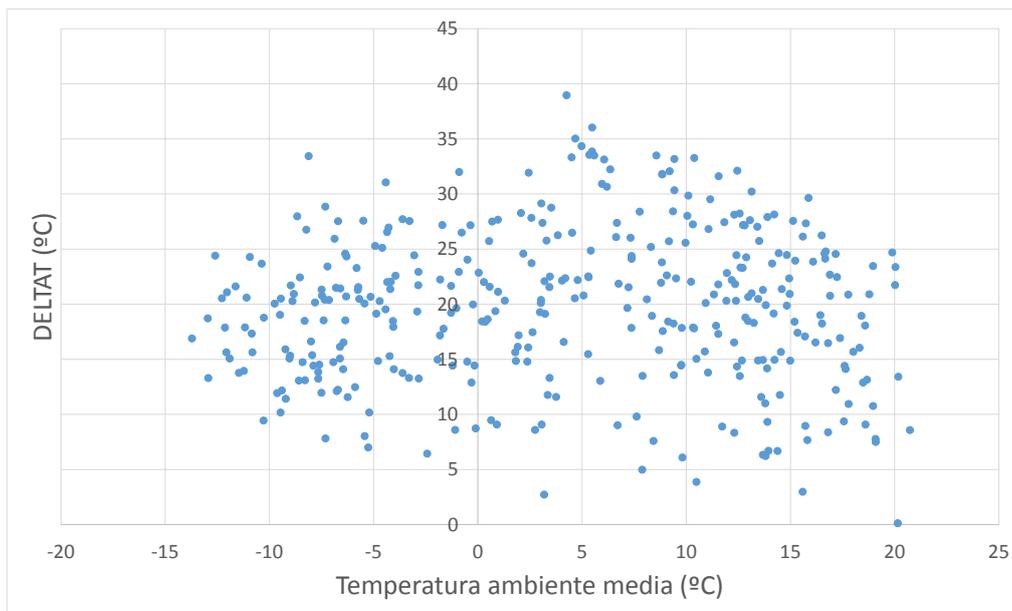
$T_{melt} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$





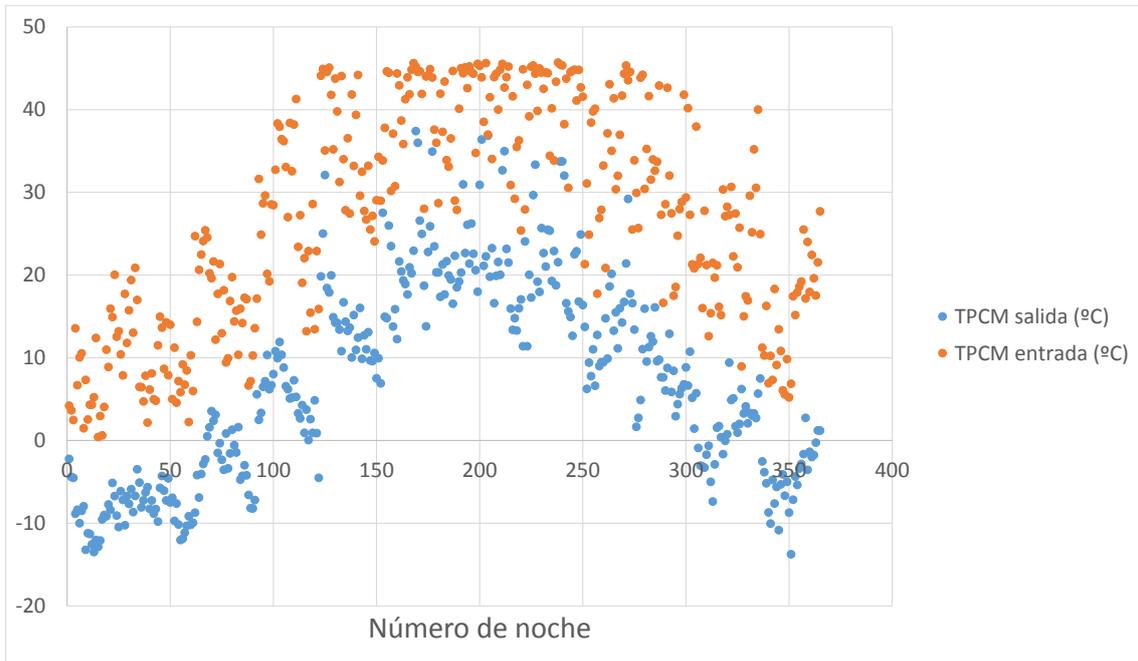
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Para una  $T_{melt}$  tan elevada, apenas se consigue influir en ambas temperaturas.



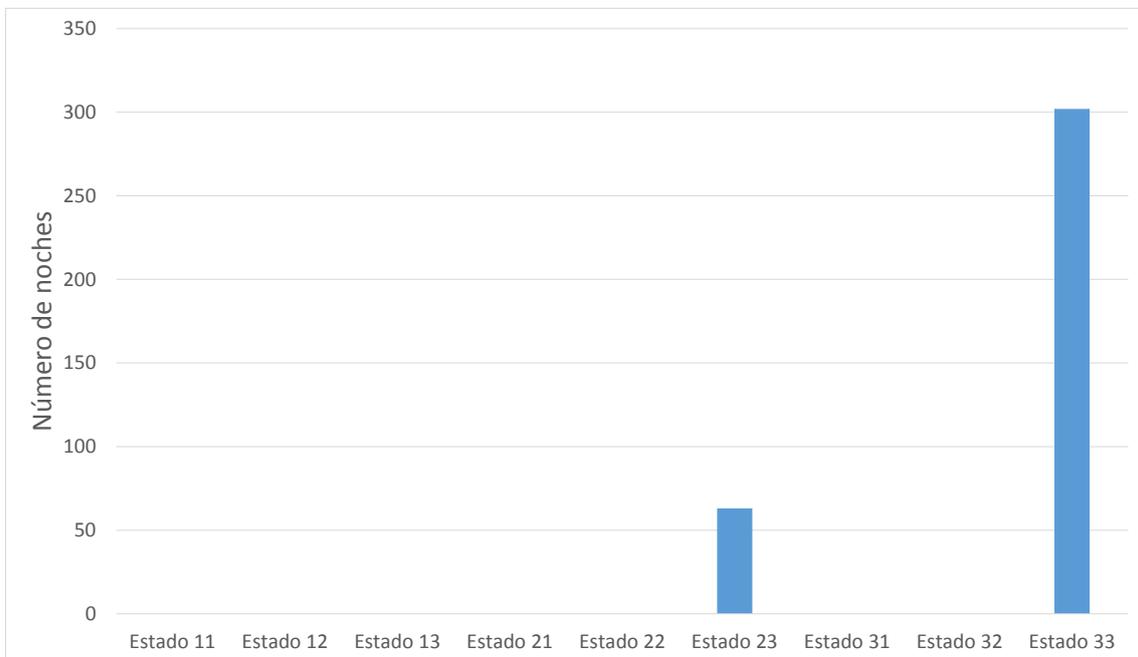
**Figura 140:** representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Destacar de la figura 140 que los valores de DELTAT varían en un rango más amplio, de 0 °C a 40 °C, a diferencia de los anteriores casos.



**Figura 141:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Se aprecia la lejanía que existe entre ambas temperaturas, entrada y salida, y que la temperatura del PCM a la entrada en los meses templados-cálidos alcanza la  $T_{melt}$  impuesta.



**Figura 142:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

La predominancia del estado 33 en todas las noches era de esperar, debido a la alta  $T_{melt}$  impuesta.

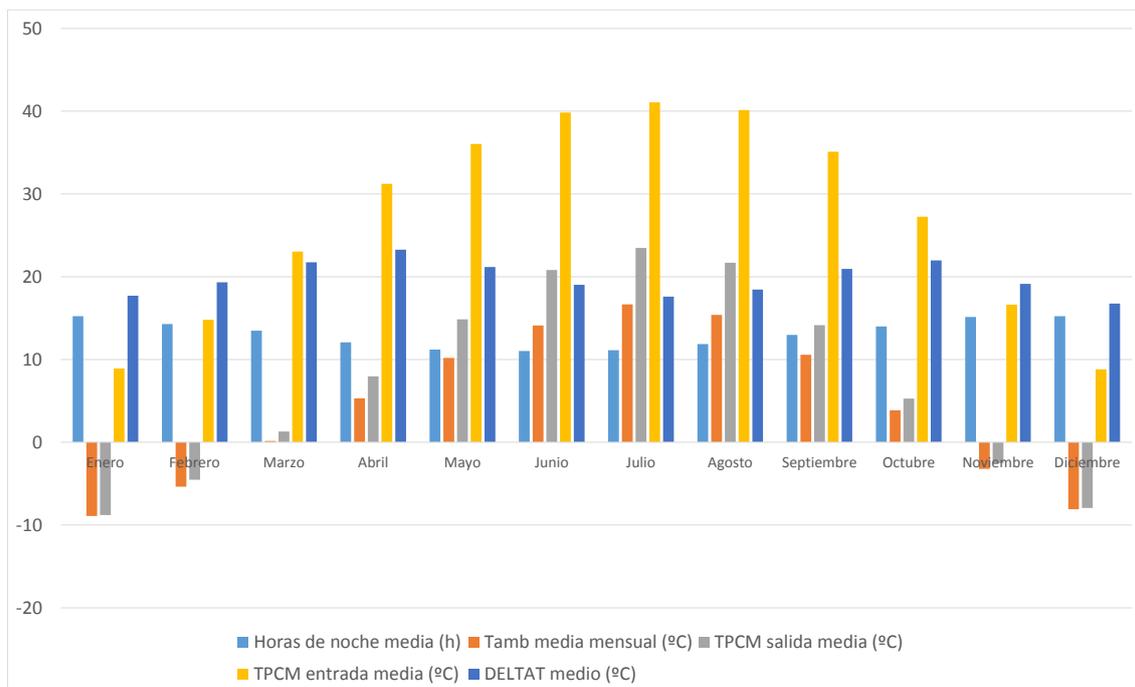


Figura 143: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

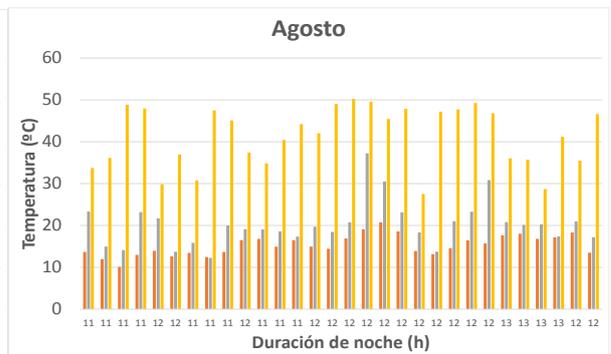
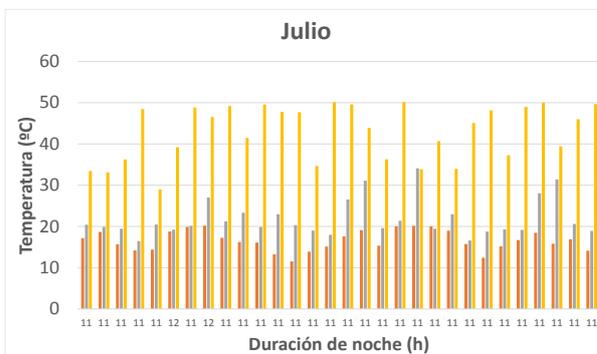
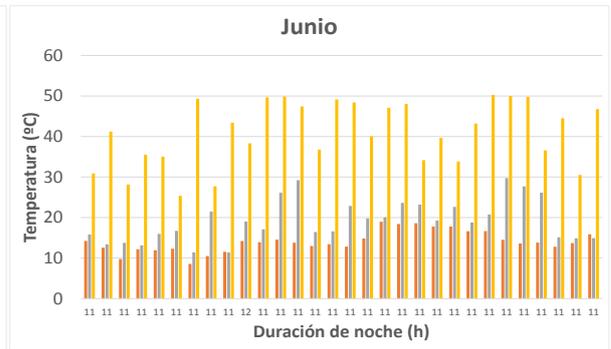
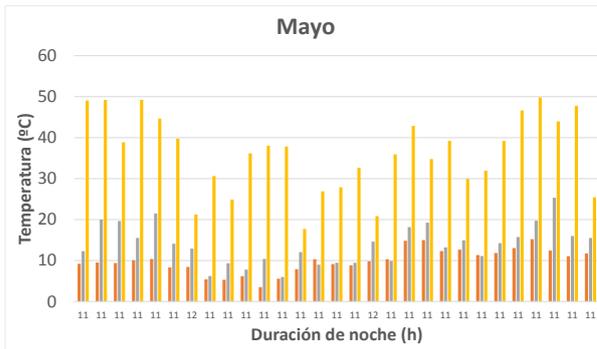
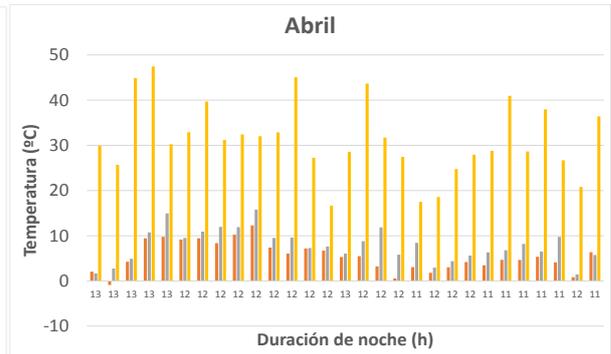
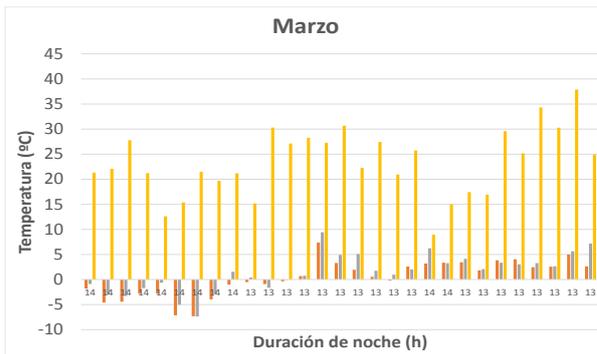
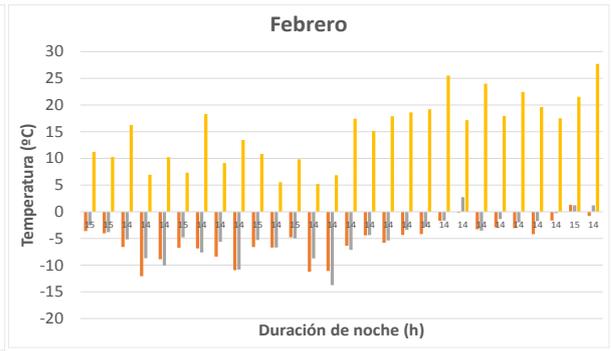
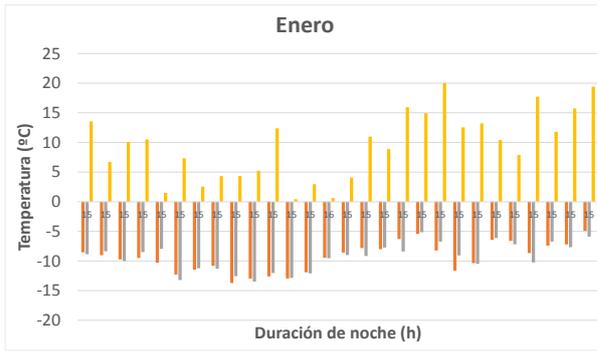
Ninguno de los valores medios mensuales alcanza la  $T_{melt}$  seleccionada, símbolo de que no es una temperatura óptima.

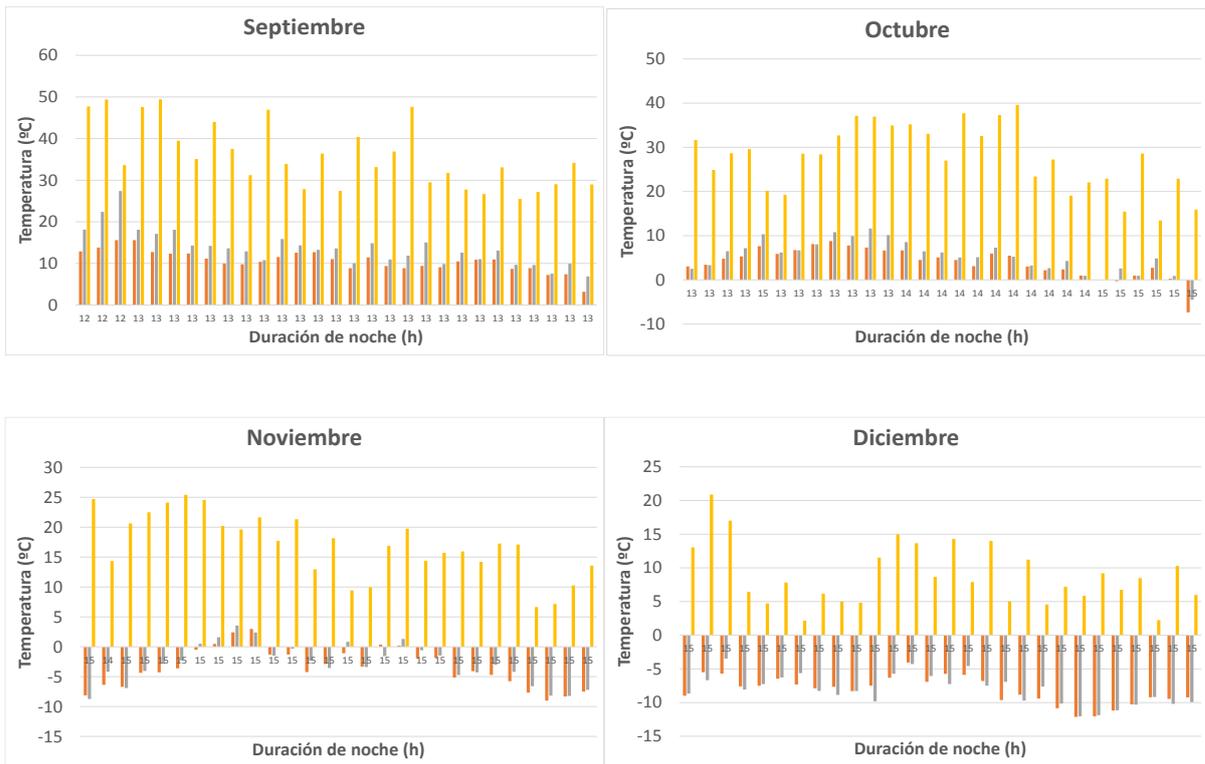
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,80	8,91	17,71
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,52	14,81	19,33
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	1,29	23,03	21,74
<b>Abril</b>	12,07	5,31	7,97	31,23	23,26
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	14,85	36,04	21,18
<b>Junio</b>	11,03	14,10	20,81	39,84	19,03
<b>Julio</b>	11,13	16,66	23,47	41,07	17,60
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	21,69	40,15	18,45
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	14,15	35,10	20,96
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	5,27	27,25	21,98
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,50	16,63	19,13
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,94	8,81	16,75

Tabla 38: datos promediados para la representación de la figura 143 para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Para destacar lo anterior, en la tabla 38 se puede ver los valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada, en la que el valor máximo alcanzado son 41 °C.

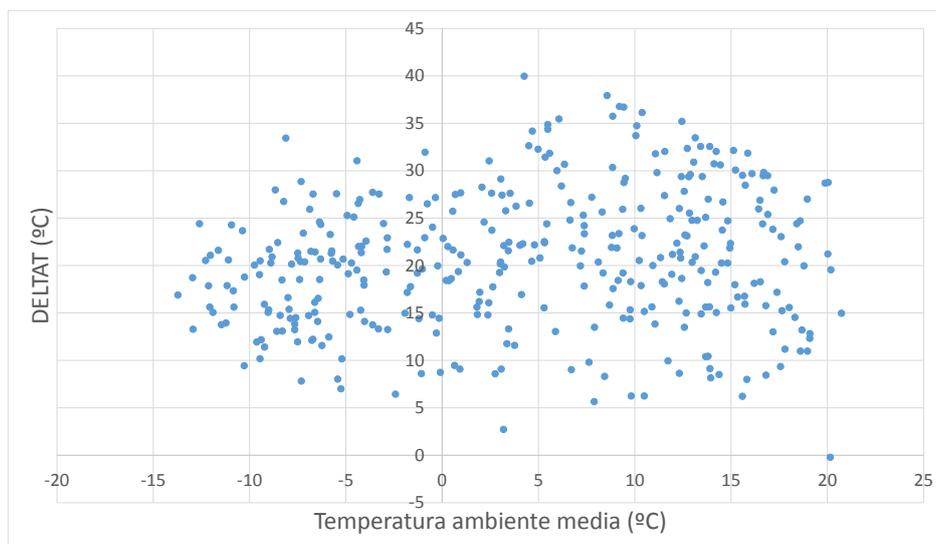
$T_{melt} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$





**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Se puede ver el mismo comportamiento para esta  $T_{melt}$  que para la anterior, en la que los valores de entrada del PCM alcanzan muy pocas veces el valor impuesto de  $T_{melt}$ .



**Figura 144: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Misma dispersión de DELTAT con respecto a temperatura ambiente media que para la temperatura melt anterior.

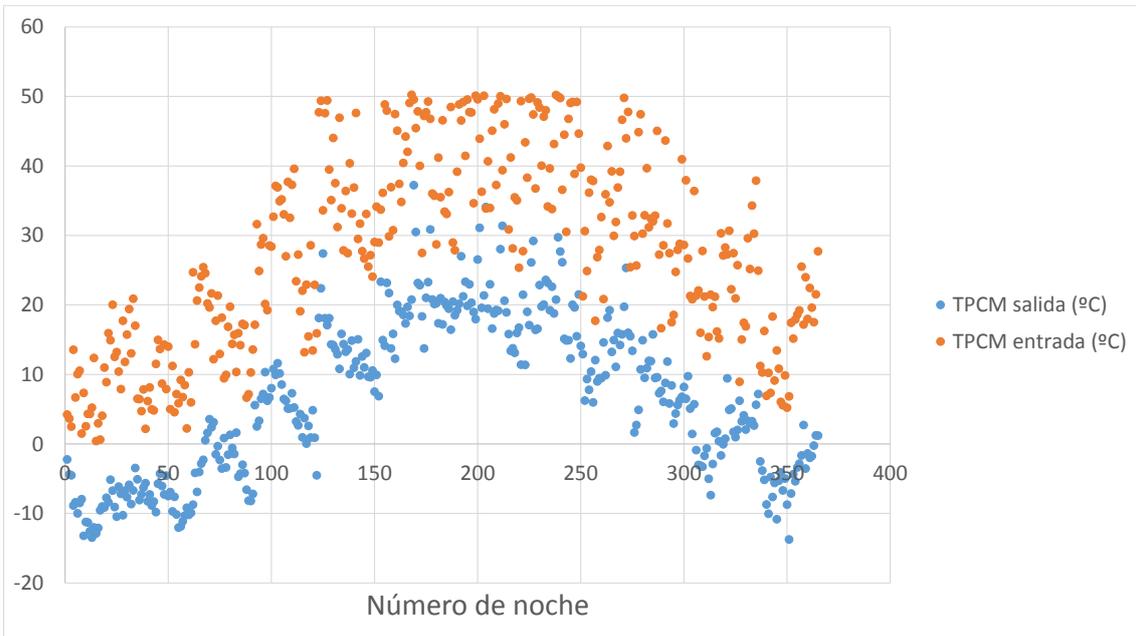


Figura 145: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

De nuevo, mucha más lejanía entre los puntos de entrada y salida de temperatura del PCM.

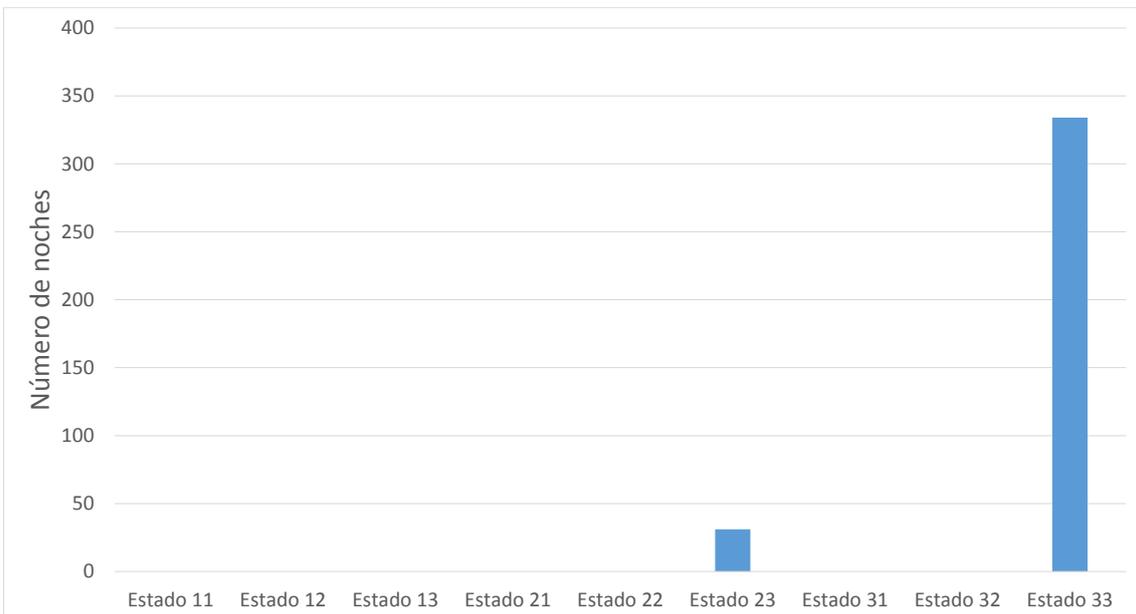


Figura 146: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Casi todas las noches el PCM no cambia de estado, como se representa en la figura 146 con la predominancia del estado 33.

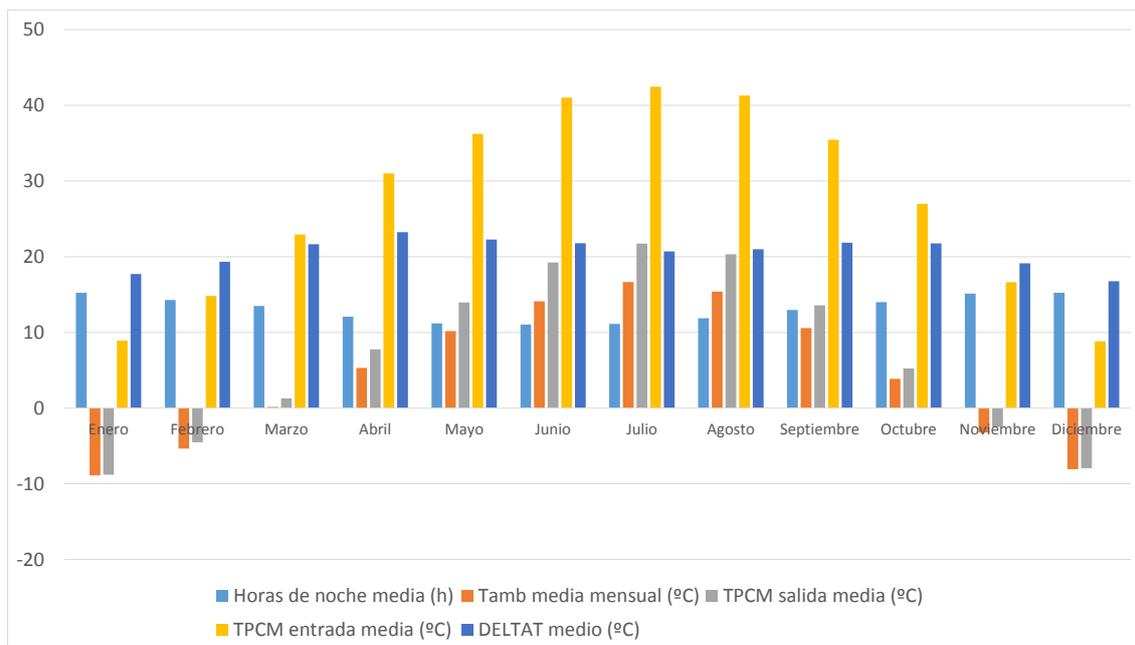


Figura 147: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Lo mismo ocurre con las temperaturas medias mensuales, que en ningún momento del año se alcanza el valor de la  $T_{melt}$ .

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,23	-8,90	-8,80	8,91	17,71
<b>Febrero</b>	14,28	-5,36	-4,52	14,81	19,33
<b>Marzo</b>	13,48	0,15	1,28	22,92	21,64
<b>Abril</b>	12,07	5,31	7,76	30,99	23,24
<b>Mayo</b>	11,19	10,18	13,96	36,22	22,26
<b>Junio</b>	11,03	14,10	19,23	41,01	21,79
<b>Julio</b>	11,13	16,66	21,75	42,45	20,71
<b>Agosto</b>	11,87	15,38	20,32	41,30	20,98
<b>Septiembre</b>	12,97	10,57	13,59	35,44	21,86
<b>Octubre</b>	14,00	3,88	5,24	26,99	21,75
<b>Noviembre</b>	15,13	-3,22	-2,50	16,63	19,13
<b>Diciembre</b>	15,23	-8,08	-7,94	8,81	16,75

Tabla 39: datos promediados para la representación de la figura 147 para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Para concluir y justificar lo anterior, en la tabla 39, se puede ver que los valores de interés no alcanzan en ninguna ocasión el valor de la temperatura de cambio de fase impuesta.

### 11.3 Conclusiones finales de Golmud

Tmelt	Horas de noche anual media (h)	Tamb media anual (°C)	TPCM salida anual (°C)	TPCM entrada anual (°C)	DELTAT anual (°C)	POUT (W/m <sup>2</sup> )	Porcentaje de producción
10	13,13	4,22	8,86	25,61	16,75	281763,00	8,89
15	13,13	4,22	9,07	25,73	16,66	282219,83	9,07
20	13,13	4,22	9,69	25,76	16,07	282776,02	9,28
25	13,13	4,22	10,36	25,54	15,19	283592,38	9,60
30	13,13	4,22	10,40	25,55	15,15	284151,46	9,81
35	13,13	4,22	9,60	25,80	16,20	284195,23	9,83
40	13,13	4,22	8,20	26,27	18,07	283676,42	9,63
45	13,13	4,22	7,15	26,91	19,76	282515,78	9,18
50	13,13	4,22	6,61	27,21	20,59	281490,98	8,78
Sin PCM						258760,92	

Tabla 40: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.

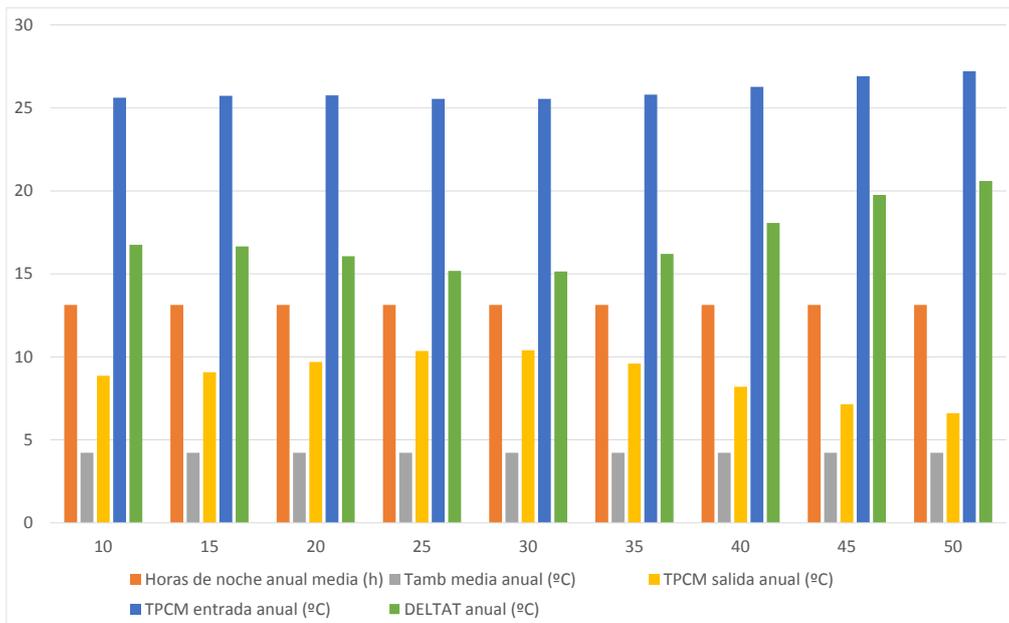


Figura 148: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada.

Puede destacarse que el comportamiento de las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida son parecidas a Neuhardenberg, en la que se alcanza un óptimo a una cierta temperatura y conforme se aleja de dicha temperatura, el comportamiento es disperso.

Si se observa la tabla 40, el pico de producción de potencia se produce en torno a una Tmelt de 35 °C, no alejándose mucho de los 31 °C calculados por el método hora-hora.



## **12. Estudio de Agua Caliente (Arizona, EEUU)**

### **12.1 Índice de figuras para Agua Caliente**

<b>Figura 149: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>182</b>
<b>Figura 150: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>183</b>
<b>Figura 151: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>183</b>
<b>Figura 152: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C. ....</b>	<b>184</b>
<b>Figura 153: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>186</b>
<b>Figura 154: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>187</b>
<b>Figura 155: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>187</b>
<b>Figura 156: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C. ....</b>	<b>188</b>
<b>Figura 157: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>190</b>
<b>Figura 158: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>191</b>
<b>Figura 159: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>191</b>
<b>Figura 160: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C. ....</b>	<b>192</b>
<b>Figura 161: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>194</b>
<b>Figura 162: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>195</b>
<b>Figura 163: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>195</b>
<b>Figura 164: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C. ....</b>	<b>196</b>

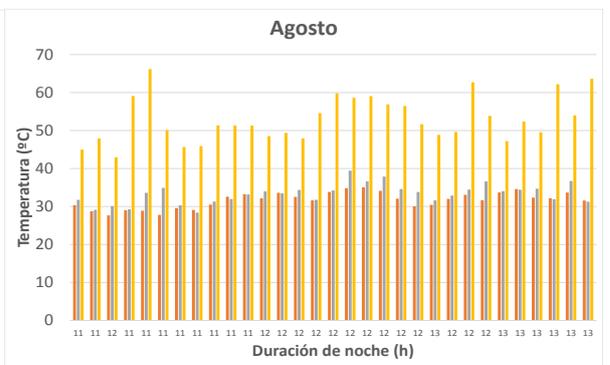
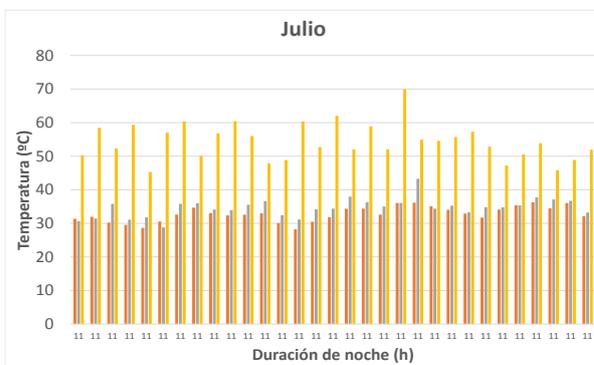
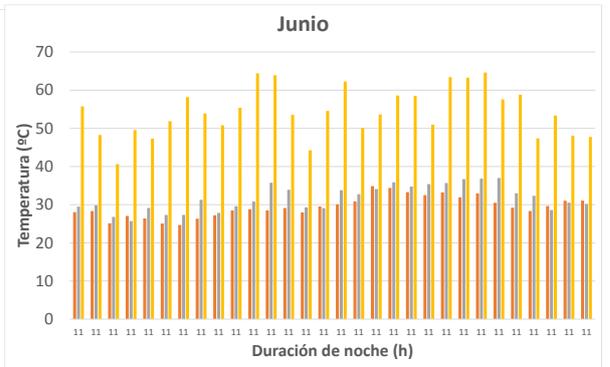
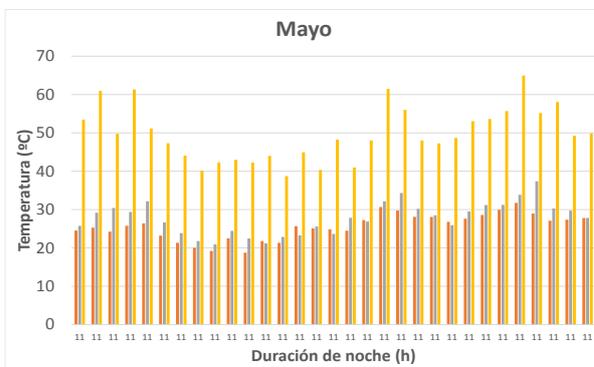
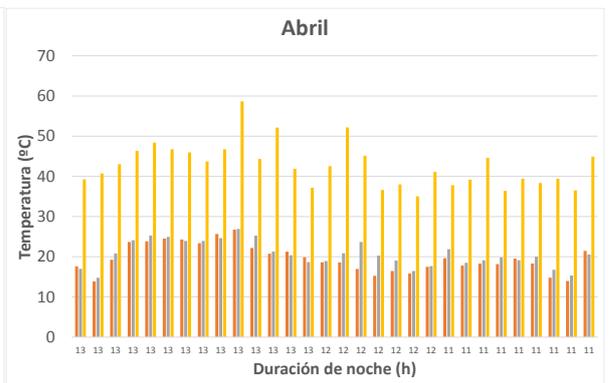
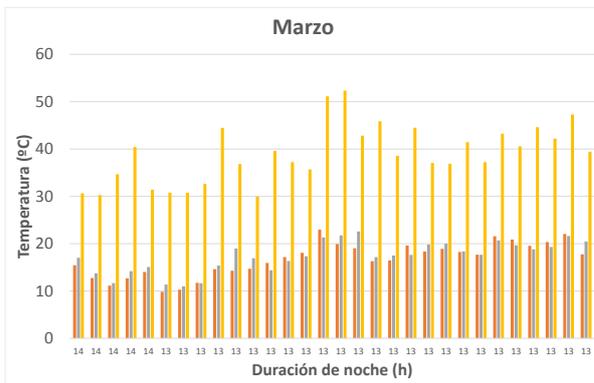
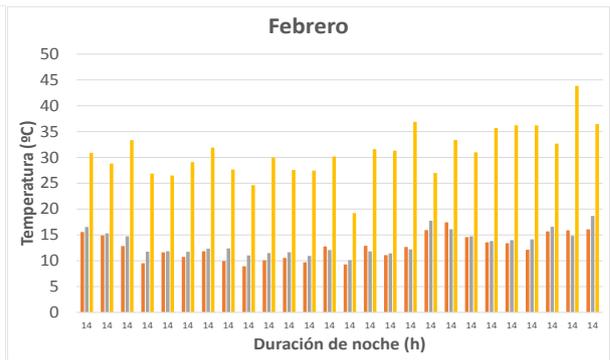
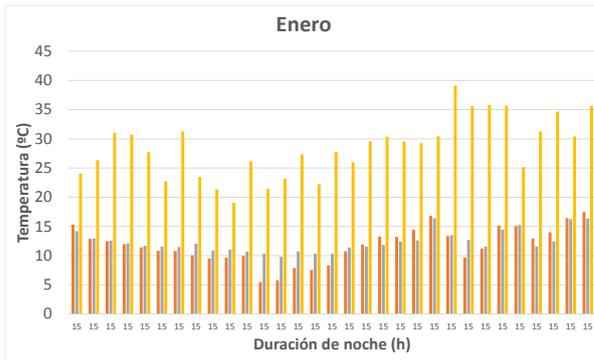
<b>Figura 165: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>198</b>
<b>Figura 166: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>199</b>
<b>Figura 167: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>199</b>
<b>Figura 168: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C. ....</b>	<b>200</b>
<b>Figura 169: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>202</b>
<b>Figura 170: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>203</b>
<b>Figura 171: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>203</b>
<b>Figura 172: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C. ....</b>	<b>204</b>
<b>Figura 173: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>206</b>
<b>Figura 174: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>207</b>
<b>Figura 175: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>207</b>
<b>Figura 176: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C. ....</b>	<b>208</b>
<b>Figura 177: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>210</b>
<b>Figura 178: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>211</b>
<b>Figura 179: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>211</b>
<b>Figura 180: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C. ....</b>	<b>212</b>
<b>Figura 181: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>214</b>

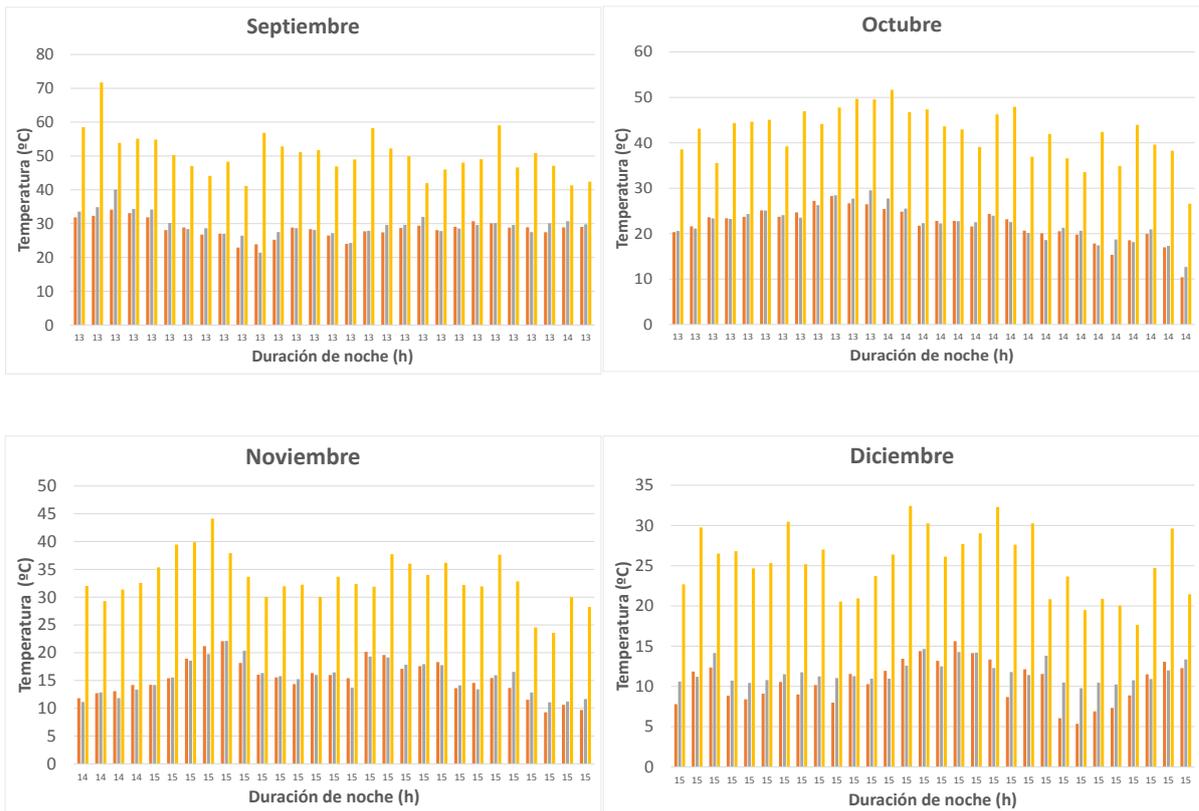
<b>Figura 182: representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>215</b>
<b>Figura 183: número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C. ....</b>	<b>215</b>
<b>Figura 184: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>216</b>
<b>Figura 185: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada <math>T_{melt}</math> analizada. ....</b>	<b>217</b>
<b>Figura 186: gráfico de barras para los datos de la tabla 51. ....</b>	<b>220</b>

## **12.2 Índice de tablas para Agua Caliente**

<b>Tabla 41: datos promediados para la representación de la figura 152 para una <math>T_{melt}</math> de 10 °C.....</b>	<b>184</b>
<b>Tabla 42: datos promediados para la representación de la figura 156 para una <math>T_{melt}</math> de 15 °C.....</b>	<b>188</b>
<b>Tabla 43: datos promediados para la representación de la figura 160 para una <math>T_{melt}</math> de 20 °C.....</b>	<b>192</b>
<b>Tabla 44: datos promediados para la representación de la figura 164 para una <math>T_{melt}</math> de 25 °C.....</b>	<b>196</b>
<b>Tabla 45: datos promediados para la representación de la figura 168 para una <math>T_{melt}</math> de 30 °C.....</b>	<b>200</b>
<b>Tabla 46: datos promediados para la representación de la figura 172 para una <math>T_{melt}</math> de 35 °C.....</b>	<b>204</b>
<b>Tabla 47: datos promediados para la representación de la figura 176 para una <math>T_{melt}</math> de 40 °C.....</b>	<b>208</b>
<b>Tabla 48: datos promediados para la representación de la figura 180 para una <math>T_{melt}</math> de 45 °C.....</b>	<b>212</b>
<b>Tabla 49: datos promediados para la representación de la figura 184 para una <math>T_{melt}</math> de 50 °C.....</b>	<b>216</b>
<b>Tabla 50: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM. ....</b>	<b>217</b>
<b>Tabla 51: datos analizados promediados anualmente para todas las localizaciones analizadas junto con las temperaturas óptimas calculadas por el método hora-hora y dia-medio. ....</b>	<b>220</b>

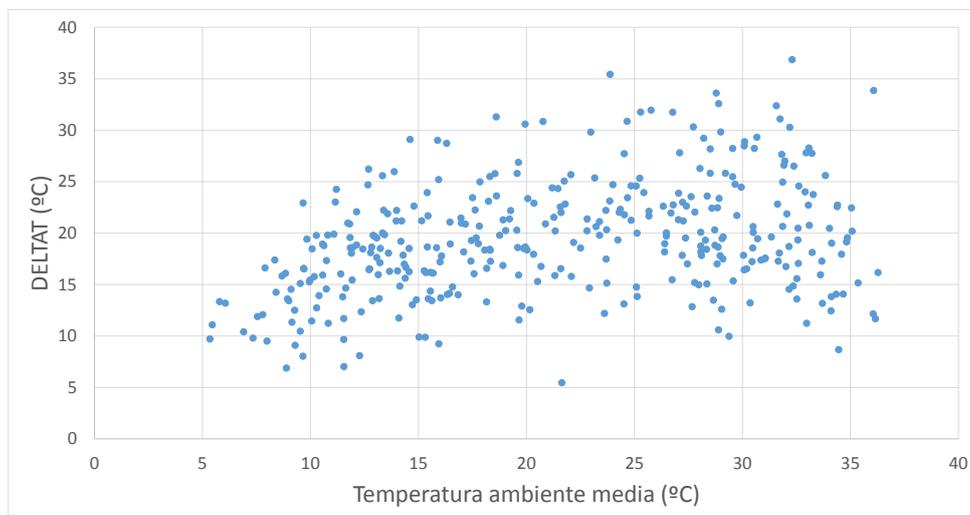
$T_{melt} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$





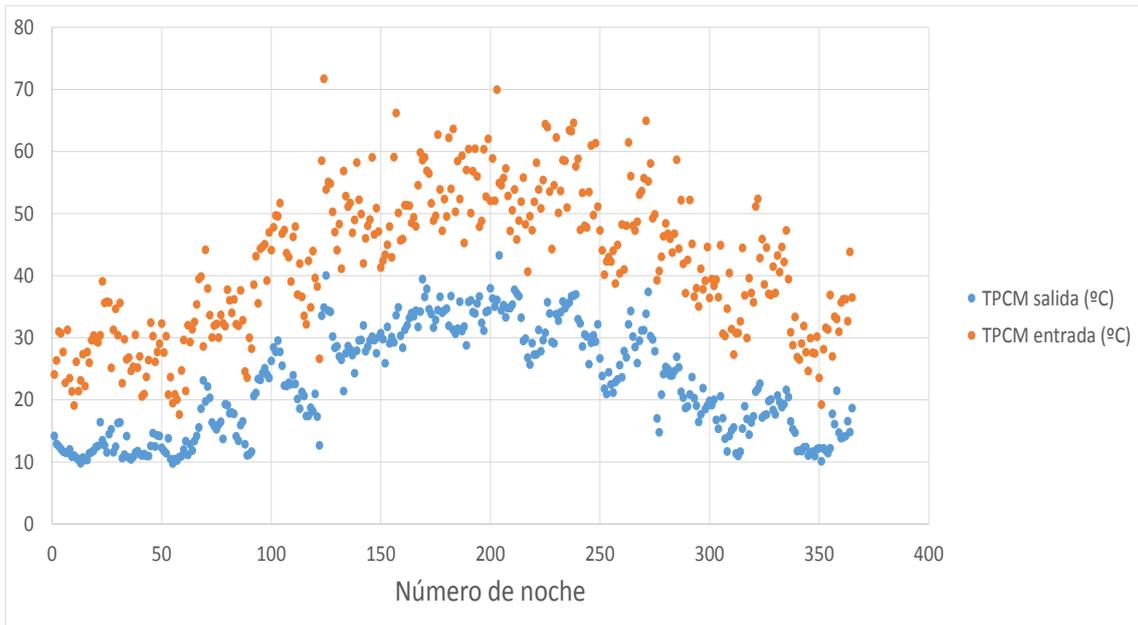
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

En el grupo de gráficas, la temperatura ambiente media nocturna oscila entre los 5 °C y los 30 °C, haciendo que la temperatura del PCM de salida se mueva entre esos valores, por lo que no existe un comportamiento estable para esta  $T_{melt}$ .



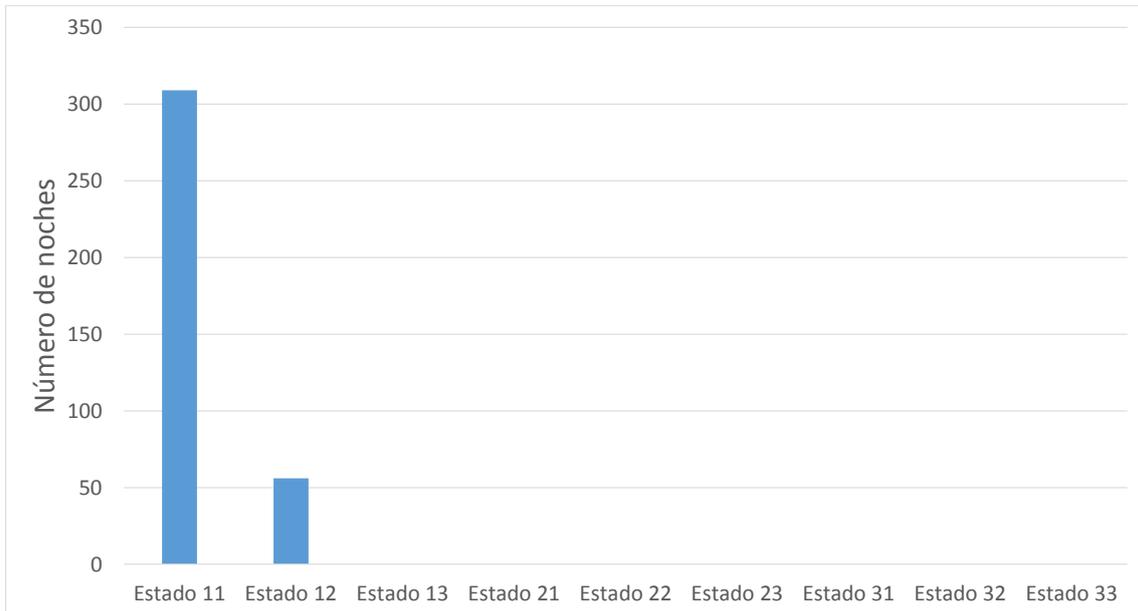
**Figura 149: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.**

La temperatura ambiente media y el salto de temperatura DELTAT varían en el mismo rango, y entre los valores de 5 °C a 37 °C aproximadamente.



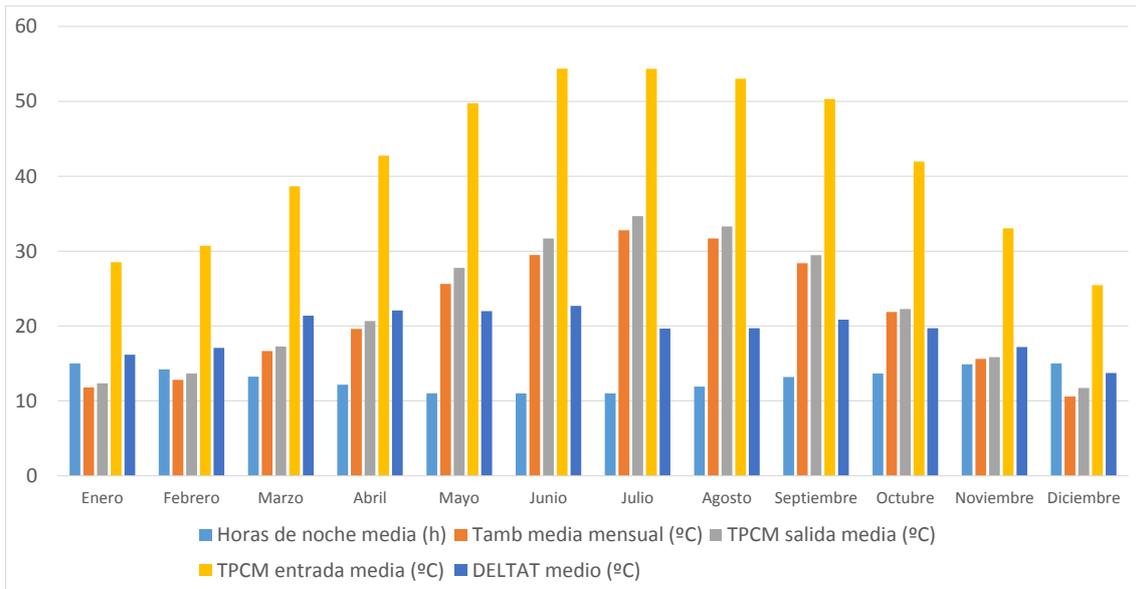
**Figura 150:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Se puede ver en la figura 150 lo que se dijo anteriormente para el grupo de gráficas, y es que la temperatura del PCM a la salida no tiene un valor constante a lo largo del año.



**Figura 151:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

Como se ha visto para otros emplazamientos, el imponer una temperatura de cambio de fase muy baja hace que el estado 11 predomine en todo el año.



**Figura 152:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

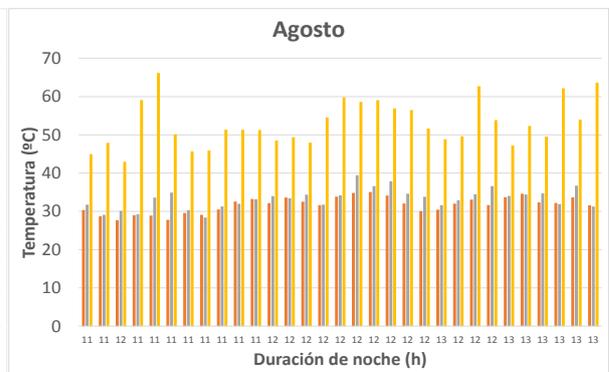
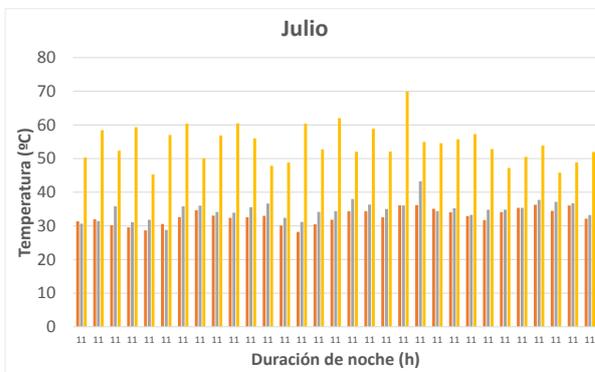
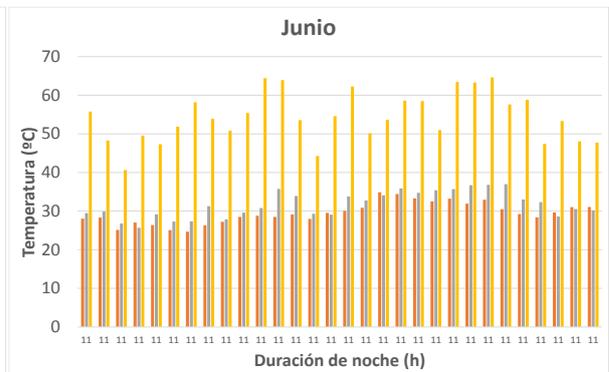
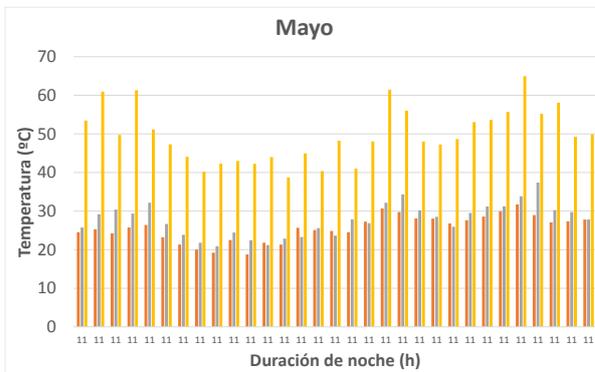
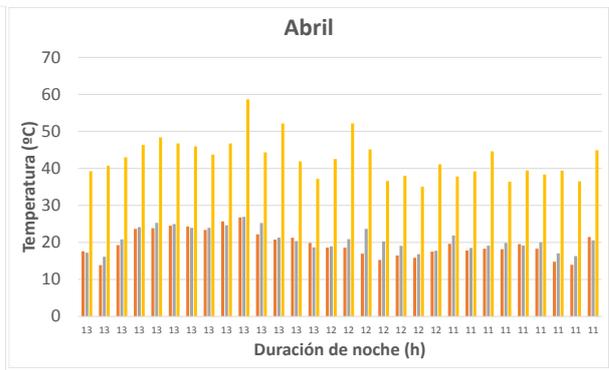
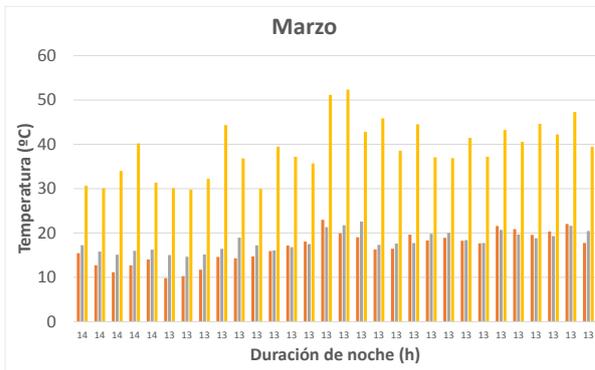
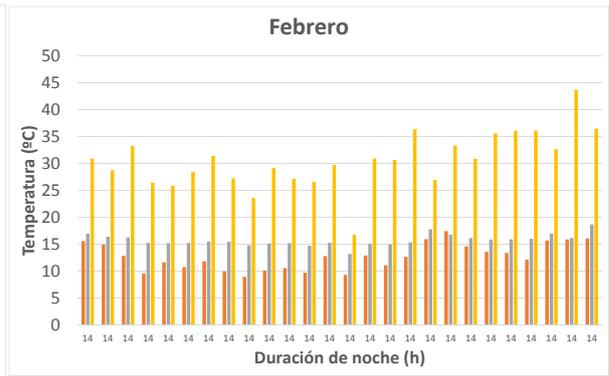
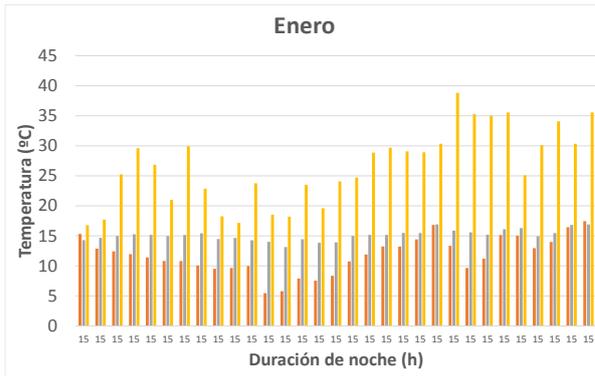
En la figura 152, solo en 2 meses se acerca la temperatura media mensual del PCM a la entrada al valor de la  $T_{melt}$  seleccionada.

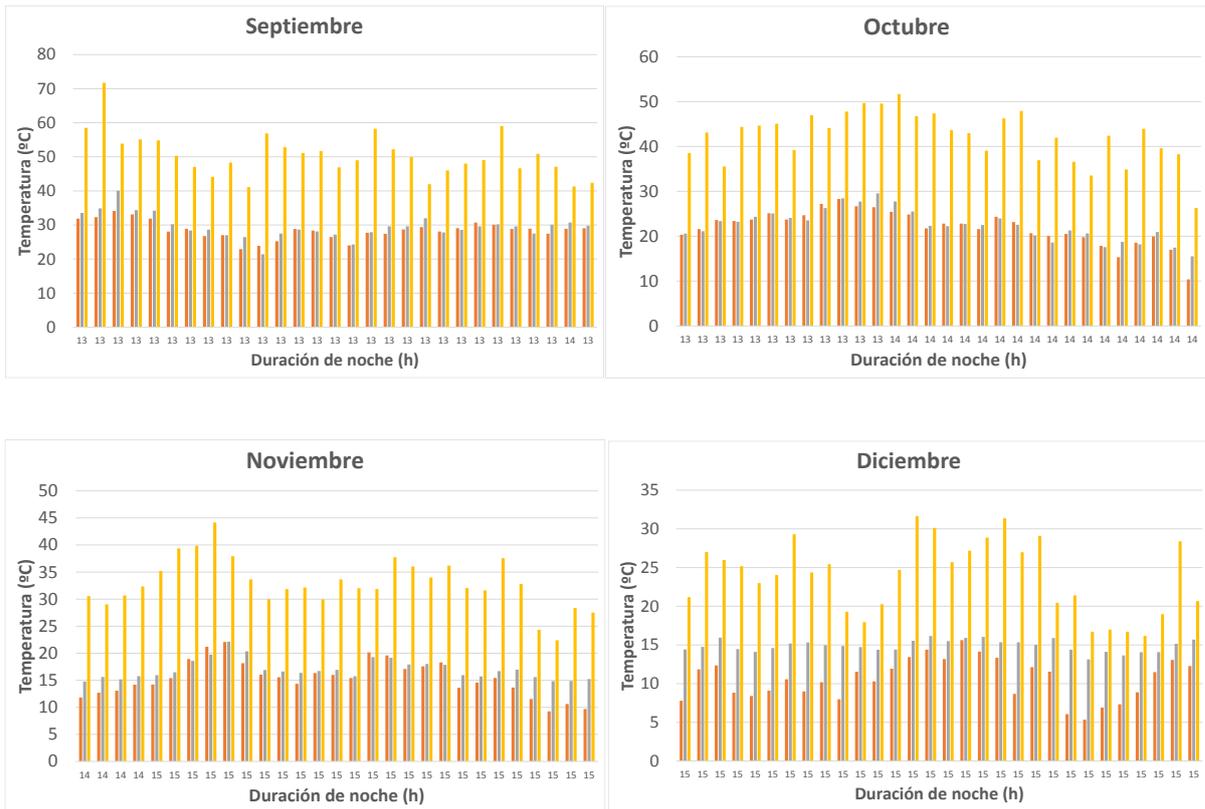
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	12,35	28,52	16,17
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	13,65	30,73	17,08
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	17,26	38,64	21,39
<b>Abril</b>	12,17	19,61	20,67	42,75	22,08
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	27,75	49,75	21,99
<b>Junio</b>	11,00	29,49	31,68	54,36	22,68
<b>Julio</b>	11,00	32,80	34,68	54,35	19,67
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	33,31	53,02	19,71
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	29,46	50,31	20,86
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	22,26	41,97	19,71
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	15,84	33,05	17,20
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	11,73	25,47	13,73

**Tabla 41:** datos promediados para la representación de la figura 152 para una  $T_{melt}$  de 10 °C.

En la tabla 41 se puede ver mejor los valores comentados en la figura 152, en la que algunos valores de dicha temperatura son muy cercanos a la  $T_{melt}$  de 10 °C (12,35 °C, 11,73 °C).

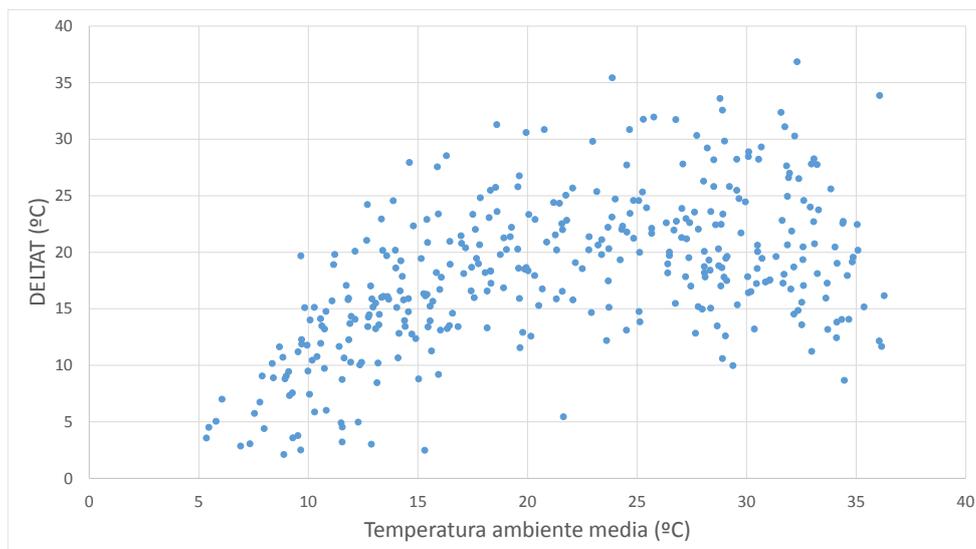
$T_{melt} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$





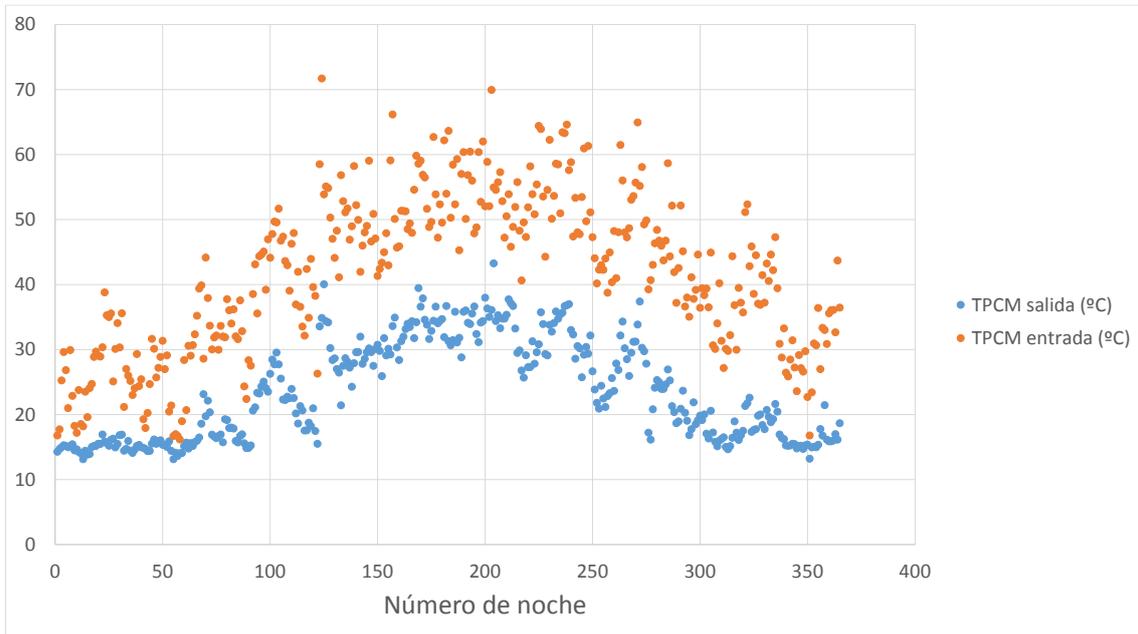
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

En algunos meses se consigue que la temperatura del PCM a la salida sea igual a 15 °C, pero todavía no hay un efecto óptimo en el resto de los meses.



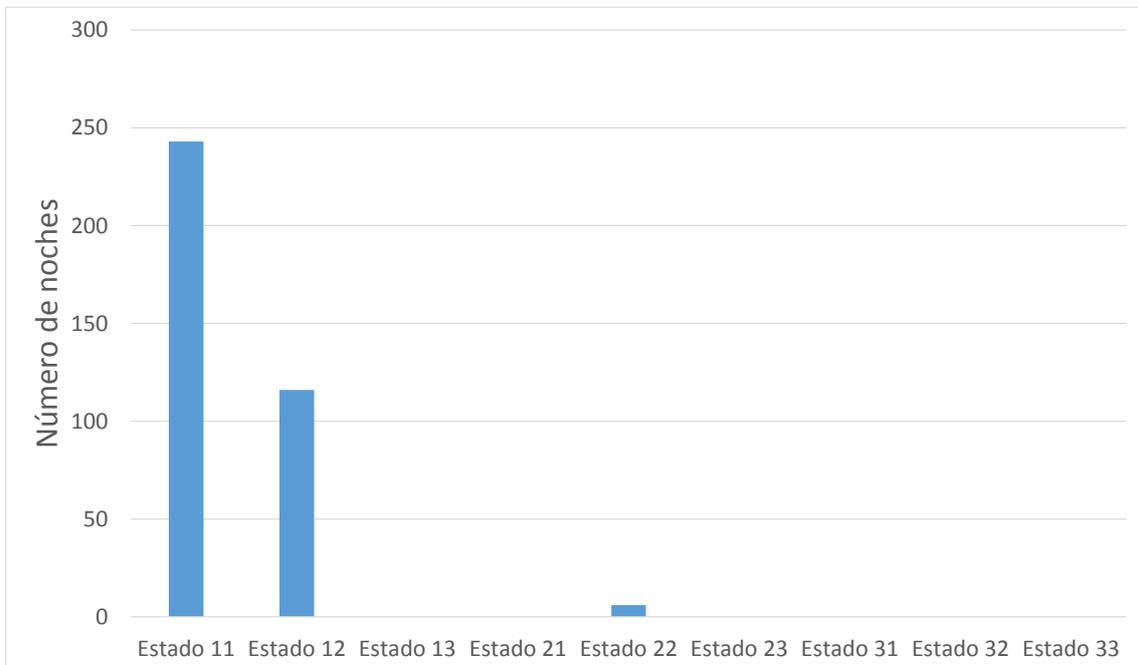
**Figura 153: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.**

Se sigue viendo la misma variación de valores para la gráfica de la figura 153, en la que la temperatura ambiente media nocturna y DELTAT varía casi en el mismo rango de valores.



**Figura 154:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

No se aprecia cercanía entre la temperatura del PCM a la entrada y la temperatura del PCM a la salida. Se puede destacar de la figura 154 que en los primeros meses y en los últimos el valor de la temperatura del PCM a la salida es igual al de la  $T_{melt}$ .



**Figura 155:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Sigue habiendo predominancia del estado 11 aunque comienzan a emerger estados como el 22, representado en la figura 155.

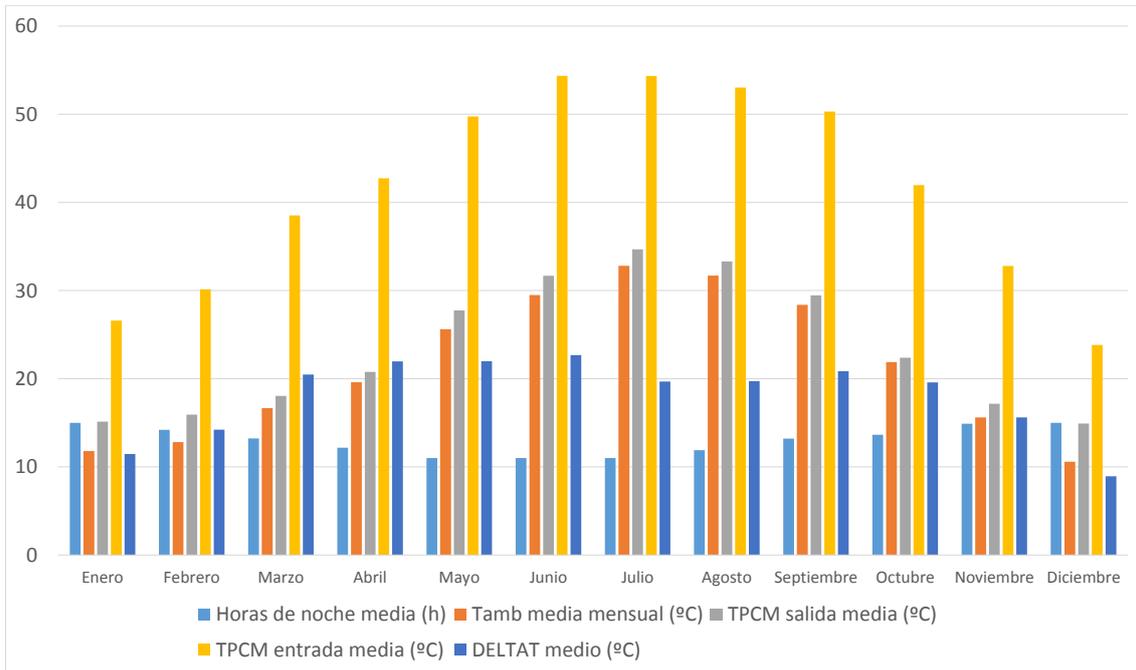


Figura 156: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

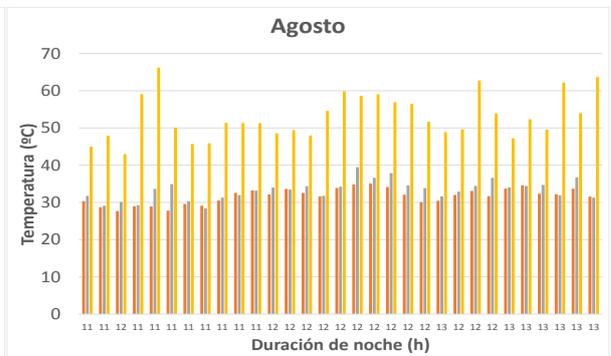
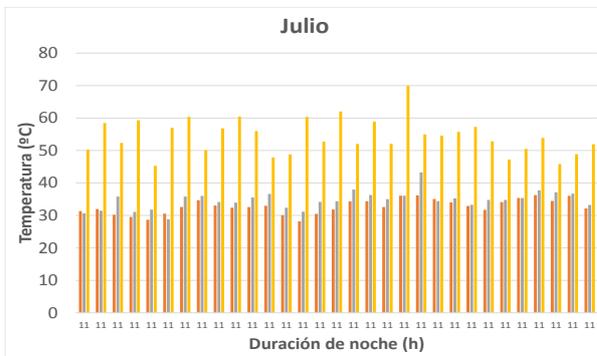
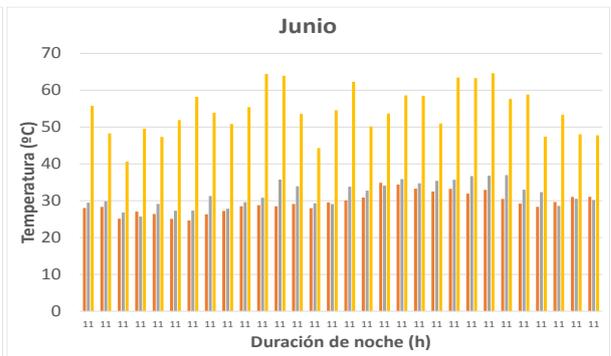
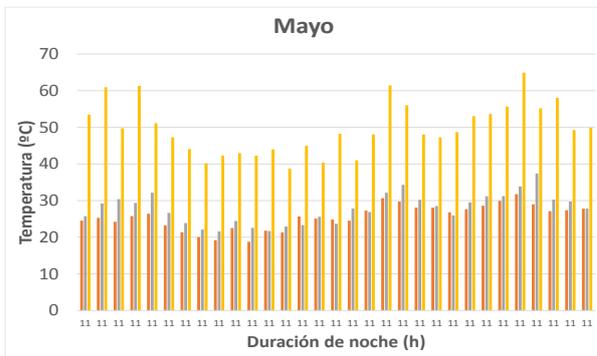
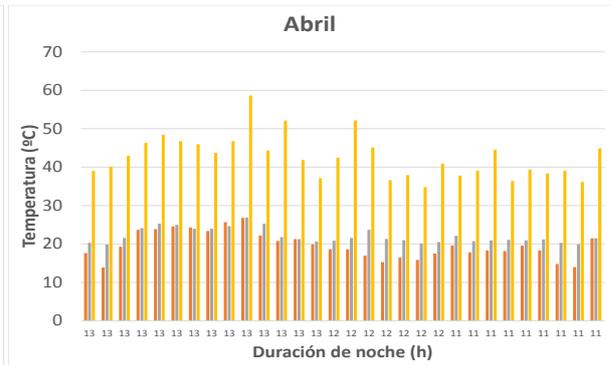
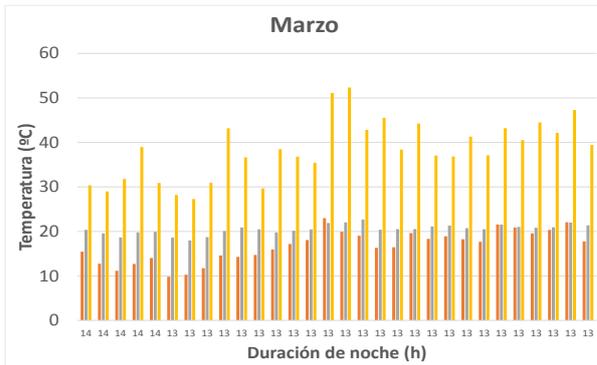
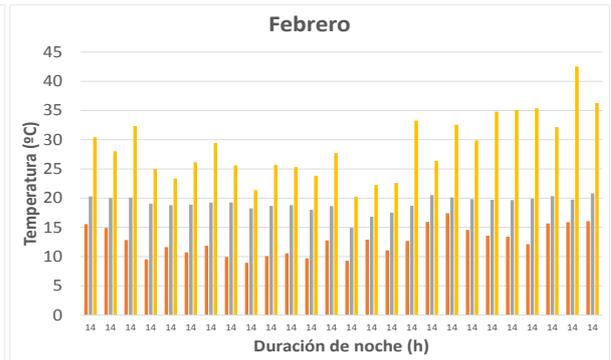
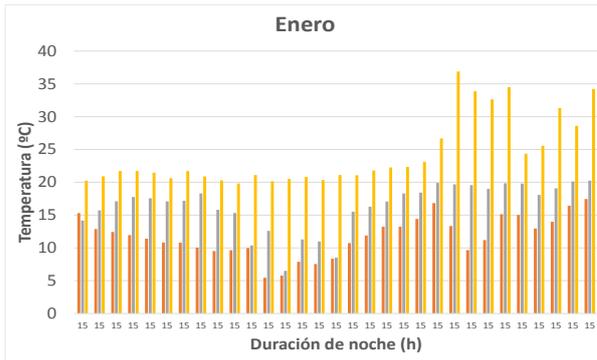
Se puede observar en la figura 156, que algunos valores medios mensuales de la temperatura del PCM a la salida tienen un valor muy cercano a la  $T_{melt}$  de 15 °C.

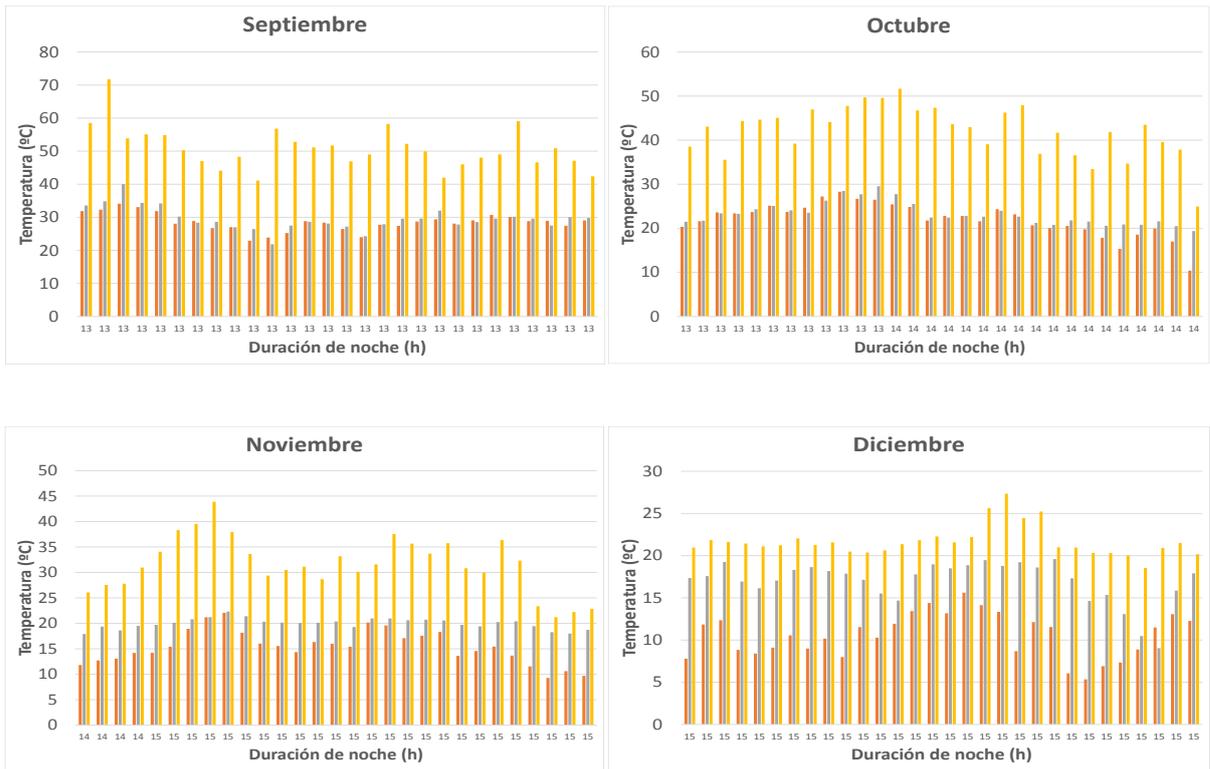
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	15,13	26,60	11,46
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	15,93	30,14	14,22
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	18,05	38,53	20,48
<b>Abril</b>	12,17	19,61	20,78	42,74	21,96
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	27,75	49,75	21,99
<b>Junio</b>	11,00	29,49	31,68	54,36	22,68
<b>Julio</b>	11,00	32,80	34,68	54,35	19,67
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	33,31	53,02	19,71
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	29,46	50,31	20,86
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	22,37	41,96	19,59
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	17,17	32,78	15,62
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	14,90	23,83	8,93

Tabla 42: datos promediados para la representación de la figura 156 para una  $T_{melt}$  de 15 °C.

Lo anterior se respalda si se echa un vistazo a la tabla 42, en los valores de los meses iniciales y finales de la temperatura media mensual del PCM a la salida.

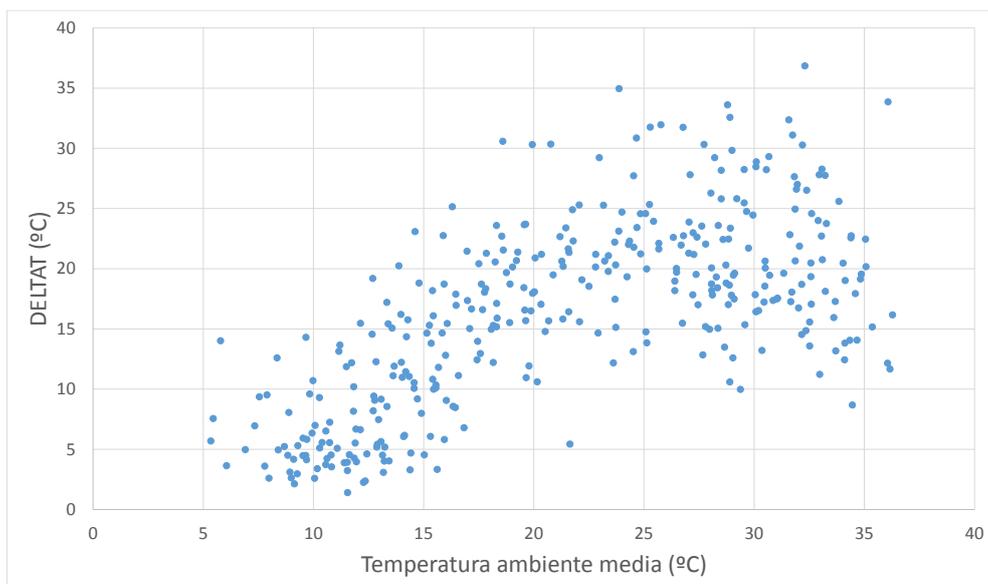
$T_{melt} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$





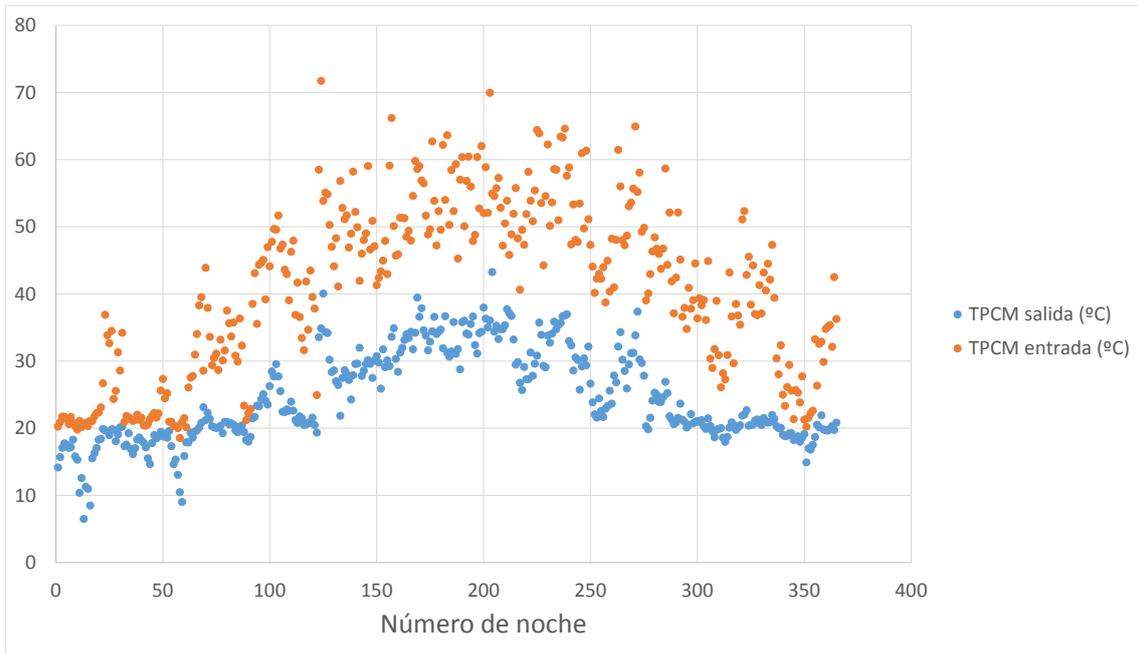
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

Para el grupo de gráficas, con la  $T_{melt}$  impuesta se consigue que en numerosos meses, la temperatura del PCM a la salida alcance dicho valor seleccionado.



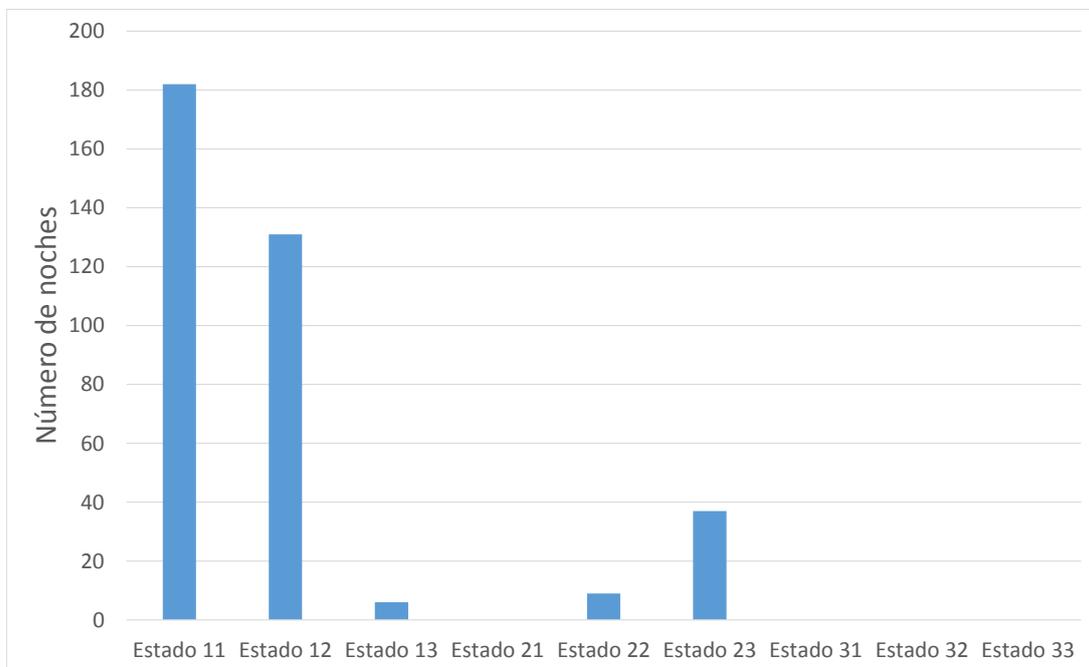
**Figura 157: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.**

No hay cambios en la dispersión de puntos y en el rango de variación, tanto de la temperatura ambiente media como la diferencia de temperaturas DELTAT.



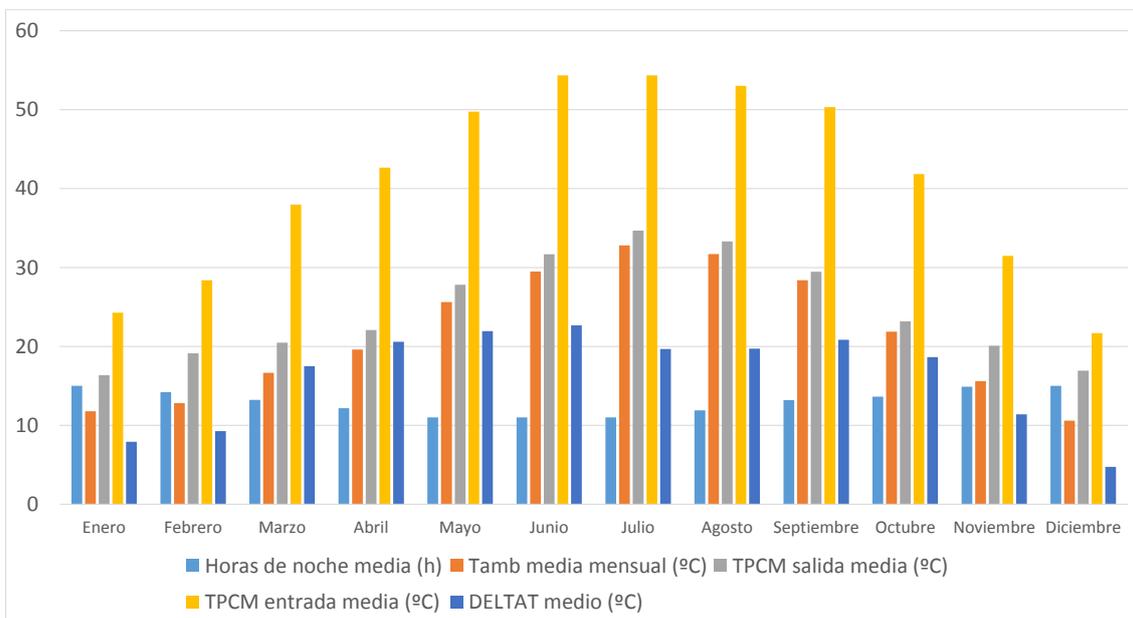
**Figura 158:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Se puede ir apreciando en la figura 158, una cercanía entre los puntos de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y que muchos valores de la temperatura del PCM a la salida se mantienen en los 20 °C de la temperatura de cambio de fase.



**Figura 159:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

Como se dijo para la anterior temperatura de cambio de fase, la predominancia del estado 11 se está viendo reducida, y ahora se producen estados 12, 13, 22 y 23.



**Figura 160:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

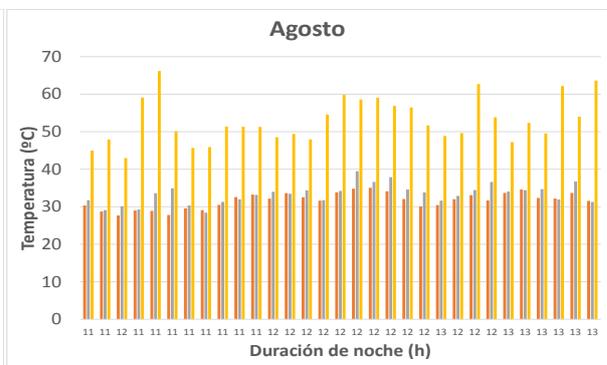
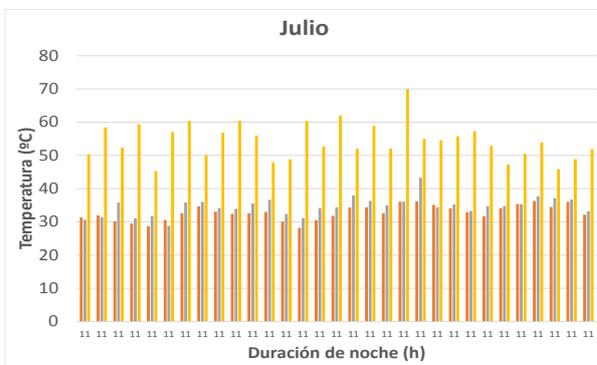
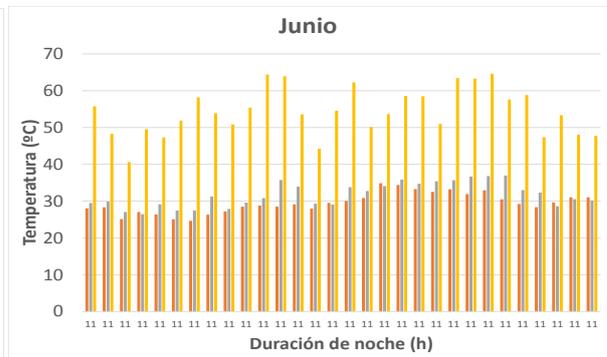
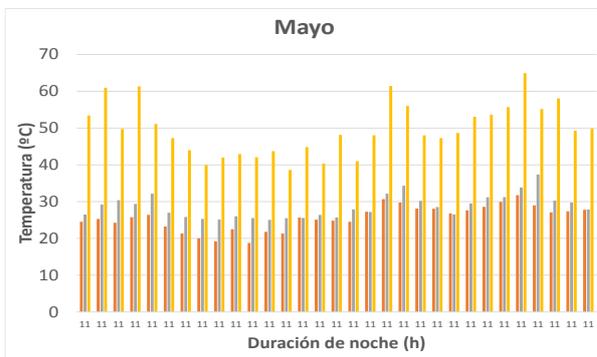
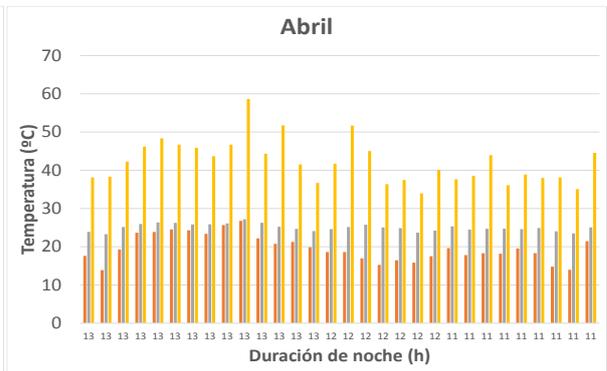
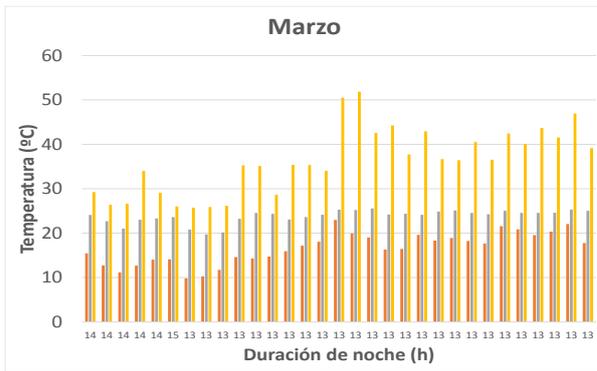
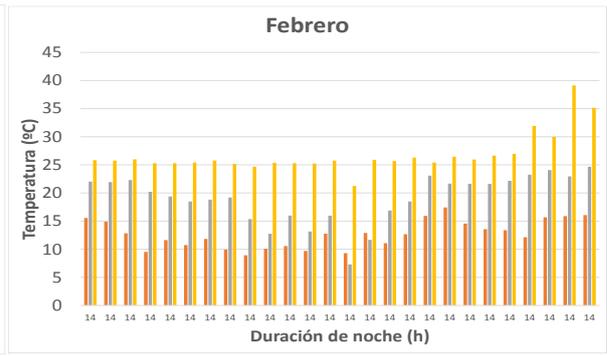
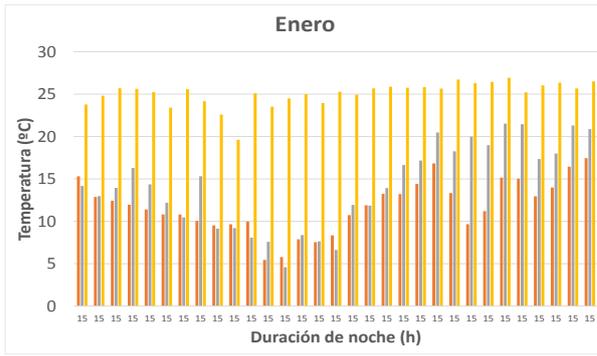
Se puede ver, en la figura 160, que la temperatura media mensual del PCM a la salida en algunos meses es cercana a la  $T_{melt}$  impuesta.

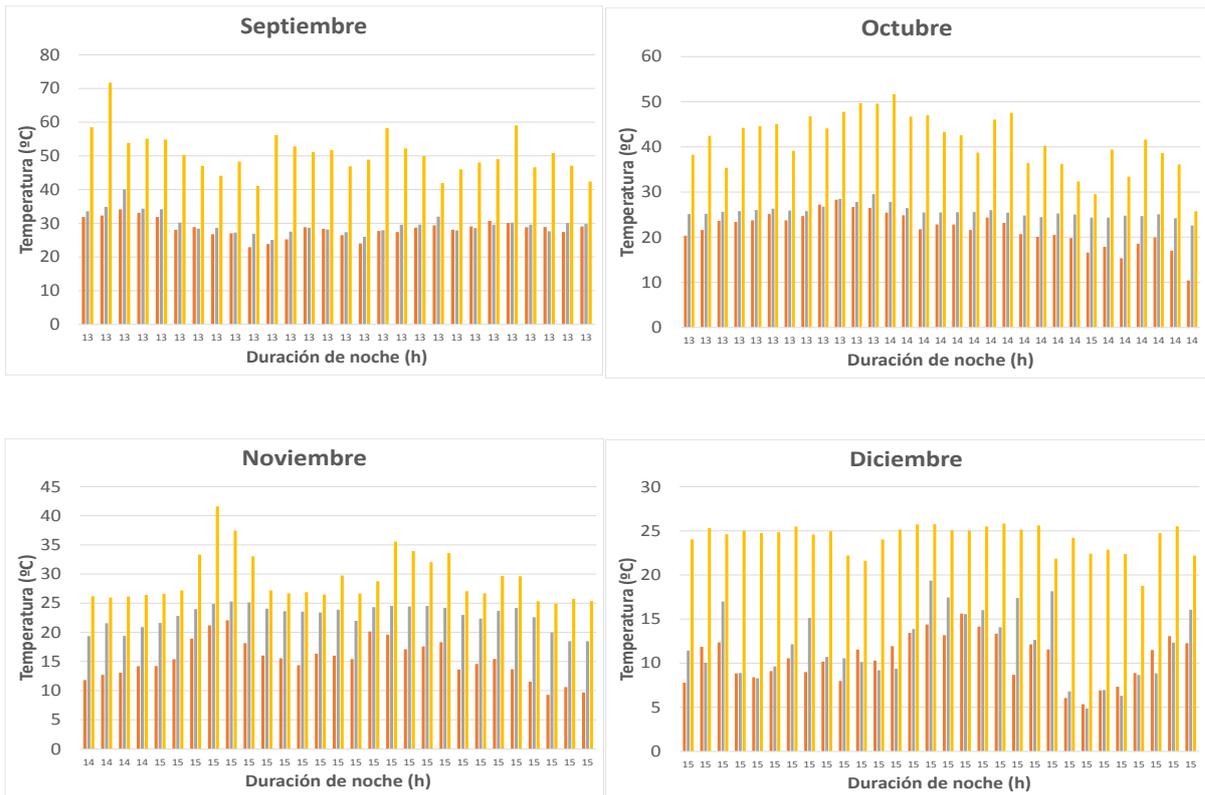
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	16,36	24,28	7,92
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	19,13	28,39	9,26
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	20,48	37,98	17,51
<b>Abril</b>	12,17	19,61	22,07	42,65	20,58
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	27,81	49,74	21,94
<b>Junio</b>	11,00	29,49	31,68	54,36	22,68
<b>Julio</b>	11,00	32,80	34,68	54,35	19,67
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	33,31	53,02	19,71
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	29,47	50,31	20,84
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	23,18	41,83	18,65
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	20,08	31,48	11,40
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	16,94	21,68	4,74

**Tabla 43:** datos promediados para la representación de la figura 160 para una  $T_{melt}$  de 20 °C.

En la tabla 43, se puede apreciar de mejor manera esta cercanía comentada para la figura anterior para el valor de la temperatura media mensual del PCM a la salida.

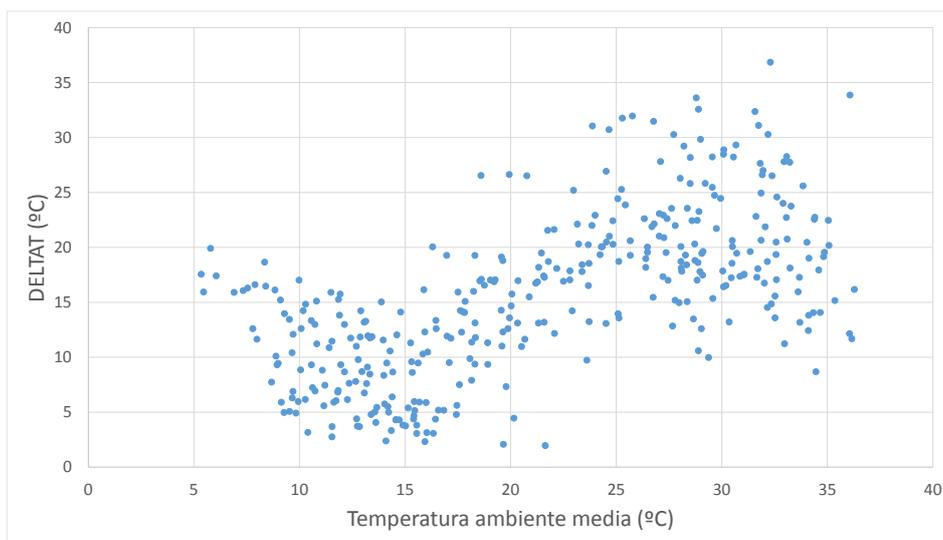
$T_{melt} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$





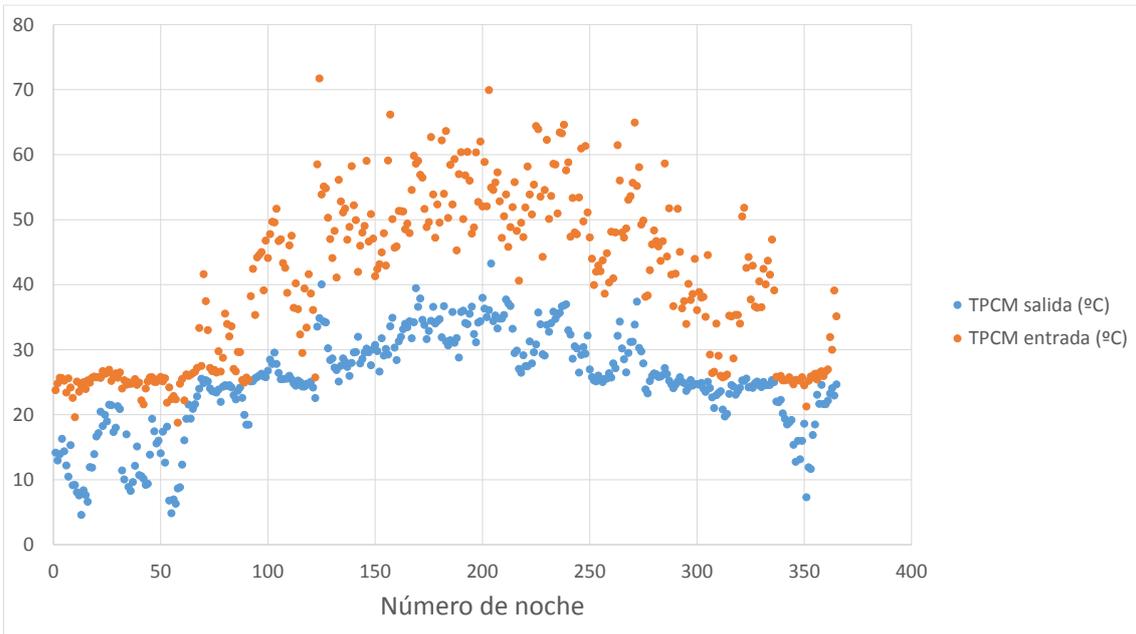
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

Para los meses iniciales, la temperatura del PCM a la entrada alcanza la  $T_{melt}$  impuesta, mientras que para otros meses, es la temperatura del PCM a la salida la que alcanza la temperatura de cambio de fase.



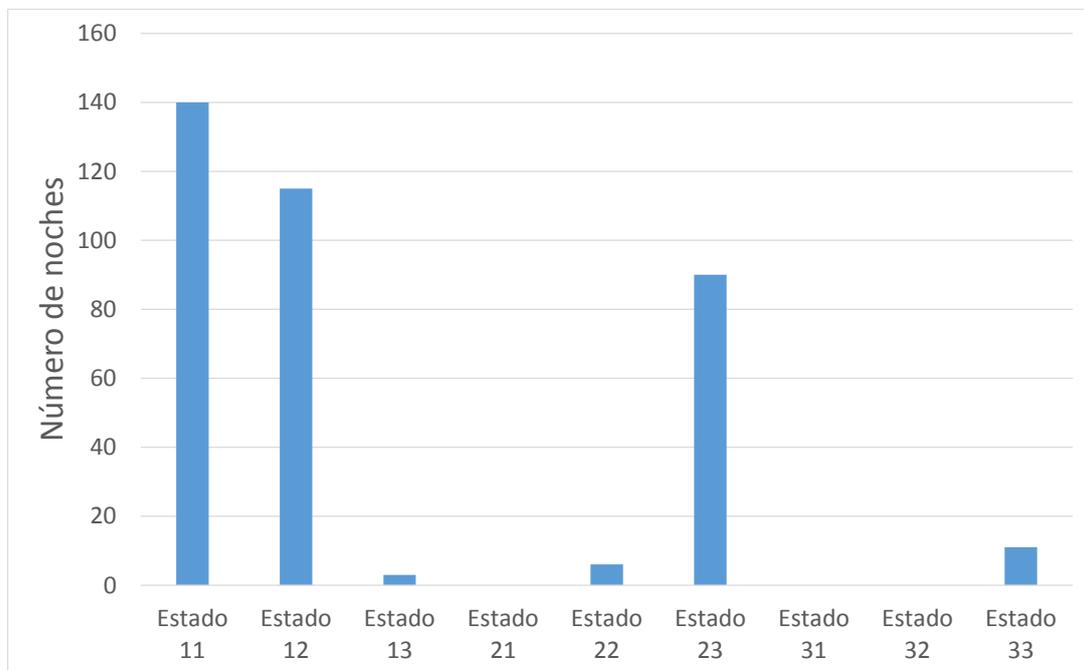
**Figura 161: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.**

En la figura 161, el valor de la temperatura ambiente media se mueve entre los valores de 5 °C a 37 °C, mientras que los valores de DELTAT varían en el rango de 0 °C a 37 °C.



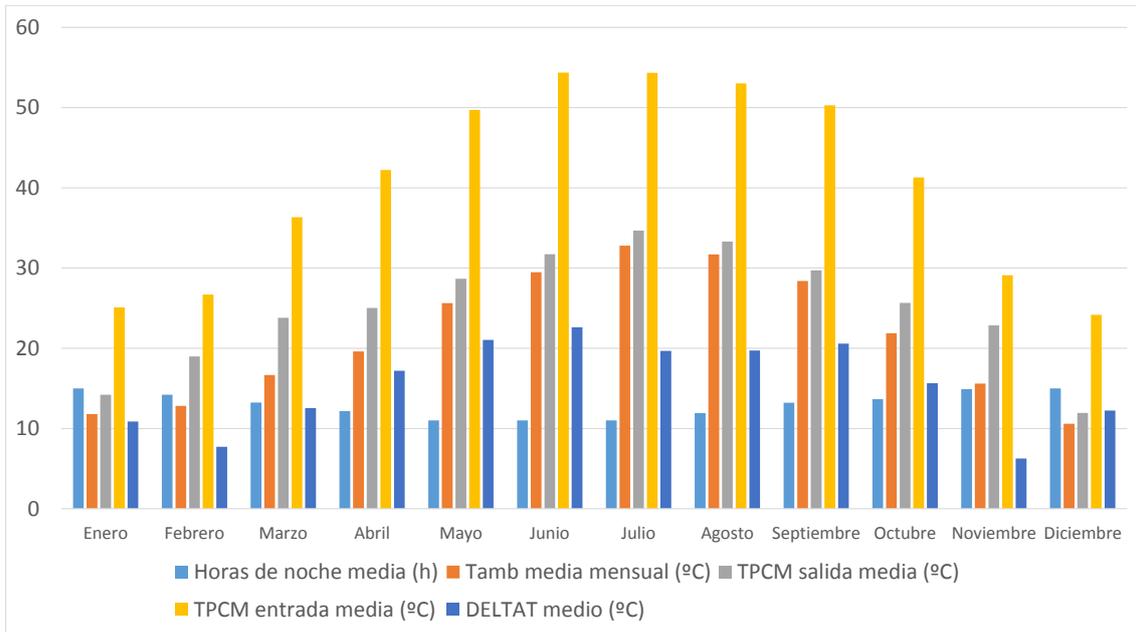
**Figura 162:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Para una  $T_{melt}$  de 25 °C, se puede observar en la figura 162 que tanto la temperatura del PCM a la entrada como a la salida, y para los meses iniciales y finales, se mantienen constante a dicho valor impuesto.



**Figura 163:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

Comienzan a surgir nuevos estados en los que se mueve el PCM, como el 33, y la predominancia de del estado 12 y 23 comienzan a igualar al 11.



**Figura 164:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

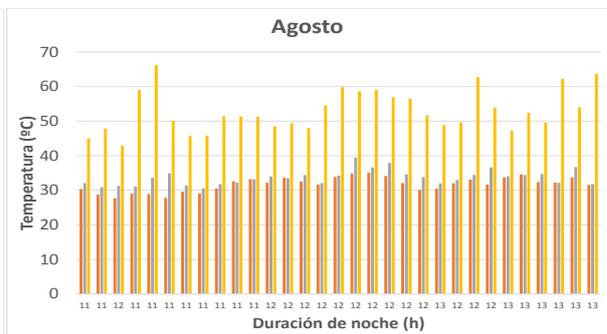
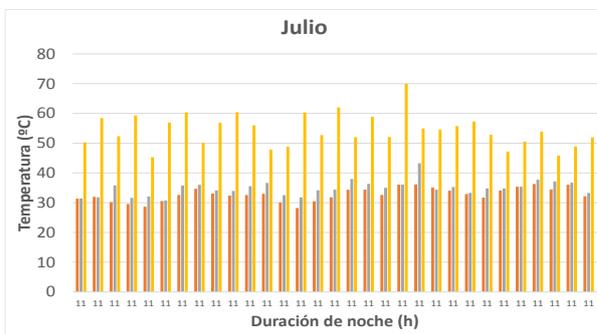
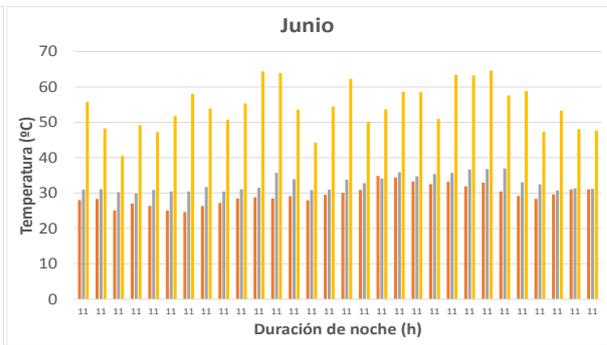
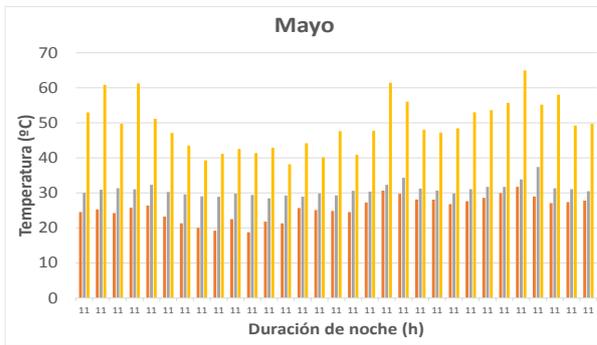
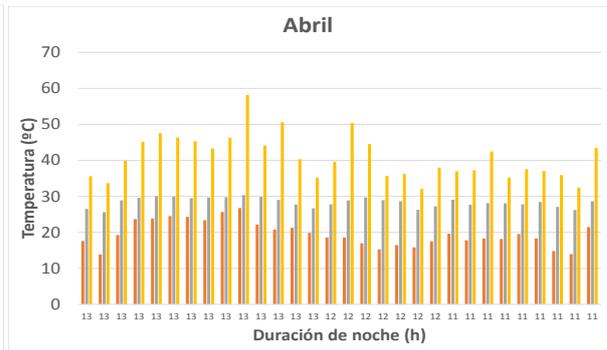
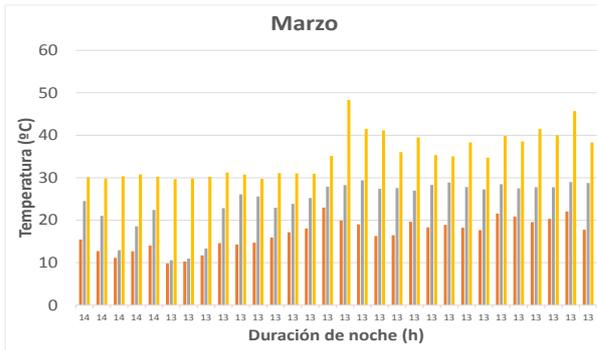
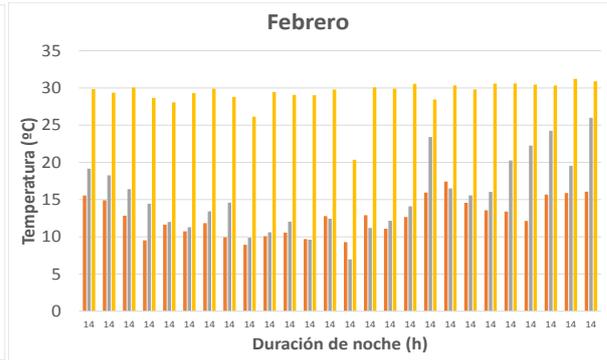
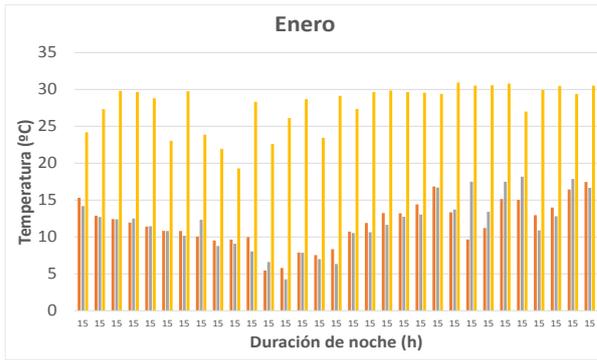
Se aprecia en la figura 164, que algunas temperaturas medias mensuales del PCM a la salida alcanzan los 25 °C impuestos, y para algunos meses la temperatura media mensual del PCM a la entrada también alcanza dicho valor, pero en menor medida.

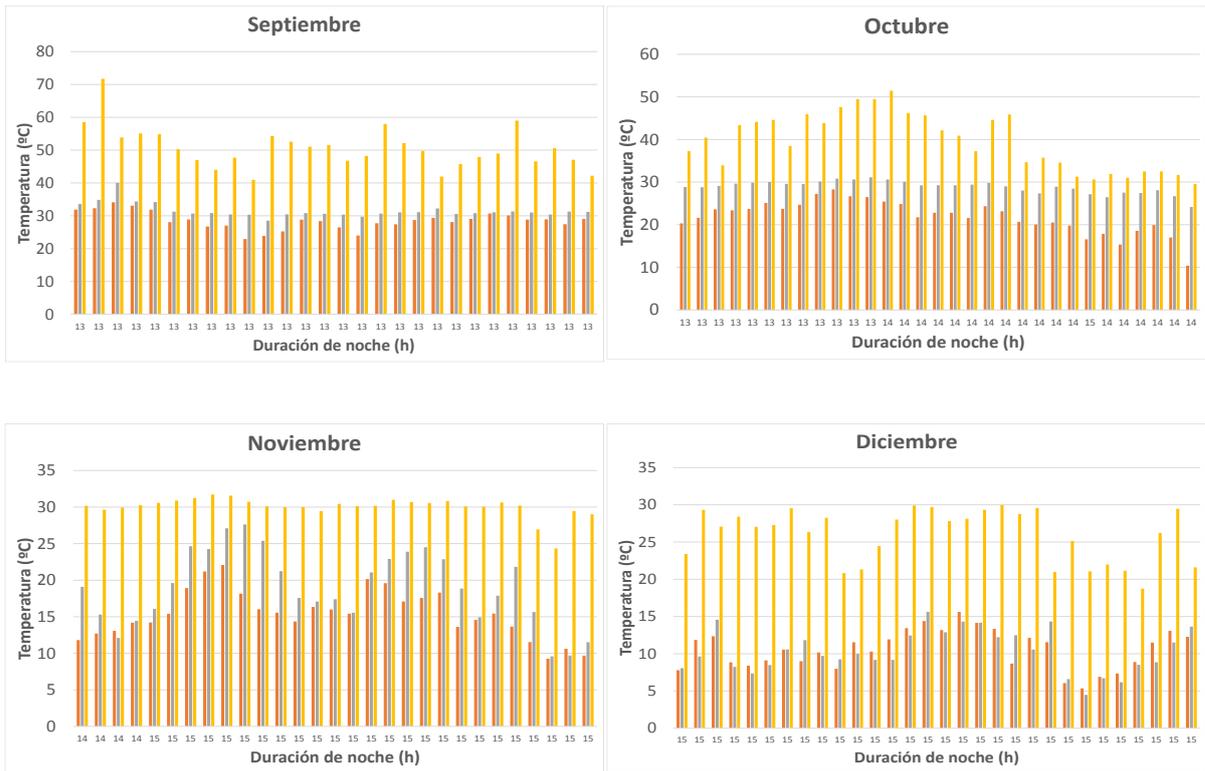
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	14,22	25,09	10,87
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	18,97	26,69	7,72
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	23,81	36,35	12,54
<b>Abril</b>	12,17	19,61	25,02	42,21	17,19
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	28,66	49,70	21,04
<b>Junio</b>	11,00	29,49	31,73	54,36	22,63
<b>Julio</b>	11,00	32,80	34,68	54,35	19,67
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	33,31	53,02	19,71
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	29,70	50,28	20,58
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	25,66	41,30	15,64
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	22,86	29,11	6,25
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	11,93	24,17	12,24

**Tabla 44:** datos promediados para la representación de la figura 164 para una  $T_{melt}$  de 25 °C.

En la tabla 44 se puede ver lo comentado en la figura 164, en la que los valores de la temperatura media mensual del PCM a la entrada alcanzan la  $T_{melt}$  impuesta pero solo en los meses iniciales y en los finales.

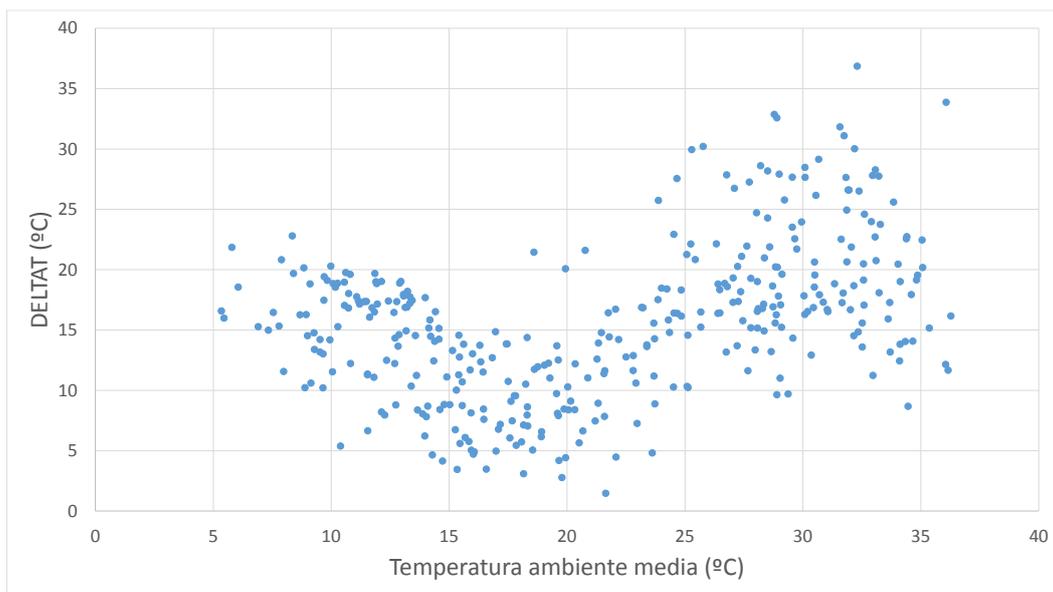
$T_{melt} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$





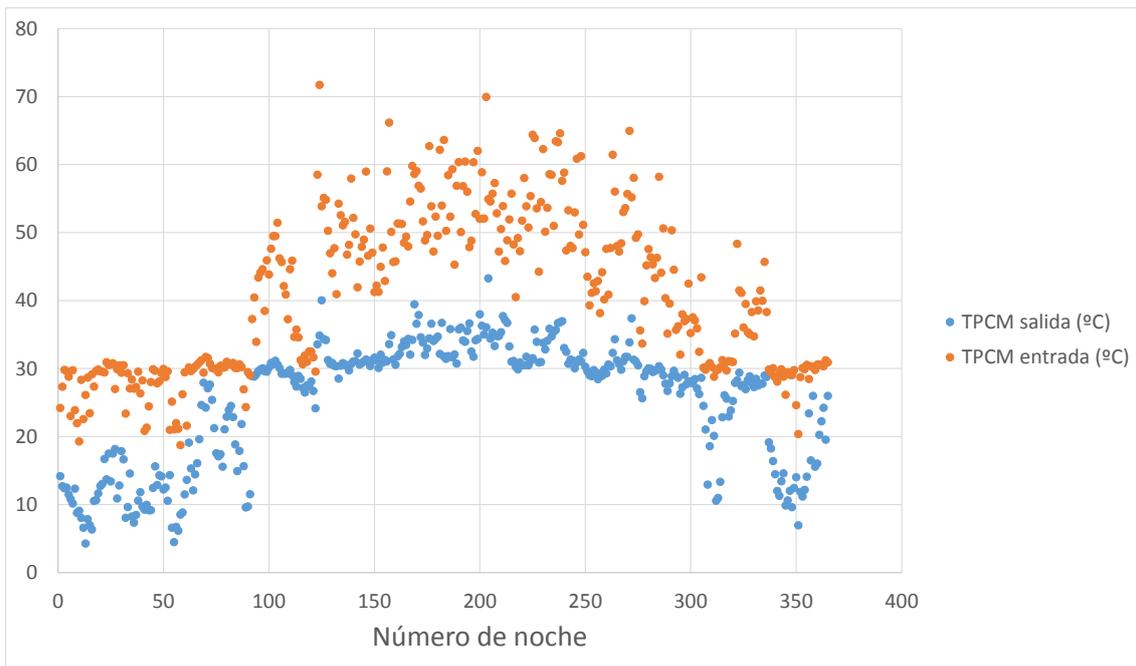
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

Para el grupo de gráficas, las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida alcanzan el valor de la  $T_{melt}$  impuesto, pero en diferentes meses y en distintos momentos del año.



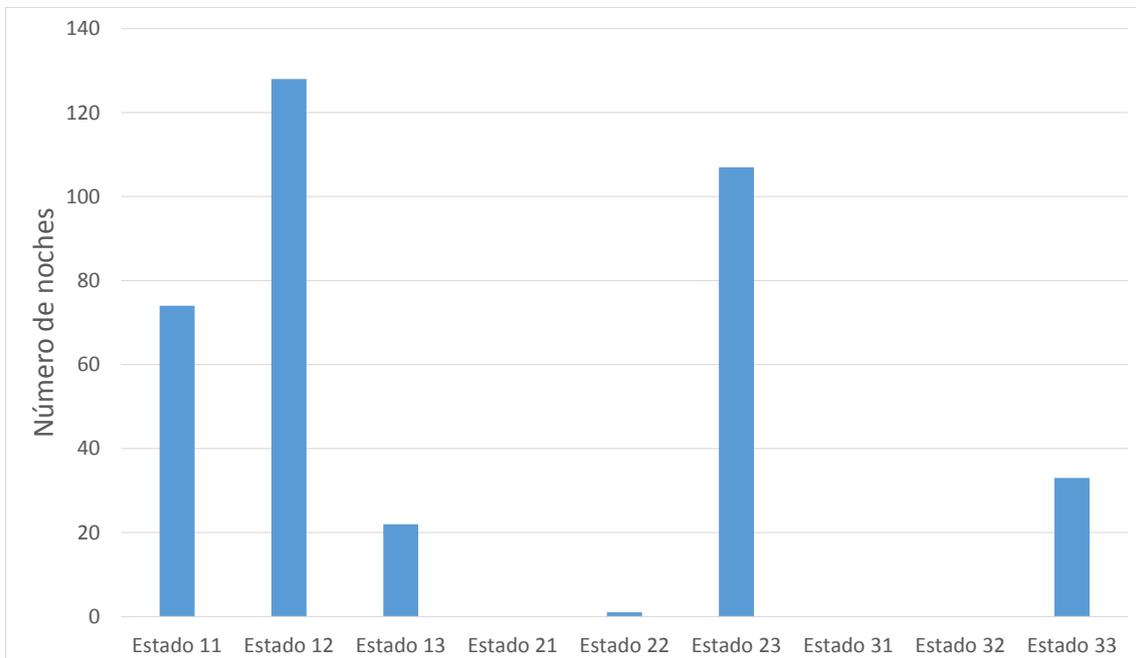
**Figura 165: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELTA T) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.**

No se ve una variación del rango de temperaturas ambientes medias o DELTAT.



**Figura 166:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

En la figura 166, se respalda lo comentado en el grupo de gráficas, donde se ve que la temperatura melt impuesta es alcanzada por las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida en diferentes meses del año, pero nunca a la vez.



**Figura 167:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

Ahora la predominancia la tienen el estado 12 y 23 durante la gran mayoría de las noches del año.

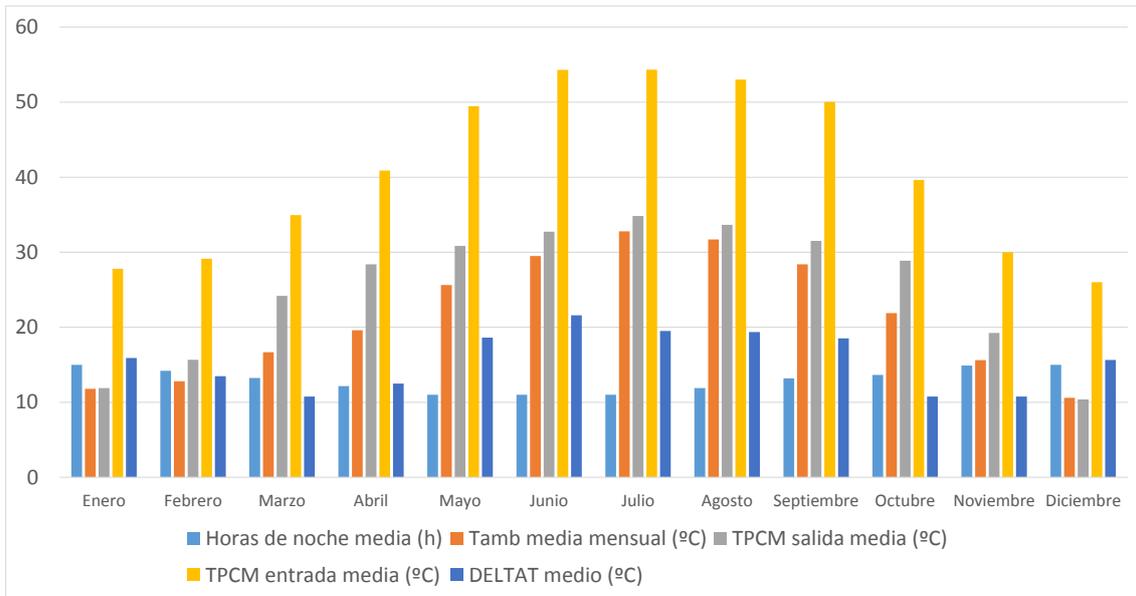


Figura 168: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

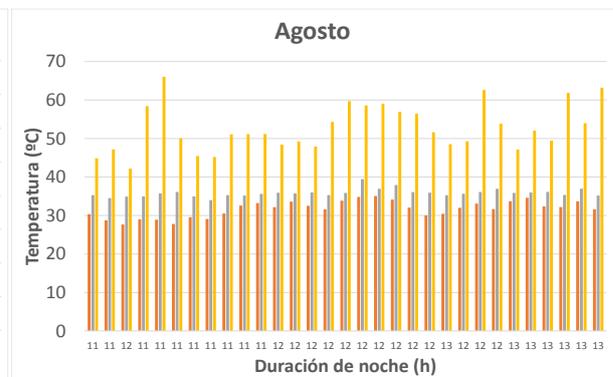
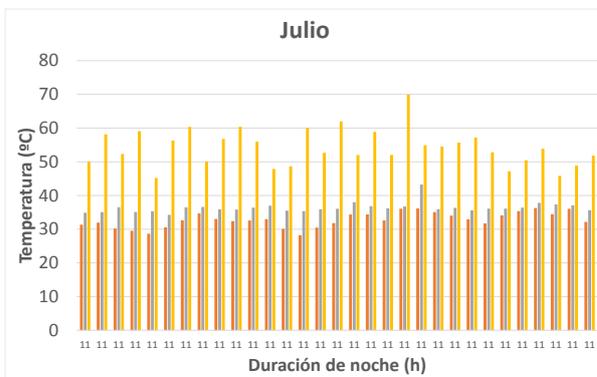
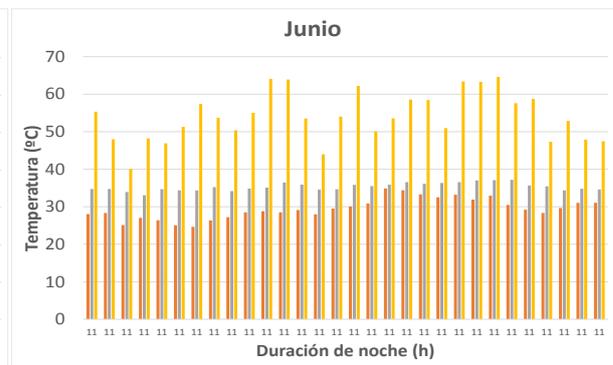
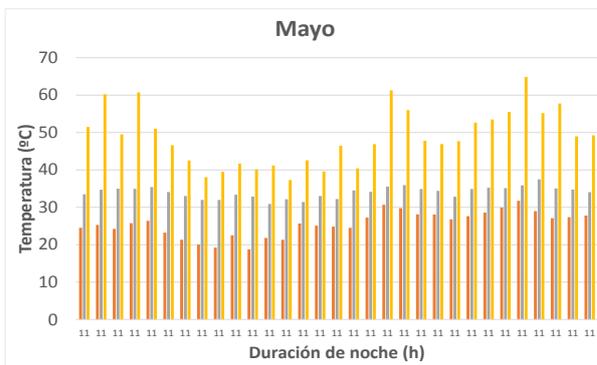
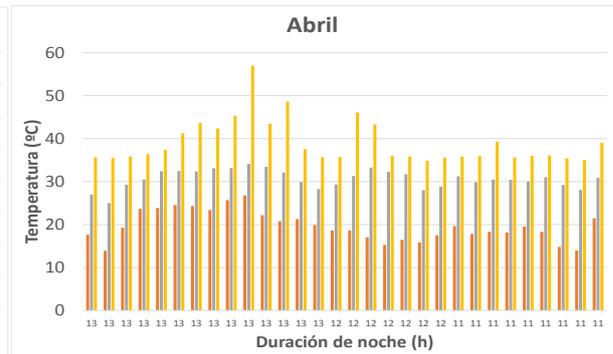
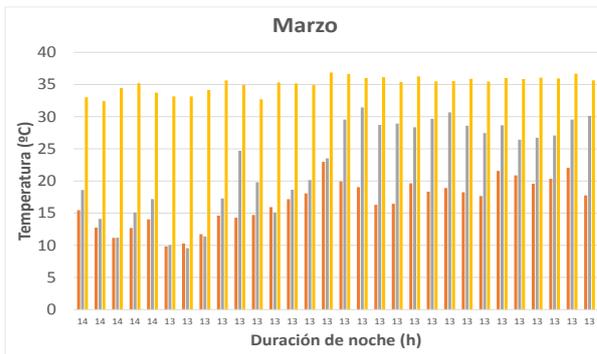
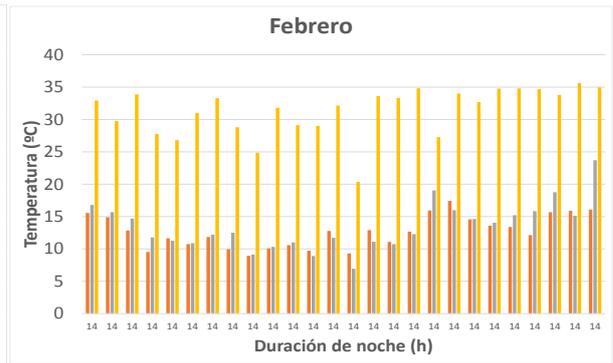
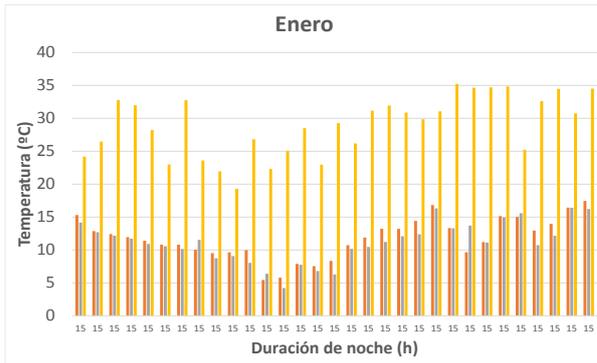
Se puede apreciar en la figura 168 que en los meses iniciales y finales del año, la temperatura media mensual del PCM a la entrada está cercana a la  $T_{melt}$  impuesta, y para los meses centrales, es la temperatura media mensual del PCM a la salida la que alcanza dicha temperatura impuesta.

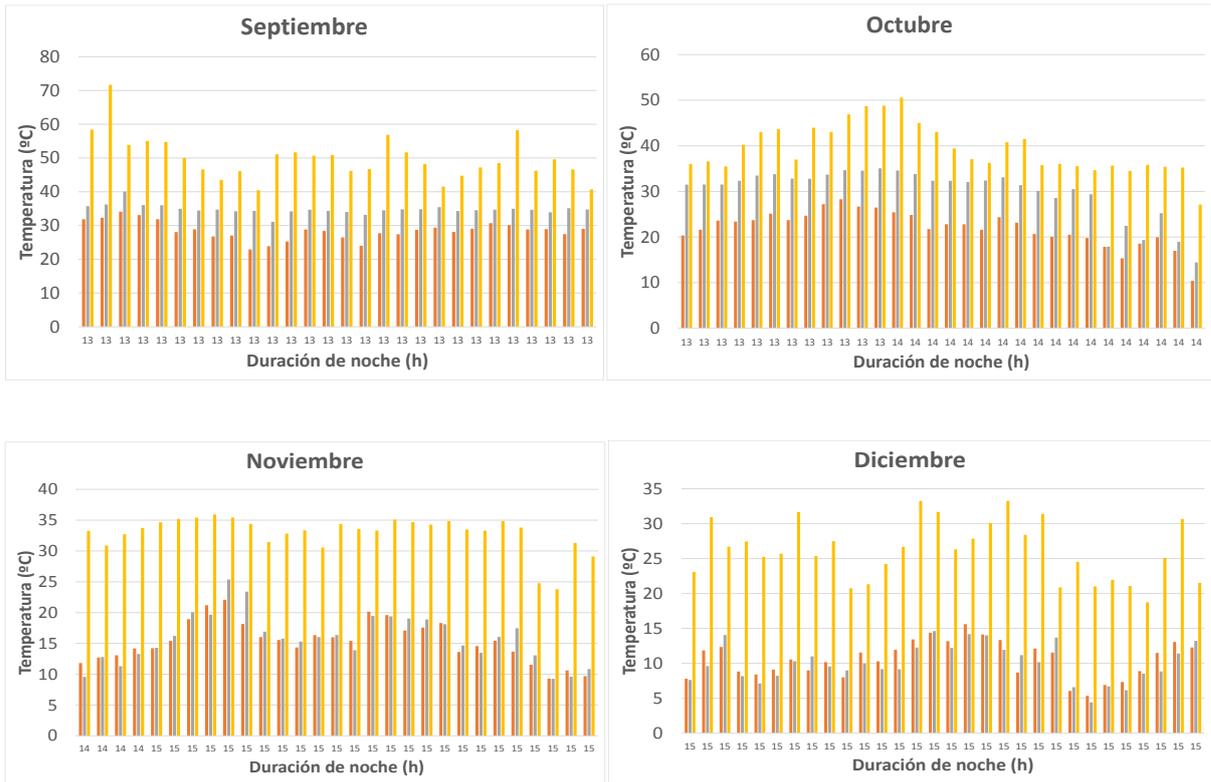
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	11,88	27,79	15,91
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	15,66	29,13	13,47
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	24,20	34,96	10,76
<b>Abril</b>	12,17	19,61	28,40	40,88	12,48
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	30,84	49,45	18,61
<b>Junio</b>	11,00	29,49	32,73	54,32	21,58
<b>Julio</b>	11,00	32,80	34,83	54,34	19,51
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	33,65	53,01	19,36
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	31,51	50,02	18,51
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	28,88	39,64	10,76
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	19,25	30,01	10,75
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	10,38	26,02	15,64

Tabla 45: datos promediados para la representación de la figura 168 para una  $T_{melt}$  de 30 °C.

En la tabla 45 se puede ver lo que se ha comentado anteriormente en la figura 168, donde la temperatura media mensual del PCM a la salida alcanza, en mayor medida, la temperatura melt seleccionada.

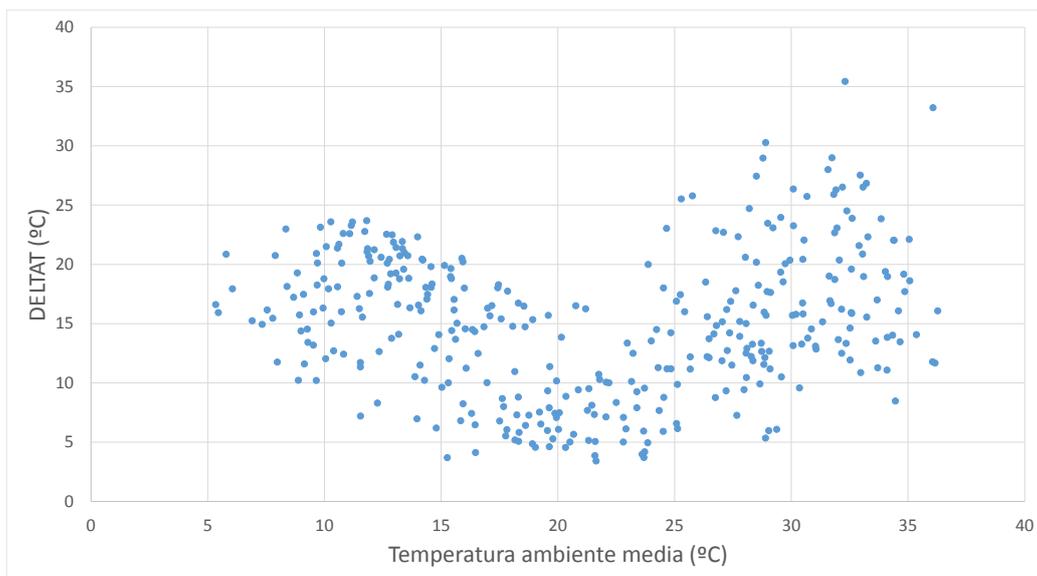
$T_{melt} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$





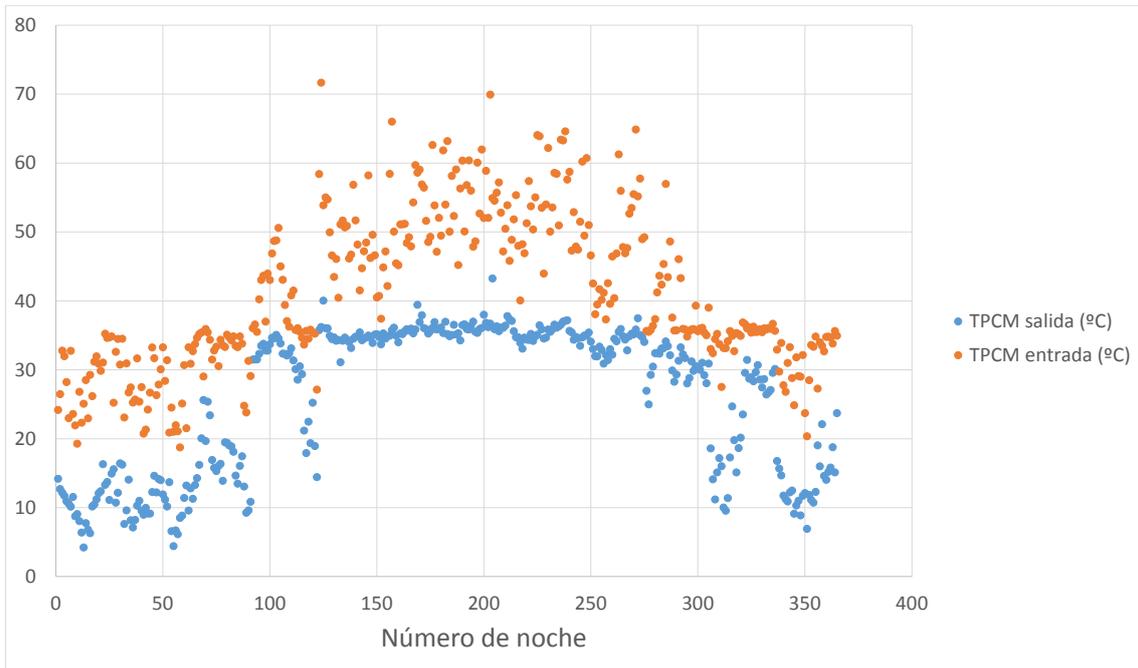
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.**

Se aprecia en el grupo de gráficas, el mismo comportamiento de las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida que para la temperatura melt anterior.



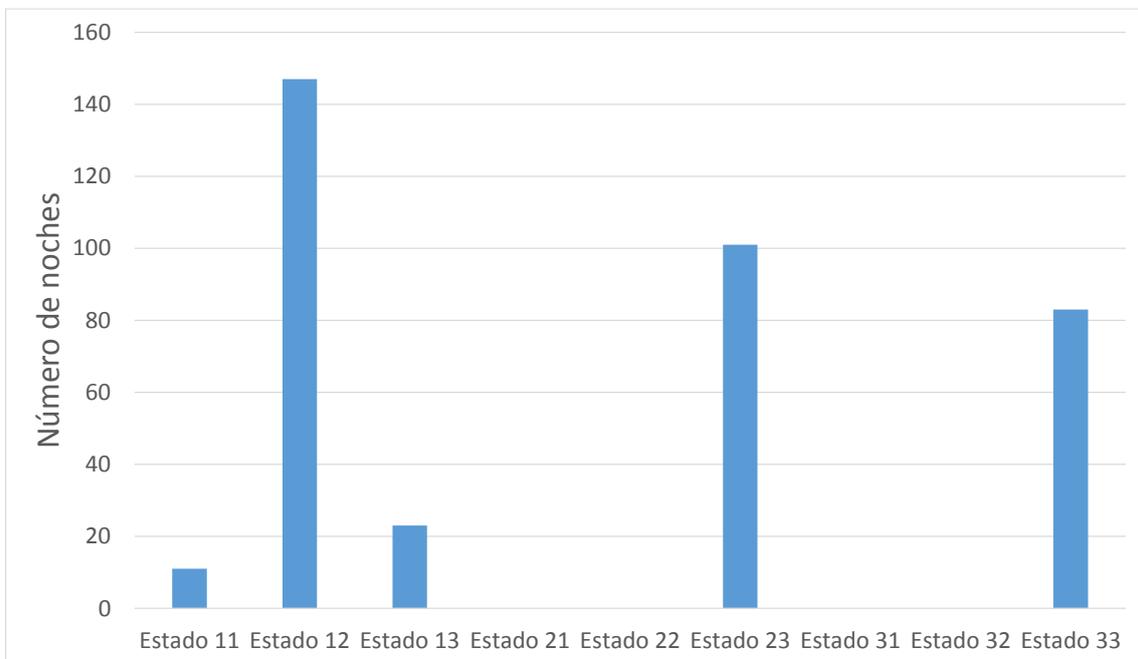
**Figura 169:** representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

No ha variado nada en cuanto al rango de valores de la temperatura ambiente media o DELTAT, como se muestra en la figura 169.



**Figura 170:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Como se muestra en la figura 170, los valores de la temperatura del PCM a la entrada y a la salida se acercan en los meses y se mantienen constantes en la temperatura melt impuesta.



**Figura 171:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Se ve en la figura 171, que los estados 23 y 33 se están igualando y que el estado 12 ya no es tan dominante a lo largo del año.

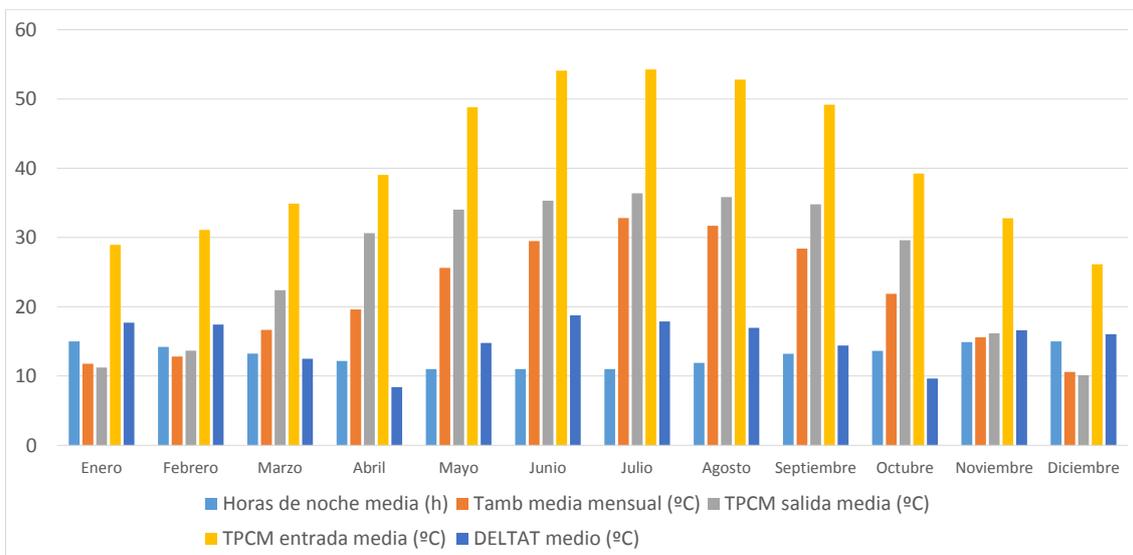


Figura 172: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

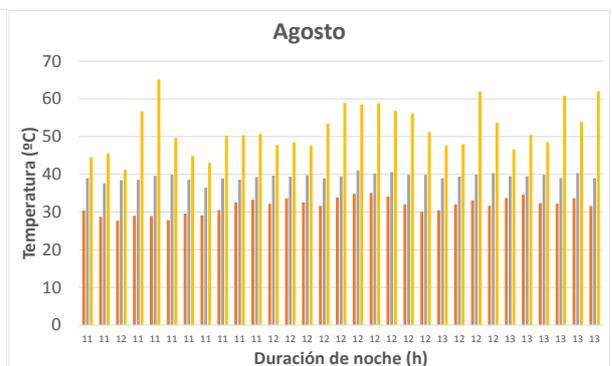
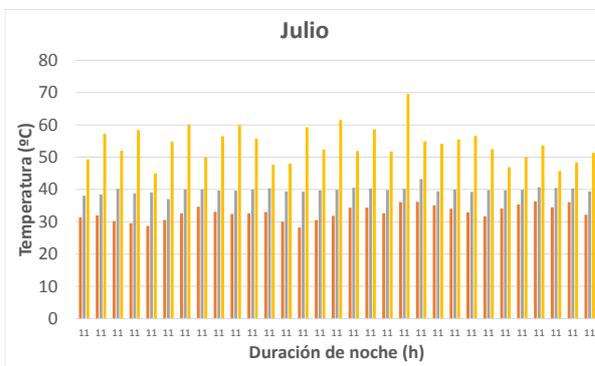
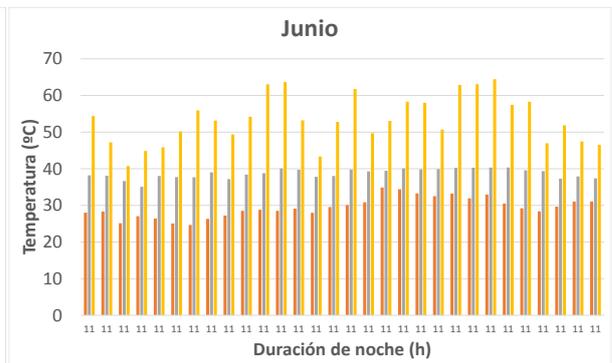
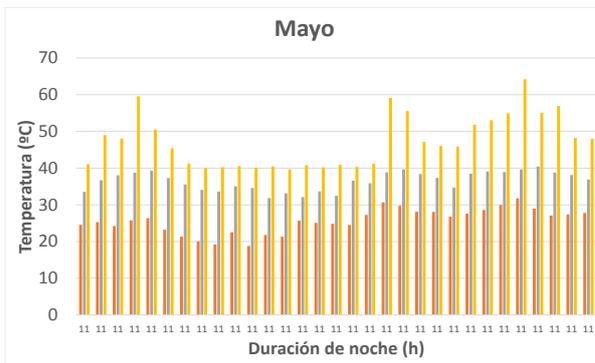
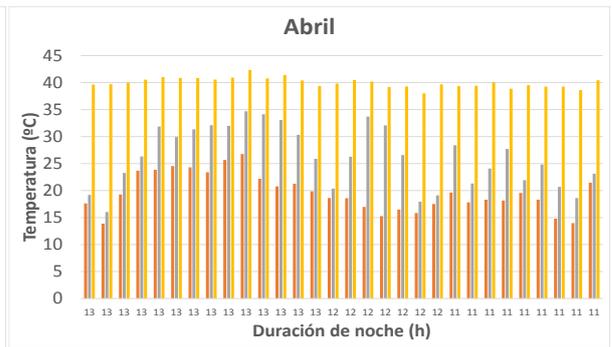
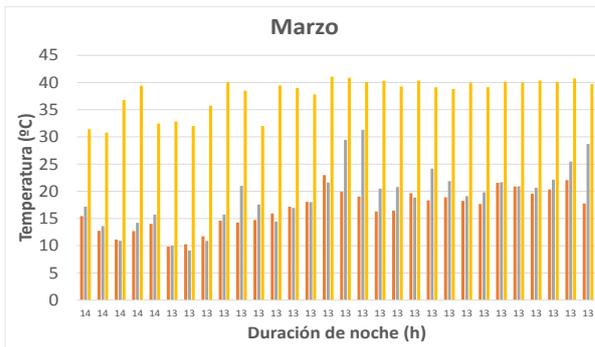
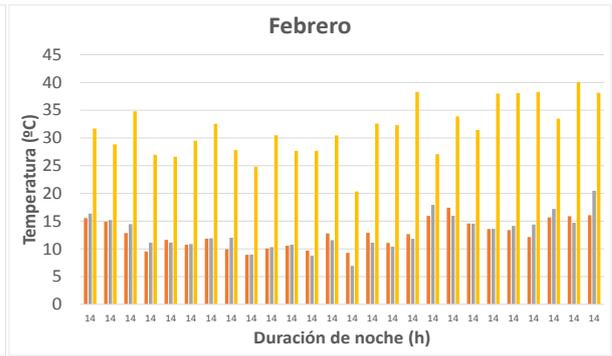
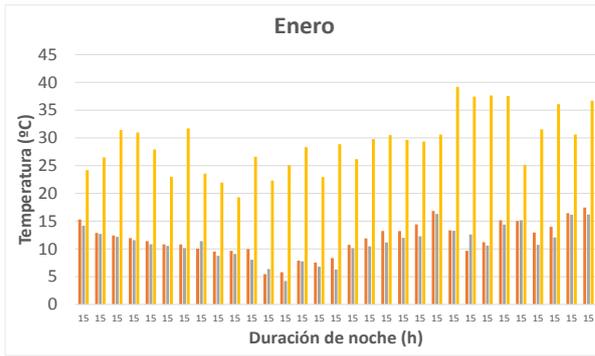
Se puede ver en la figura 172, que la temperatura media mensual del PCM a la salida alcanza la  $T_{melt}$  impuesta en los meses intermedios, mientras que la temperatura median mensual del PCM a la entrada lo hace en los meses iniciales y la sobrepasa en los intermedios.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	11,23	28,94	17,71
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	13,66	31,09	17,42
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	22,40	34,88	12,49
<b>Abril</b>	12,17	19,61	30,63	39,04	8,41
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	34,04	48,81	14,77
<b>Junio</b>	11,00	29,49	35,32	54,09	18,77
<b>Julio</b>	11,00	32,80	36,37	54,26	17,89
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	35,84	52,80	16,96
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	34,79	49,18	14,39
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	29,60	39,24	9,64
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	16,17	32,78	16,61
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	10,10	26,15	16,05

Tabla 46: datos promediados para la representación de la figura 172 para una  $T_{melt}$  de 35 °C.

Como se ve en la tabla 46, muchos de los valores cercanos a la  $T_{melt}$  seleccionada corresponden a la temperatura media mensual del PCM a la salida.

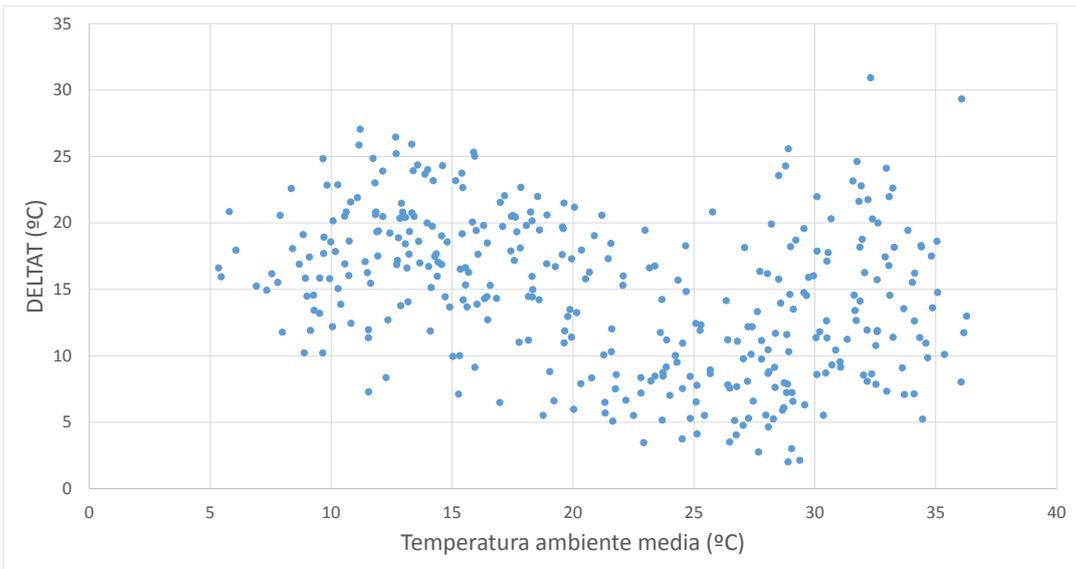
$T_{melt} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$





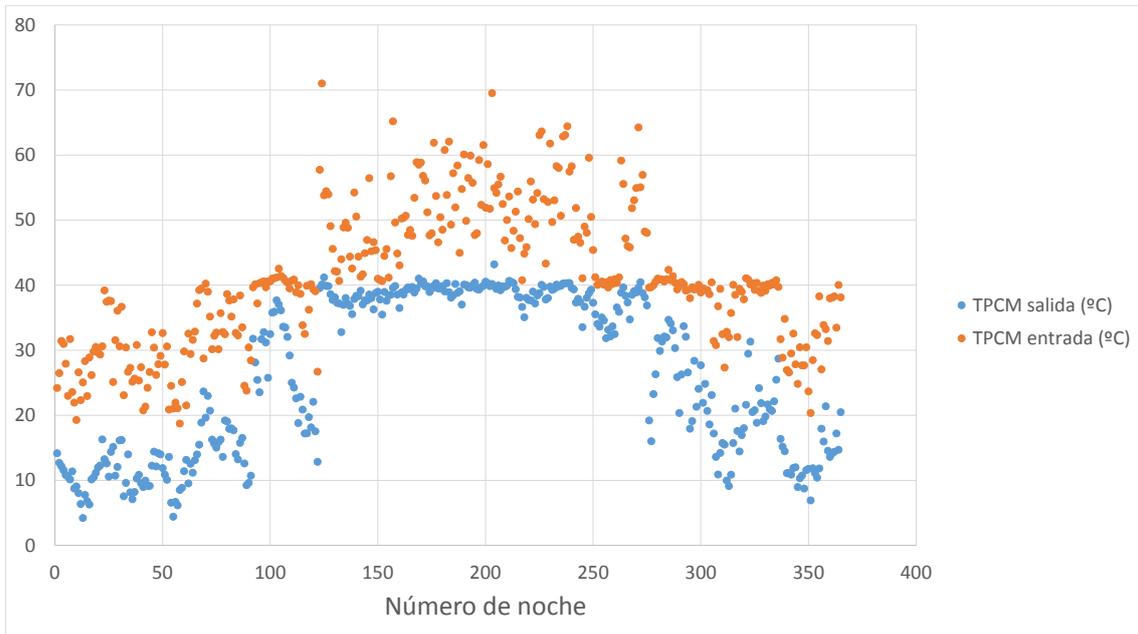
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Se repite el comportamiento de valores de temperaturas para una  $T_{melt}$  de 40 °C, como se ha visto en los grupos de gráficas de temperaturas anteriores.



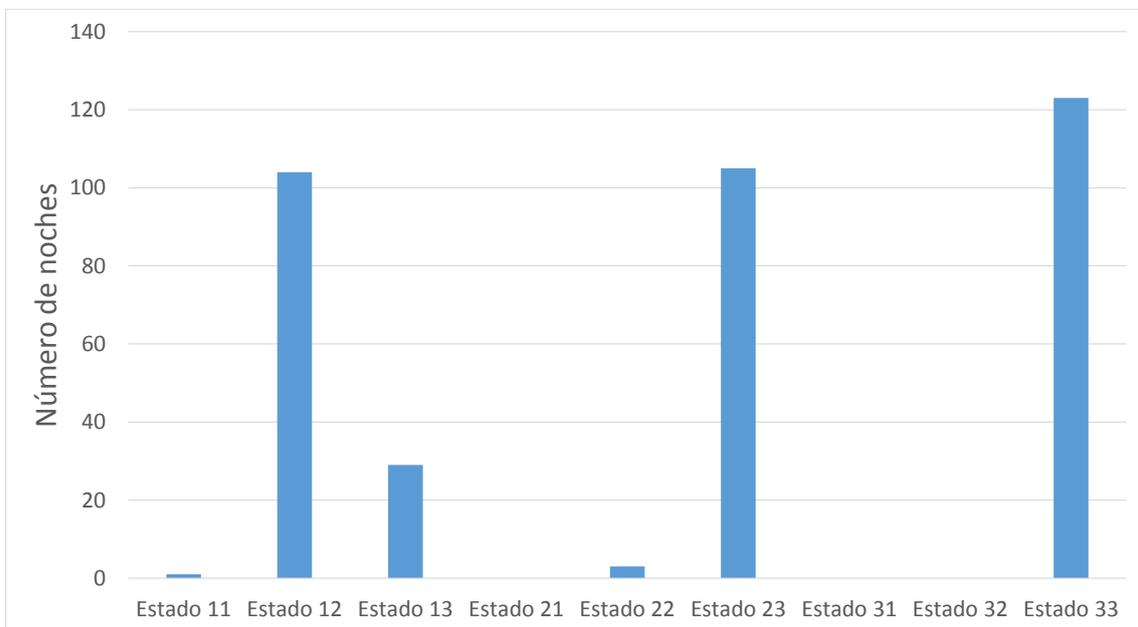
**Figura 173: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.**

Los valores de DELTAT varían entre valores de 3 °C a 31 °C, aproximadamente, para el mismo rango de valores de la temperatura ambiente media.



**Figura 174:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Se puede ver, en la figura 174, que las temperaturas del PCM a la entrada y a la salida tienen mucha diferencia en los primeros y últimos meses, mientras que en el resto de meses, ambas temperaturas se mantienen constantes y en el valor de la  $T_{melt}$  impuesta.



**Figura 175:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

La predominancia de los estados para esta  $T_{melt}$  es el 12, el 23 y el 33, este último característico en altas temperaturas de cambio de fase.

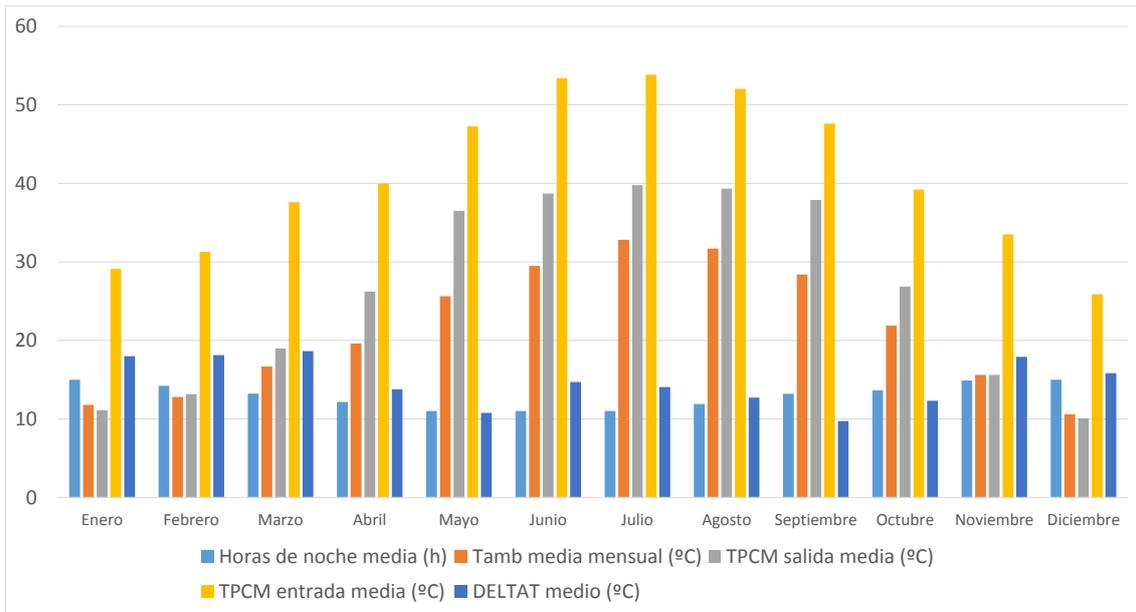


Figura 176: representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

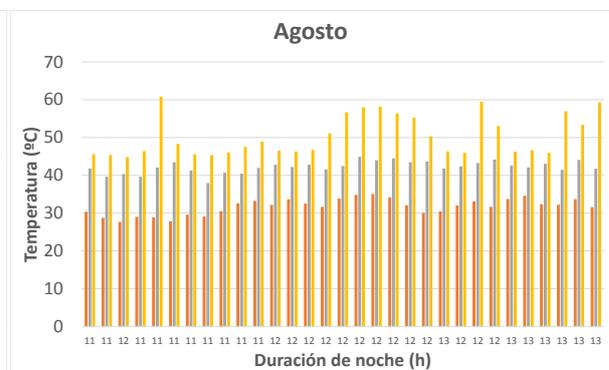
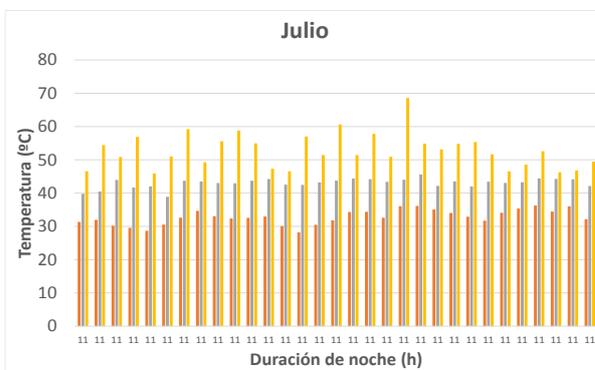
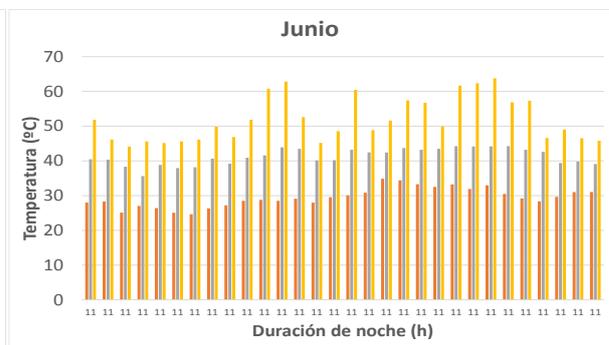
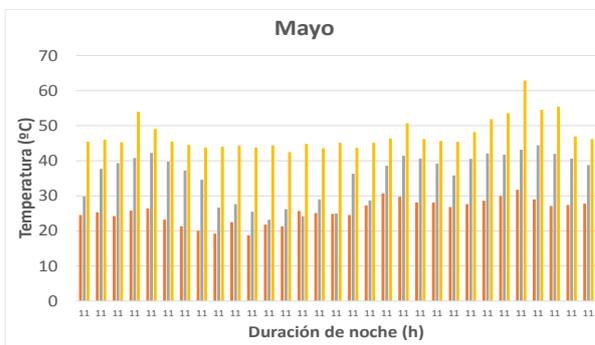
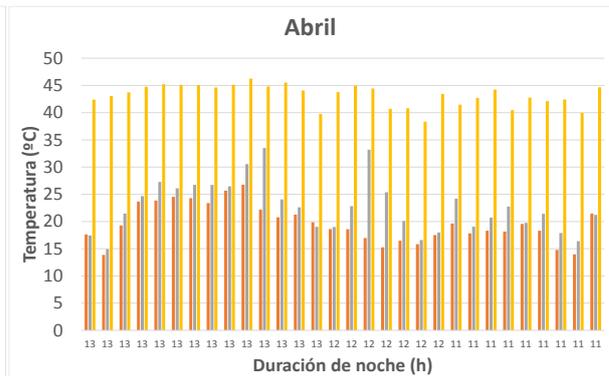
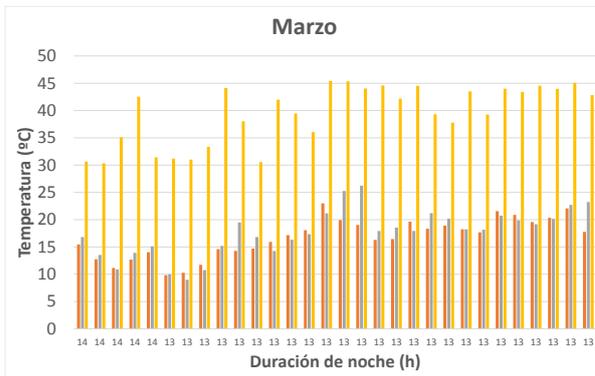
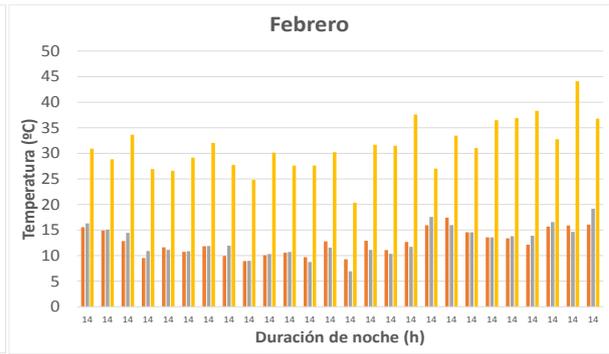
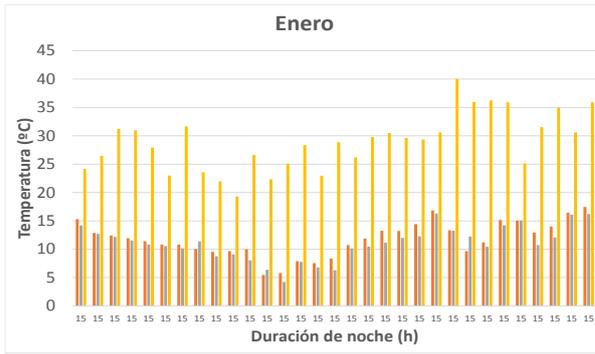
Muy pocos meses se consigue que alguna de las temperaturas de interés alcancen la  $T_{melt}$  seleccionada, como se muestra en la figura 176.

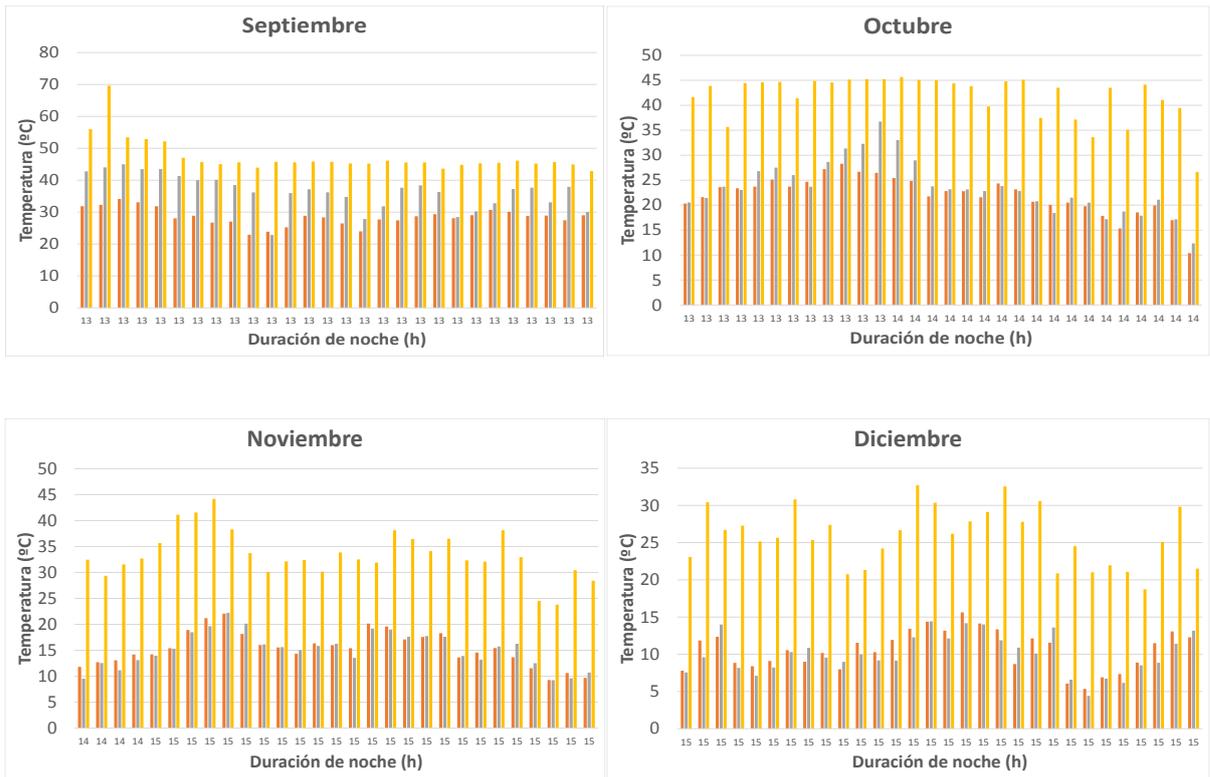
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	11,11	29,11	18,01
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	13,16	31,28	18,12
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	18,97	37,60	18,63
<b>Abril</b>	12,17	19,61	26,23	39,99	13,76
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	36,50	47,26	10,77
<b>Junio</b>	11,00	29,49	38,72	53,41	14,69
<b>Julio</b>	11,00	32,80	39,76	53,83	14,07
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	39,33	52,03	12,71
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	37,89	47,63	9,73
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	26,87	39,19	12,32
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	15,60	33,50	17,90
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	10,06	25,89	15,83

Tabla 47: datos promediados para la representación de la figura 176 para una  $T_{melt}$  de 40 °C.

Lo anterior se refleja en la tabla 47, donde se puede ver que en la mayoría de los meses, la temperatura media mensual del PCM a salida se aproxima a la temperatura de cambio de fase impuesta.

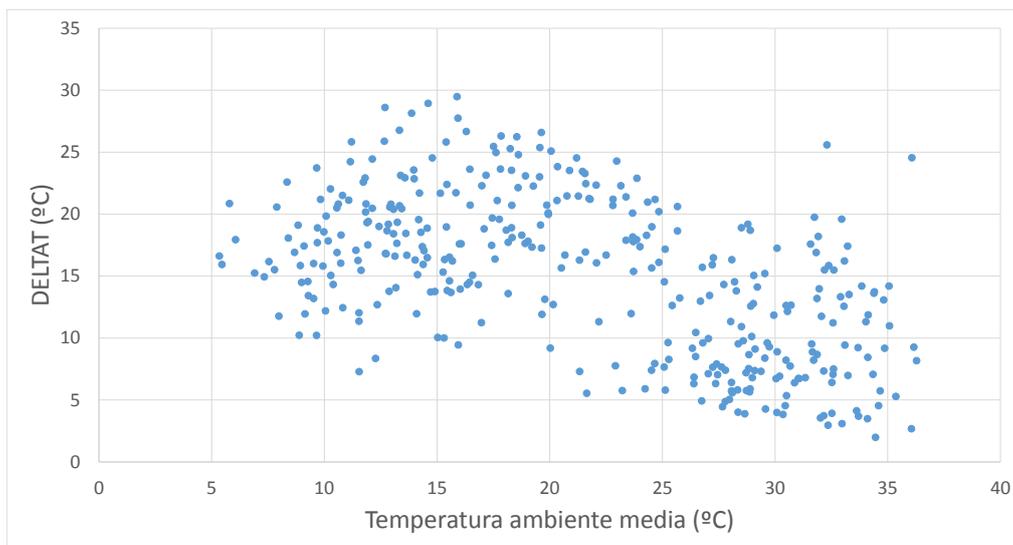
$T_{melt} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$





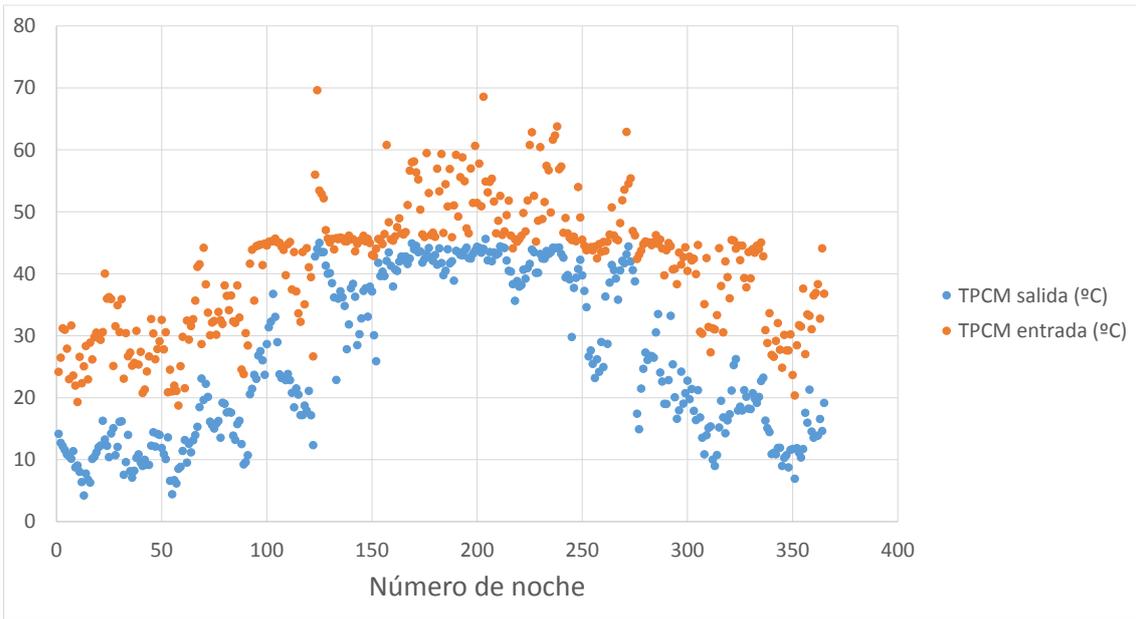
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

Para el grupo de gráficas y esta  $T_{melt}$ , solo la temperatura del PCM a la entrada es la que se ve afectada, como viene siendo característico cuando se impone una  $T_{melt}$  muy elevada.



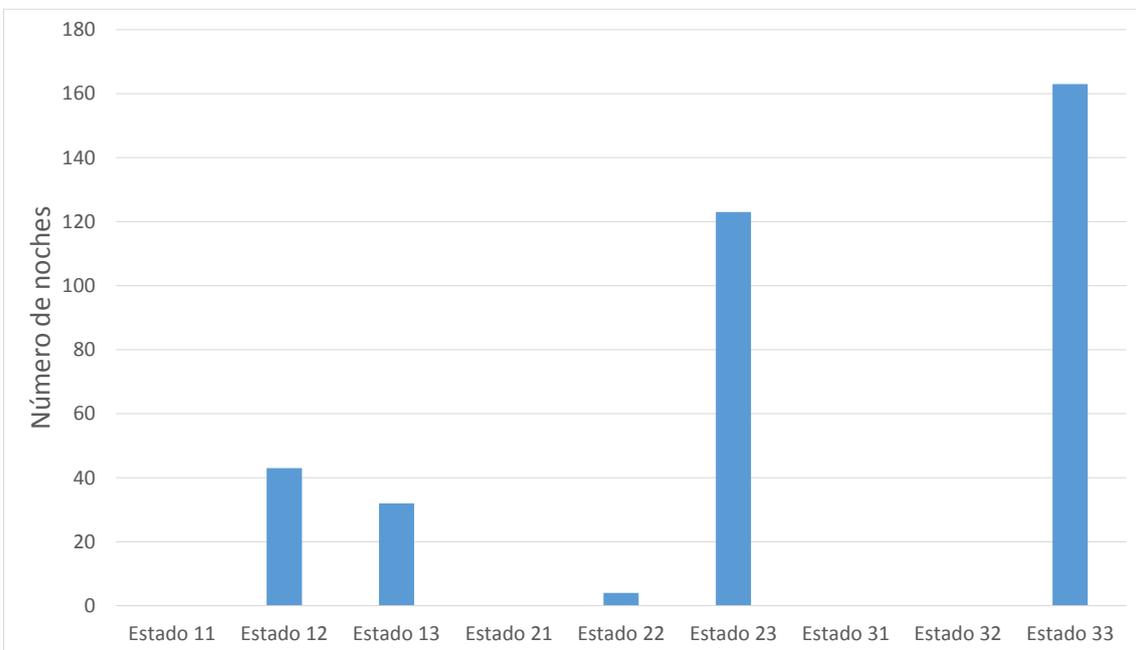
**Figura 177: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.**

La dispersión de puntos ha cambiado en la distribución, pero los valores entre los que varía DELTAT y la temperatura ambiente media son parecidos a los que se han visto anteriormente.



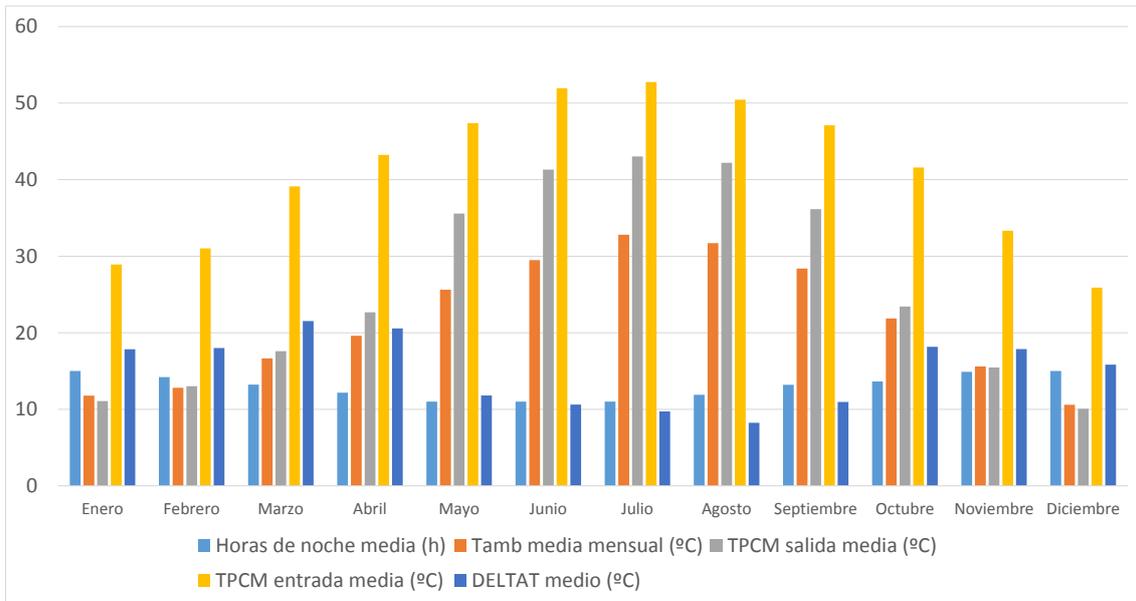
**Figura 178:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Las temperaturas de interés tienen muchas más lejanía entre ellas, como se muestra en la figura 178, con el añadido de que en pocos meses centrales se alcanza la  $T_{melt}$  impuesta.



**Figura 179:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

Se va viendo la predominancia del estado 33 a medida que se va aumentando la temperatura de cambio de fase.



**Figura 180:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

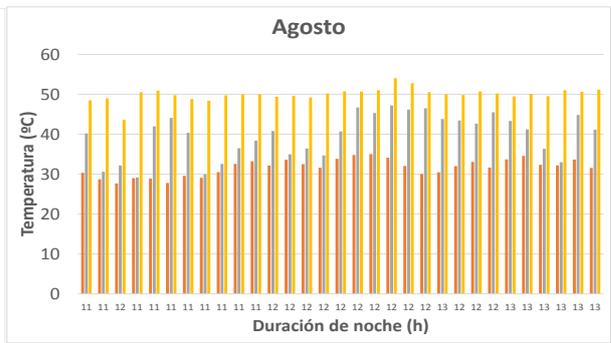
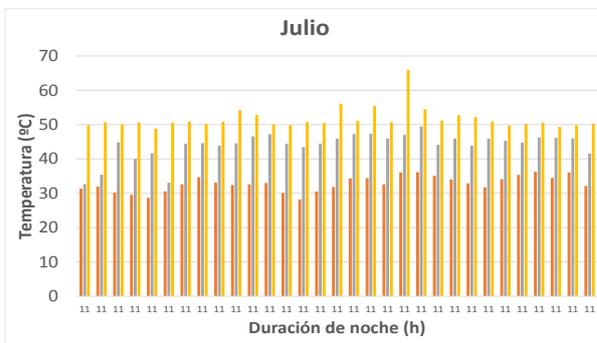
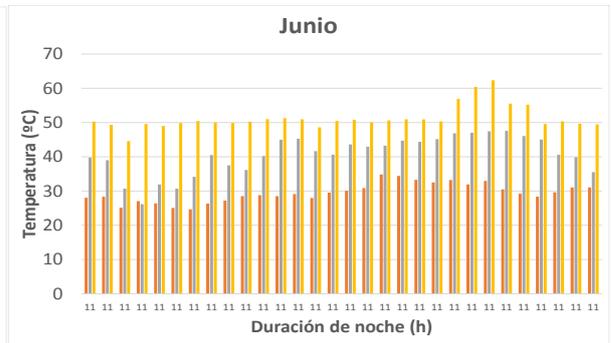
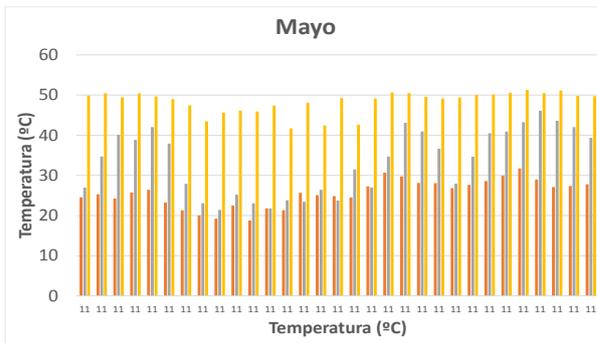
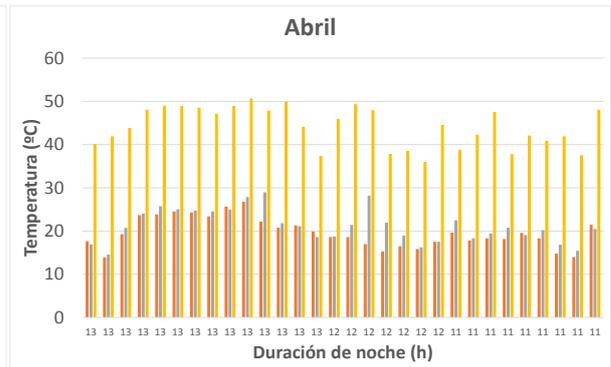
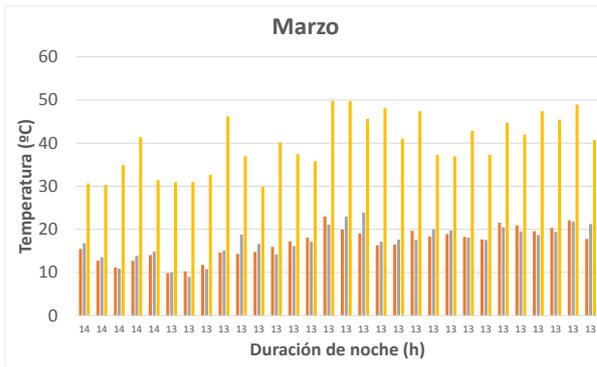
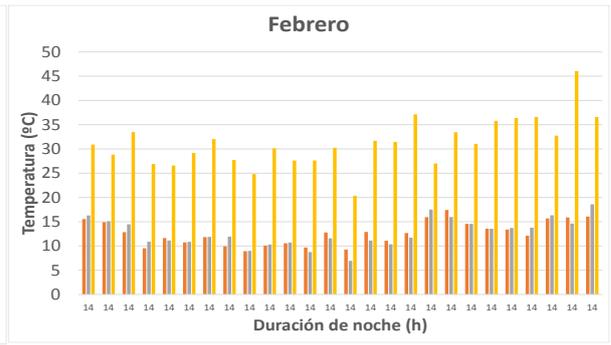
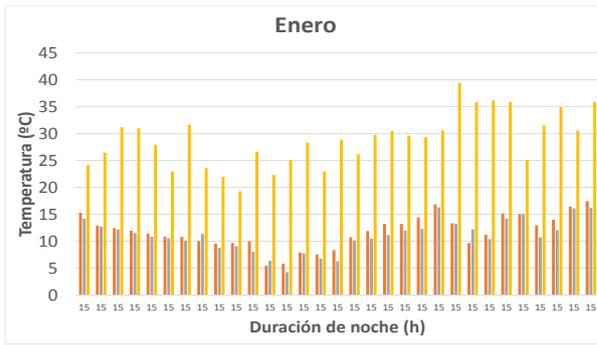
No se ve ningún efecto o cambio en las temperaturas medias mensuales significativo en la figura 180. En algunos meses intermedios la temperatura media mensual del PCM a la entrada se aproxima al valor de la  $T_{melt}$  seleccionada.

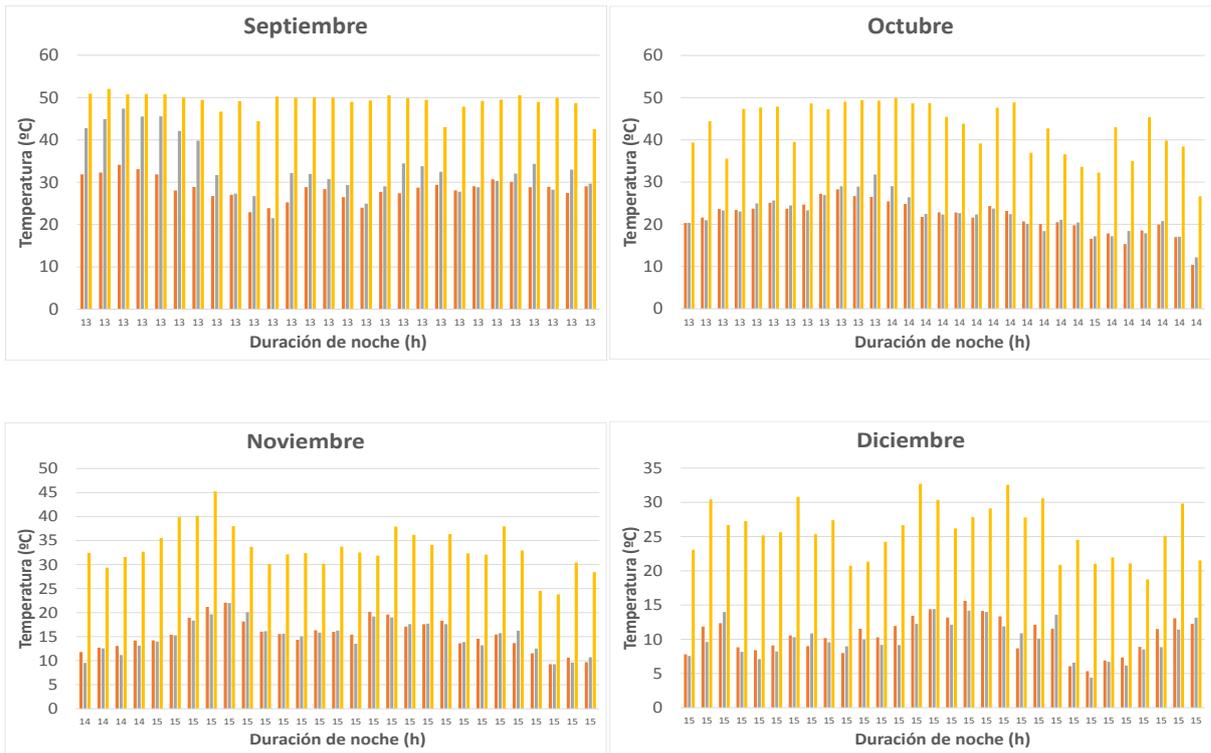
	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	11,08	28,92	17,84
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	13,02	31,02	18,00
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	17,60	39,13	21,53
<b>Abril</b>	12,17	19,61	22,67	43,22	20,56
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	35,57	47,38	11,81
<b>Junio</b>	11,00	29,49	41,30	51,92	10,62
<b>Julio</b>	11,00	32,80	43,03	52,75	9,72
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	42,20	50,43	8,23
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	36,15	47,11	10,96
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	23,43	41,58	18,15
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	15,47	33,34	17,87
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	10,06	25,89	15,82

**Tabla 48:** datos promediados para la representación de la figura 180 para una  $T_{melt}$  de 45 °C.

En la tabla 48, queda reflejado esa aproximación poco significativa descrita en la figura 180.

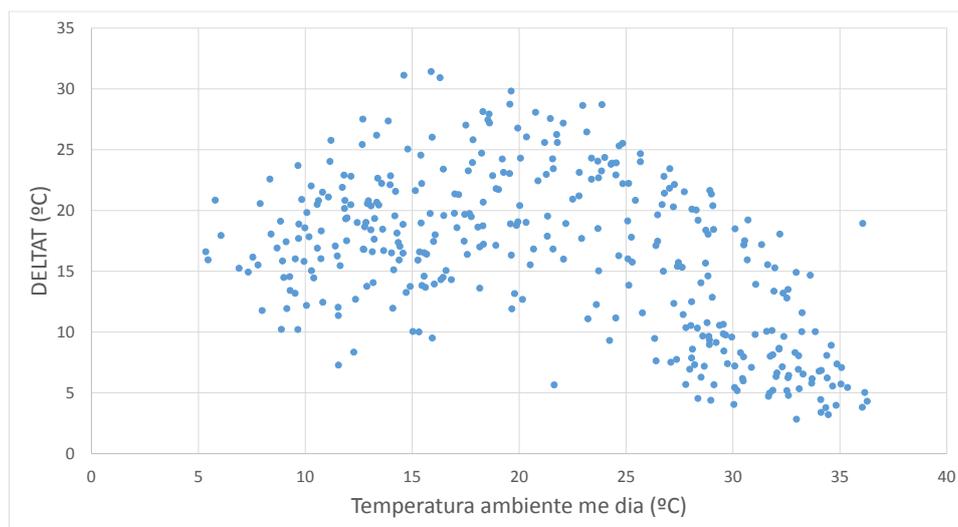
$T_{melt} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$





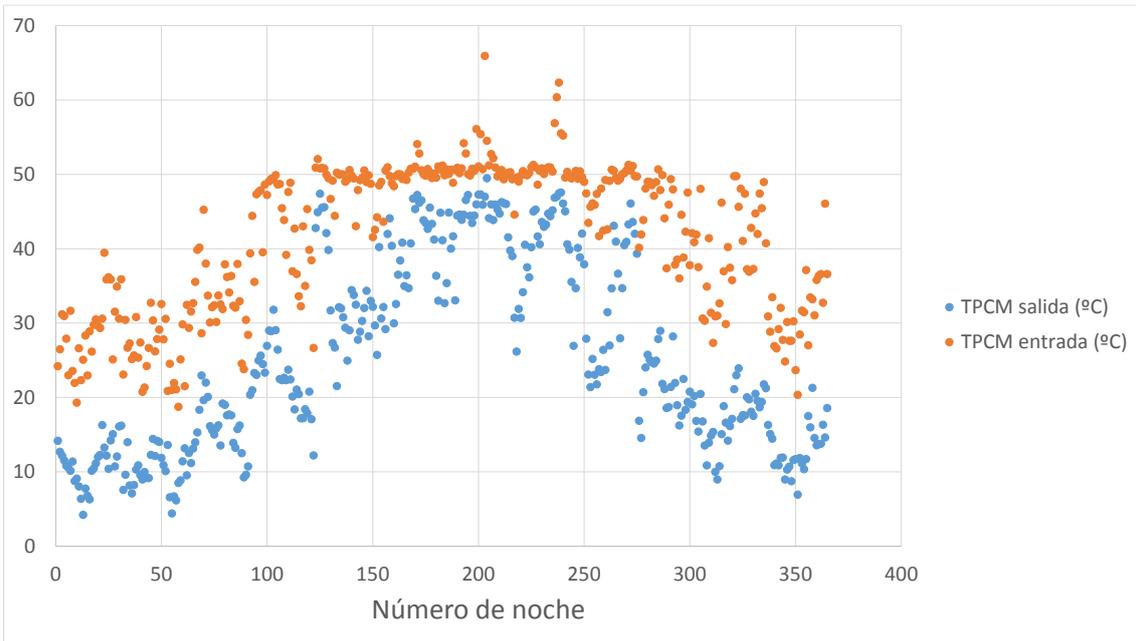
**Representación en gráfico de barras de los parámetros Temperatura ambiente media (naranja), Temperatura de salida del PCM (gris) y Temperatura de entrada del PCM (amarillo), para cada mes junto con la duración de cada noche en horas y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

Para una  $T_{melt}$  de 50 °C, la temperatura del PCM a la entrada alcanza el valor impuesto, en algunos momentos puntuales los sobrepasa y en los meses fríos ni siquiera es capaz de llegar a un valor aproximado.



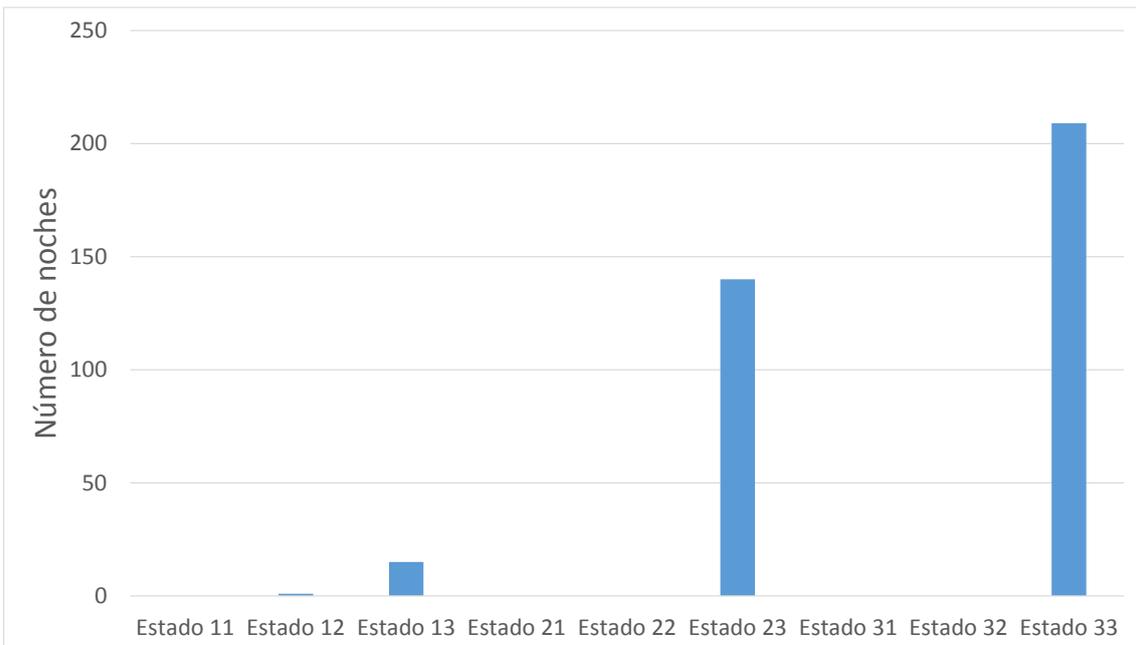
**Figura 181: representación gráfica de la diferencia de temperatura del PCM de entrada y salida (DELAT) en función de la temperatura ambiente media de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.**

La distribución de puntos DELTAT con respecto a la temperatura ambiente media apenas ha cambiado de parecido si se compara con la temperatura de cambio de fase anterior.



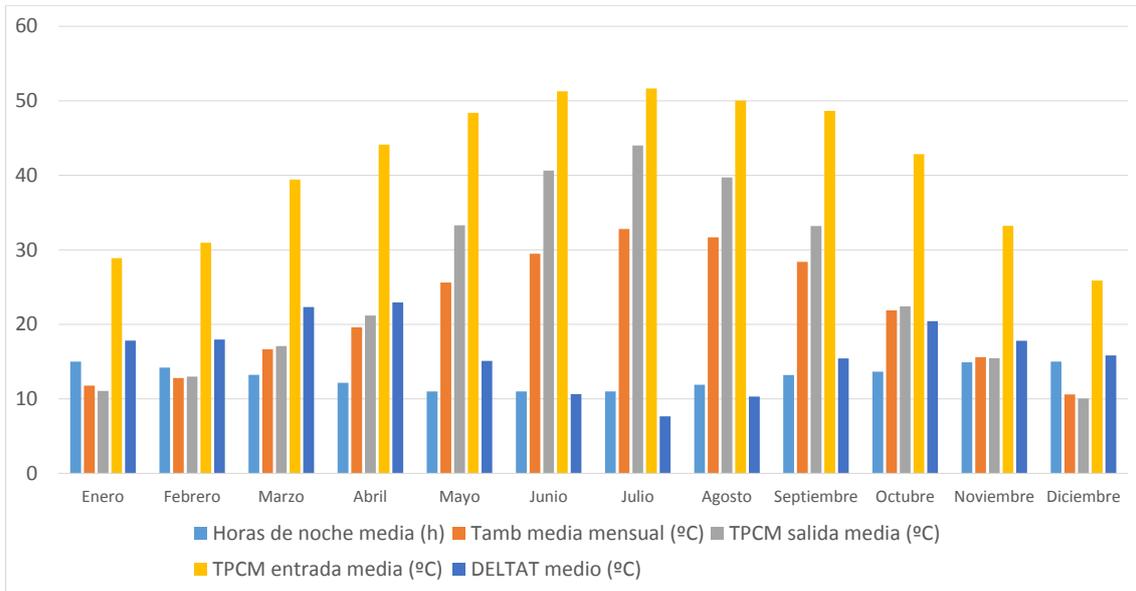
**Figura 182:** representación gráfica de la temperatura de entrada y salida del PCM de cada noche para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Se puede apreciar, en la figura 182, que ahora el protagonismo lo toma la temperatura del PCM a la entrada, dado que en los meses intermedios alcanza la temperatura melt seleccionada, mientras que en el resto de meses, ambas temperaturas tienen mucha diferencia entre ellas.



**Figura 183:** número de noches que el PCM hace una transición de un estado inicial a un estado final para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Como cabía esperar, al imponer la temperatura más elevada de cambio de fase, el estado 33 será siempre el más dominante, como se representa en la figura 183.



**Figura 184:** representación global de las horas de noche, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y a la salida, y la diferencia entre dichas temperaturas, de manera promediada para los 12 meses del año y para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

En la figura 184, solo hay unos pocos meses en los que la temperatura media mensual del PCM a la entrada alcanza la  $T_{melt}$  impuesta, mientras que en el resto de meses, ninguna de las temperaturas medias mensuales de interés alcanza dicho valor.

	Horas de noche media (h)	Tamb media mensual (°C)	TPCM salida media (°C)	TPCM entrada media (°C)	DELTAT medio (°C)
<b>Enero</b>	15,00	11,78	11,08	28,90	17,82
<b>Febrero</b>	14,21	12,81	12,98	30,96	17,97
<b>Marzo</b>	13,23	16,66	17,09	39,42	22,33
<b>Abril</b>	12,17	19,61	21,19	44,12	22,93
<b>Mayo</b>	11,00	25,62	33,30	48,39	15,09
<b>Junio</b>	11,00	29,49	40,64	51,29	10,64
<b>Julio</b>	11,00	32,80	44,00	51,65	7,65
<b>Agosto</b>	11,90	31,70	39,71	50,02	10,31
<b>Septiembre</b>	13,20	28,39	33,21	48,65	15,44
<b>Octubre</b>	13,65	21,88	22,41	42,83	20,42
<b>Noviembre</b>	14,90	15,61	15,44	33,23	17,79
<b>Diciembre</b>	15,00	10,59	10,06	25,89	15,82

**Tabla 49:** datos promediados para la representación de la figura 184 para una  $T_{melt}$  de 50 °C.

Todo lo anterior está justificado por los valores de la tabla 49, en los que se puede ver que la temperatura media mensual del PCM a la entrada se aproxima bastante a la  $T_{melt}$  impuesta.

### 12.3 Conclusiones finales de Agua Caliente

Tmelt (°C)	Horas de noche anual media (h)	Tamb media anual (°C)	TPCM salida anual (°C)	TPCM entrada anual (°C)	DELTAT anual (°C)	POUT (W/m <sup>2</sup> )	Porcentaje de producción
10	13,02	21,41	22,55	41,91	19,36	269418,62	7,13
15	13,02	21,41	23,43	41,53	18,10	269755,06	7,26
20	13,02	21,41	24,60	40,84	16,24	270415,98	7,53
25	13,02	21,41	25,04	40,55	15,51	271160,72	7,82
30	13,02	21,41	25,18	40,80	15,61	271751,53	8,06
35	13,02	21,41	25,85	40,94	15,09	272195,65	8,23
40	13,02	21,41	26,18	40,90	14,71	273017,35	8,56
45	13,02	21,41	25,96	41,06	15,09	273484,07	8,74
50	13,02	21,41	25,09	41,28	16,19	273571,66	8,78
Sin PCM						251491,21	

Tabla 50: datos analizados promediados anuales junto con la potencia de salida por metro cuadrado y el porcentaje de producción con respecto al sistema PV-Sin PCM.

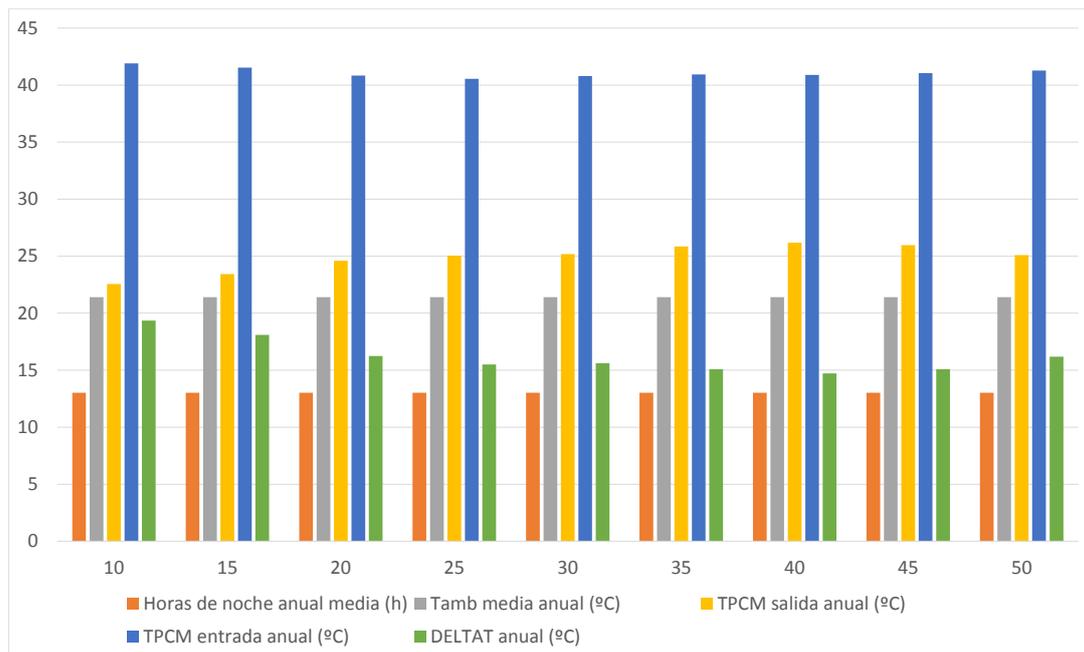


Figura 185: horas de noche media, Temperatura ambiente media, Temperatura del PCM a la entrada y salida, y la diferencia entre ambas temperaturas, promediadas anualmente para cada Tmelt analizada.

Se hace visible que la temperatura Tmelt óptima y en la que se produce el pico de producción de potencia sea de 50 °C, como se observa en la tabla 184. Dicha temperatura no está muy lejos de los 48 °C calculados con el método hora-hora.



### **13. Intercomparación.**

Se ha visto que algunas ciudades tienen un comportamiento casi parecido con otra, viéndose que las temperaturas óptimas del PCM eran parecidas y que, aun teniendo temperaturas ambientes nocturnas no tan similares, muchas gráficas DELTAT vs Temperatura ambiente media coinciden, o la distribución mensual de temperaturas es similar entre unas y otras.

Se puede afirmar, entonces, que Nzema y Charanka son similares en el comportamiento y climatología, dado que tienen mucha más irradiación y temperaturas ambiente medias nocturnas casi similares. Por otro lado, Neuhardenberg y Golmud coinciden en que tienen climas fríos y severos en inviernos, veranos suaves y templados que afectan al comportamiento del PCM, y a la refrigeración del PCM. Para Agua Caliente, sin embargo no hay un modo de compararlo con otras ciudades analizadas en este documento debido a que tiene una climatología que dista de los otros emplazamientos, ya que su invierno es muy frío y su verano, muy cálido.

Por lo que, finalmente, se concluye que si se analizan diferentes ciudades que no tienen una gran masa de agua de por medio, véase Agua Caliente en Estados Unidos como se ha dicho anteriormente, si las ciudades están en la misma latitud geográfica, pueden extrapolarse los resultados y predecir resultados, en cuanto a temperatura óptima del PCM, sin demasiado error.

## 14. Conclusiones finales

País	Número de horas nocturnas medio (h)	Temperatura ambiente media nocturna (°C)	Temperatura ambiente media diurna (°C)	Tmelt optima Hora-Hora (°C)	Tmelt optima Día-Medio (°C)	Irradiancia media / 10 (W/m2)
Nzema (Ghana)	13,45	24,93	27,90	40,00	27,00	42,82
Golmud (China)	13,13	4,22	9,55	31,00	17,00	47,45
Charanka (India)	13,17	21,27	26,50	41,00	26,00	50,71
Neuhardenberg (Alemania)	13,45	8,30	11,87	30,00	17,00	24,17
Agua Caliente (Arizona, EEUU)	13,02	21,41	27,08	48,00	33,00	48,60

Tabla 51: datos analizados promediados anualmente para todas las localizaciones analizadas junto con las temperaturas óptimas calculadas por el método hora-hora y día-medio.

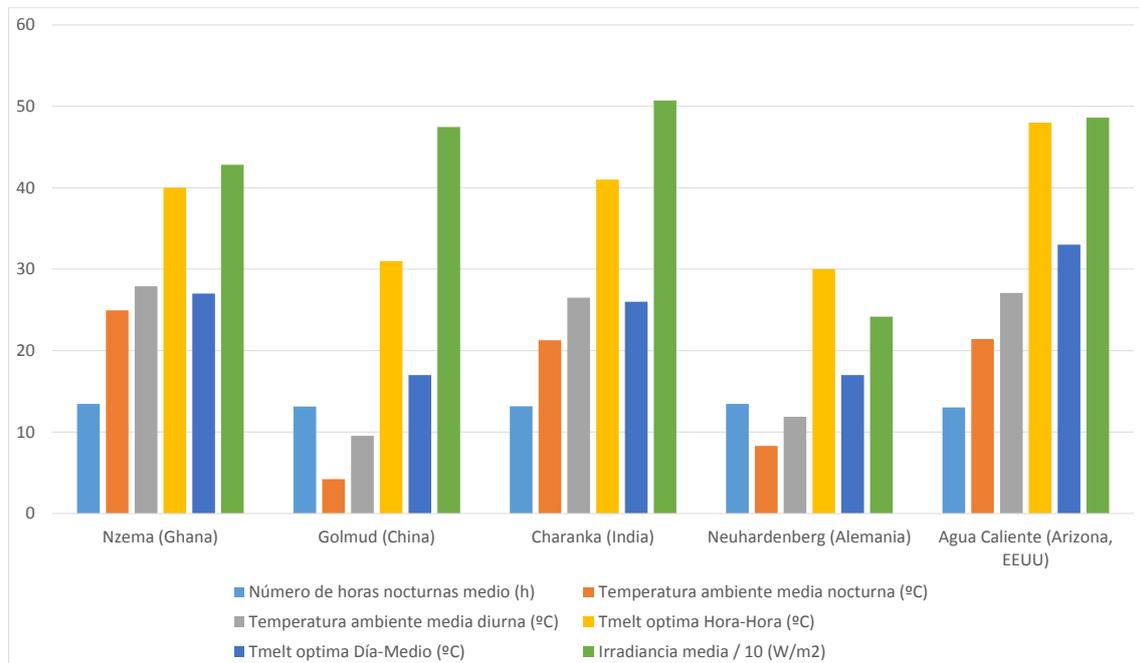


Figura 186: gráfico de barras para los datos de la tabla 51.

Finalmente, se puede establecer las siguientes conclusiones para todas las localizaciones analizadas:

-La temperatura ambiente nocturna influye en el grado de recuperación y refrigeración del PCM para alcanzar el punto óptimo. Una baja temperatura media tendrá como consecuencia una selección de temperatura del PCM inferior.

-Los países que se encuentran a la misma latitud geográfica tienen el mismo valor (o parecido) de temperatura óptima del PCM.

-La diferencia de temperatura entre la óptima y la ambiente nocturna tiene una media de 17 °C, lo que concuerda con las suposiciones de Christopher J. Smith para la selección de la temperatura del PCM.

## REFERENCIAS

- [1] Hassan A. *Phase Change Materials for Thermal Regulation of Building Integrated Photovoltaics*. Doctoral Thesis. Dublin Institute of Technology. (2010). doi:10.21427/D7461W
- [2] Oliver A, Neila FJ, García-Santos A. *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica*. Mater. Construcc., Vol. 62, 131-140, enero-marzo 2012. ISSN: 0465-2746. doi: 10.3989/mc.2012.58010.
- [3] Palacios Ruilova JX, Santos Roca CR. *Estudio de las Propiedades Ópticas de suspensiones Coloidales con Diferentes Concentraciones de Microcápsulas de Material que Cambia de Fase (MPCM) para Aplicaciones en Sistemas de Almacenamiento de Energía Solar*. Trabajo Final de Graduación. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil (Ecuador). (2014)
- [4] Ochoa A. *Evaluación de parafina comercial como material de cambio de fase para almacenamiento de energía*. Trabajo de Grado. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Instituto de posgrados. Bogotá (2016)
- [5] Ma T, Yang H, Zhang Y, Lu L, Wang X. *Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and Outlook*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 (2015) 1273–1284
- [6] Hasan A, McCormack SJ, Huang MJ, Norton B. *Energy and Cost Saving of a Photovoltaic-Phase Change Materials (PV-PCM) System through Temperature Regulation and Performance Enhancement of Photovoltaics*. Energies 2014, 7, 1318-1331; doi:10.3390/en7031318. ISSN 1996-1073
- [7] Stropnik R, Stritih U. *Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM*. Renewable Energy 97 (2016) 671-679
- [8] Hasan M, Momtazur Rahman Md, Metselaar H.S.C, Mekhilef S, Shezan S. A, Sohail R, Abu Karim S.B, Izzati Badiuzaman W. N. *Temperature Regulation of Photovoltaic Module Using Phase Change Material: A Numerical Analysis and Experimental Investigation*. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Photoenergy Volume 2016, Article ID 5917028, 8 page
- [9] Indartono YS, Prakoso SD, Suwono A, Zaini IN, Fernaldi B. *Simulation and Experimental Study on Effect of Phase Change Material Thickness to Reduce Temperature of Photovoltaic Panel*. 7th International Conference on Cooling & Heating Technologies (ICCHT 2014). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 88 (2015) 012049. Y S Indartono et al (2015). IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 88 012049

- [10] Huang MJ, Eames PC, Norton B. *Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials*. International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 2715–2733
- [11] Hasan A, McCormack SJ, Huang MJ, Norton B. *Characterization of phase change materials for thermal control of photovoltaics using Differential Scanning Calorimetry and Temperature History Method*. Energy Convers. (2014a). Manage. 81, 322–329
- [12] Hasan A, Sarwar J, Alnoman H, Abdelbai S. *Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate*. Solar Energy 146 (2017) 417–429
- [13] Smith CJ, Forster PM, Crook R. *Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling*. Applied Energy 126 (2014) 21–28
- [14] Elarga H, Goia F, Zarrella A, Monte A, Benini E. *Thermal and electrical performance of an integrated PV-PCM system in double skin façades: A numerical study*. Solar Energy 136 (2016) 112–124
- [15] Goia F., Perino M., Haase M. *A numerical model to evaluate the thermal behaviour of PCM glazing system configurations*. Energy and Buildings 54 (2012) 141–153
- [16] Armstrong S, Hurley WG. *A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions*. Applied Thermal Engineering 30 (2010), 1488-1495
- [17] Huang MJ, Eames PC, Norton B. *Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics*. Solar Energy 80 (2006) 1121–1130
- [18] Hasan A, McCormack S, Huang M, Norton B. *Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics*. Solar Energy 84 (2010) 1601–1612
- [19] Heinz A, Streicher W. *Application of phase change materials and PCM slurries for thermal energy storage*. En: Ecstock conference, Pomona, USA; 2006.
- [20] Swinbank WC. *Long-wave radiation from clear skies*. Quart J Roy Meteorol Soc 1963;89:339–48
- [21] Khanna S, Reddy KS, Mallick TK. *Performance analysis of tilted photovoltaic system integrated with phase change material under varying operating conditions*. Energy 133 (2017) 887-899

- [22] Loveday DL, Taki AH. Convective heat transfer coefficients at a plane Surface on a full-scale building facade. *Int J Heat Mass Transfer* 1996;39(8):1729–42
- [23] Evans DL. *Simplified method for predicting photovoltaic array output*. *Solar Energy* 1981, Vol. 27, No. 6, pp. 555-560
- [24] Lamberg P, Lehtiniemi R, Henell A. *Numerical and experimental investigation of melting and freezing processes in phase change material storage*. *International Journal of Thermal Sciences* 43 (2004) 277–287
- [25] Cerezuela Parish A. *Desarrollo de modelo simplificado y validación de las fachadas ventiladas con aletas de material de cambio de fase*. Proyecto fin de máster. Universidad de Sevilla. (2012)
- [26] Zukowski M. *Mathematical modeling and numerical simulation of a short term thermal energy storage system using phase change material for heating applications*. *Energy Conversion and Management* 48 (2007) 155–165
- [27] Bridgman PW. *A complete collection of termodinamic formulas*. *Phys Rev* 1914;3:273-81
- [28] Malvi CS, Dixon-Hardy DW, Crook R. *Energy balance model of combined photovoltaic solar-thermal system incorporating phase change material*. *Solar Energy* 2011;85(7):1440–6
- [29] Zalba B, Marín JM, Cabeza LF, Mehling H. *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications*. *Applied Thermal Engineering* 23 (2003) 251–283
- [30] Notton G, Cristofari C, Mattei M, Poggi P. *Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences*. *Applied Thermal Engineering* 25 (2005) 2854–2877
- [31] Jones AD, Underwood CP. *A thermal model for photovoltaic systems*. *Solar Energy* 2001, Vol. 70, No. 4, pp. 349–359
- [32] Lamberg P, Sirén K. *Approximate analytical model for solidification in a finite PCM storage with internal fins*, *Appl. Math. Model.* 27 (2003) 491-513
- [33] Hachem F, Abdulhay B, Ramadan M, Hage H, Rab M, Khaled M. *Improving the performance of photovoltaic cells using pure and combined phase change materials-Experiments and transient energy balance*. *Renewable Energy* 107 (2017) 567-575
- [34] Veerakumar C, Sreekumar A. *Phase change material based cold termal energy storage:Materials,techhniques and applications-A review*. *International journal of refrigeration* 67(2016) 271-289

- [35] Huang MJ, Hewit N. *Effect of using two PCMS on the termal regulation performance of BIPV systems.* In: International Solar Energy Congress (ISES 2009), Johannesburg, South Africa.
- [36] Hasan A, Alnoman H, Hasan Shah A. *Energy Efficiency Enhancement of Photovoltaics by Phase Change Materials through Thermal Energy Recovery.* *Energies.*(2016)
- [37] Hasan A, McCormack SJ, Huang MJ, Sarwar],. Norton B. Increased photovoltaic performance through temperature regulation by phase change materials: Materials comparison in different climates. *Solar Energy* 115 (2015) 264–276
- [38] Machniewicz A, Knera D, Heim D. *Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels.* *Energy Procedia* 78 (2015) 1684–1689
- [39] Ciulla G, Brano VL, Cellura M, Franzitta V, Milone D. *A finite difference model of a PV-PCM system.* *Energy Procedia* 30 (2012) 198–206
- [40] Monje Agudo A. *Acotación de la temperatura en un dispositivo fotovoltaico. Aplicación: Materiales de cambio de fase.* Proyecto fin de carrera. Universidad de Sevilla. 2005
- [41] Fadel Kawtharani, Ali Kawtharani, Mohammad Hammoud, Ali Hallal, Ali Shaito, Ali Assi, Ibrahim Assi. *Cooling PV modules using phase change material.* Conferencia Diciembre 2017.
- [42] M. M. Islam, A. K. Pandey, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim. *Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on phtovoltaic thermal-phase change material systems.* *Energy conversion and Management* Volumen 126, páginas 177-204.
- [43] Sourav Khanna, K. S. Reddy, Tapas K. Mallick. *Optimization of solar photovoltaic system integrated with pahse change material.* *Solar Energy* Volumen 163, páginas 591-599.
- [44] Tushar M. Sathe, A. S. Dhoble. *Thermal management of low concentrated photovoltaic systems using extended surfaces in phase change materials.* *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 1, 043704 (2018).