UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI ICADE
COMILLAS
MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

ANÁLISIS TÉRMICO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MICROPROCESADOR DE PC UTILIZANDO DIFERENTES SISTEMAS DE DISIPACIÓN

Acuerdo de colaboración entre:

TEDUINSA

y

Universiadad Pontificia Comillas

Índice del documento

1 INTRODUCCIÓN 1

2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISIPACIÓN UTILIZADOS 3

2.1 SISTEMA DE DISIPACIÓN INTEL SOCKET 478 AL 3

2.2 SISTEMA DE DISIPACIÓN SWIFTECH MCX-4000 3

2.3 SISTEMA DE DISIPACIÓN SWIFTECH MCX-4000+MÓDULO PELTIER 4

3 EXPLICACIÓN DEL TIPO DE ENSAYO Y MEDIDAS REALIZADAS 6

4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS 8

4.1 ENSAYO CONFIGURACIÓN INTEL SOCKET 478 AL 8

4.2 ENSAYO CONFIGURACIÓN SWIFTECH MCX 4000 12

4.3 ENSAYO CONFIGURACIÓN SWIFTECH MCX 4000+MÓDULO PELTIER 16

4.3.1 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000+Módulo Peltier, I=2A 16

4.3.2 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000+Módulo Peltier, I=4, 6, y 8 A 20

5 CONCLUSIONES FINALES 24

1 Introducción

En este informe se resumen los resultados obtenidos en el estudio térmico llevado a cabo sobre un computador tipo PC de la empresa Teduinsa. El objetivo del proyecto ha sido analizar el potencial del empleo de módulos termoeléctricos en la refrigeración del microprocesador de un PC.

El aumento de la frecuencia de trabajo de los microprocesadores ha implicado un aumento en la potencia calorífica a disipar con el consecuente aumento de temperatura del mismo cuando los sistemas de disipación no son adecuados. Hoy en día comienza a ser común el uso de disipadores de cobre, que combinados con ventiladores con un consumo nominal entorno a 5 W, permiten reducir la resistencia térmica del conjunto disipador en un 50% comparado con los disipadores tradicionales de aluminio. La función de este tipo de disipadores puede ser doble:

- Asegurar que la temperatura de los micros más potentes del mercado, por ejemplo el microprocesador Pentium 4 3.2GHz, esté por debajo de las temperatura límite de trabajo del mismo. Incluso considerando el funcionamiento de otros componentes del PC.
- Permitir la realización de modificaciones en la tensión de alimentación del micro aumentando su frecuencia de trabajo y por tanto la potencia de cálculo y velocidad de operación, pero que conlleva un aumento de la potencia a disipar. Esta operación se conoce con el nombre de "*overclocking"*, y suele ser realizadas por usuarios de computadores altamente cualificados, pero que se encuentran con que ello sólo es posible realizarlo con ciertas garantías si la capacidad de disipación del micro es suficientemente grande para asegurar que no se alcanza la temperatura máxima de operación del mismo.

Ahora bien, por muy buen sistema de disipación de que se disponga, la temperatura del micro siempre será superior a la del ambiente del interior de la caja del PC, de la cual se toma normalmente el aire de refrigeración. Como orden de magnitud se puede considerar que la temperatura del micro sería entre 15ºC y 25ºC superior a la de dicho ambiente, dependiendo de la calidad del disipador. La única forma de hacer que el micro trabaje a temperaturas por debajo de esa temperatura ambiente es mediante el uso de un sistema de disipación activo, como el que permite la utilización de los módulos termoeléctricos.

En este documento se resumen los resultados obtenidos en los tres ensayos llevados a cabo sobre el PC de la empresa Teduinsa:

- Ensayo con la configuración disipador-ventilador montado inicialmente en el equipo (Intel Socket 478 Al)
- Ensayo con la configuración disipador-ventilador de altas prestaciones (Swiftech MCX-4000).
- Ensayo empleando un módulo Peltier (con disipador Swiftech MCX-4000).

Previamente al análisis de los resultados se describen de forma breve las características de los sistemas de disipación utilizados, así como los tipos de ensayo llevados a cabo. De cada uno de los ensayos se presentan gráficos con el transitorio térmico en diversos puntos del PC, y tablas donde se resumen las condiciones de trabajo una vez alcanzado el régimen estacionario.

Finalmente se han incluido gráficos comparativos de las tres configuraciones, conclusiones generales sobre los resultados obtenidos en los ensayos, así como otros aspectos relacionados con el diseño global de un sistema de disipación de una caja para PC.

2 Descripción de los sistemas de disipación utilizados

Previamente a la descripción de los disipadores utilizados, se ha considerado conveniente recordar las características del PC ensayado que pueden tener relevancia en el estudio térmico.

- Microprocesador: Intel P4/2400 Bus 533 Box
- Placa base: HOT-MV43VN, marca Shuttle
- Fuente de alimentación: 300 W
- El ordenador no tenía montada ninguna tarjeta gráfica, fuente de calor considerable cuando se ejecutan programas de diseño o juegos de ordenador.
- Sistema de la caja: 47x43x20 cm
- Caja de disipación del microprocesador: Modelo Intel Socket 478
- 1 Ventilador en la salida de la caja
- Dimensiones metálica de chapa de hierro pintada de espesor 1 mm.

2.1 Sistema de disipación Intel Socket 478 Al



Figura 1. Fotografías del conjunto ventilador-disipador original de Intel

Según el fabricante este disipador se puede montar con micros con frecuencias superiores a 2.8 GHz. Las principales características facilitadas por el fabricante para este conjunto son:

Ventilador

Tamaño: 80 mm x 80 mm
Velocidad de giro: 3200-4800 rpm
Caudal máximo de aire: 30 CFM-14.16 l/s
Consumo nominal: 3.36 W
Rango de tensiones de operación: 9 V – 13.8 V
Intensidad nominal: 0.28 A

Disipador

Material: aluminio
Configuración: Aletas

Conjunto disipador-ventilador

Peso: 410 g

Nivel de ruido: 36 dBA, medidos a 1 metro de distancia de la superficie del motor del ventilador

Resistencia térmica: 0,37 ºC/W

2.2 Sistema de disipación Swiftech MCX-4000

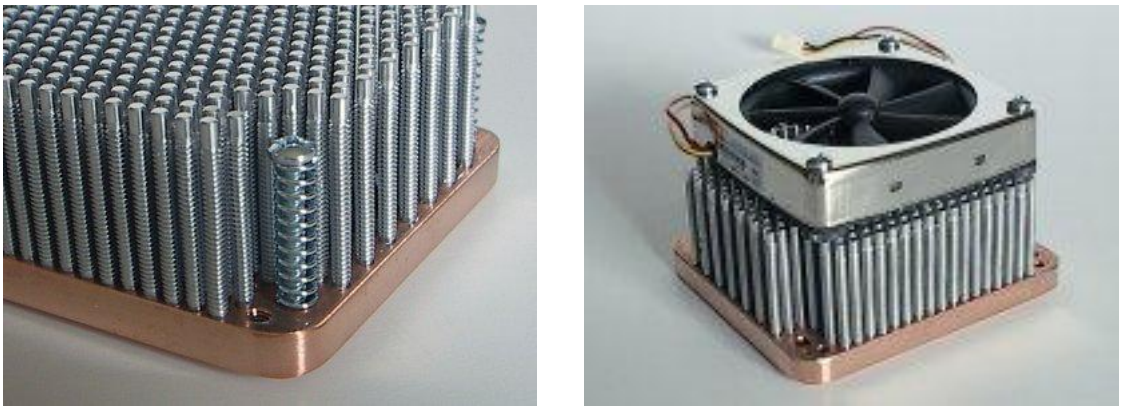

Figura 2. Fotografías del conjunto disipador Swiftech-MCX 4000- Ventilador

Este conjunto de disipación de altas prestaciones está formado por un disipador de agujas y un ventilador distinto del utilizado anteriormente y será posteriormente utilizado con la célula Peltier. Es un conjunto de disipación comercial cuyas principales características según el fabricante son:

Ventilador

Tamaño: 74 mm x 74 mm x 15 mm
Velocidad de giro: 5800 rpm
Caudal máximo de aire: 36.8 CFM-17.37 l/s
Consumo nominal: 3.36 W
Rango de tensiones de operación: 9 V – 13.8 V
Intensidad nominal: 0.28 A

Disipador

Dimensiones base:
89 mm x 98 mm
Espesor: 9.8 mm
Altura total del disipador: 39,5 mm
Material: base de cobre C110
Agujas helicoidales de aluminio
Peso del disipador: 600 g

Conjunto disipador-ventilador

Nivel de ruido: 39,0 dBA, medidos a 1 metro de distancia de la superficie del motor del ventilador
Resistencia térmica: 0,18 ºC/W

2.3 Sistema de disipación Swiftech MCX-4000+Módulo Peltier

La única diferencia entre el sistema anterior y éste es la colocación de un módulo Peltier entre la base del disipador y una placa de cobre entre el disipador y el

microprocesador. La placa de cobre apoya directamente en la superficie del microprocesador y el módulo Peltier se intercala entre el dispador y la placa de cobre, ver figura 3. Este conjunto aumenta un poco su altura y su peso debido a la placa de cobre adicional.

El módulo Peltier utilizado en los ensayos es de la marca Thermoelectric Technologies, y su nombre comercial es: TE-127-2.0-1.15. Este módulo, como se puede ver en la figura 4, es capaz de dar una potencia frigorífica máxima de 156W cuando el salto térmico entre caras es nulo. Sus dimensiones son 48 mm x 48 mm x 3,4 mm. Se ha usado la versión que está sellada (potted), para proteger los termoelementos.

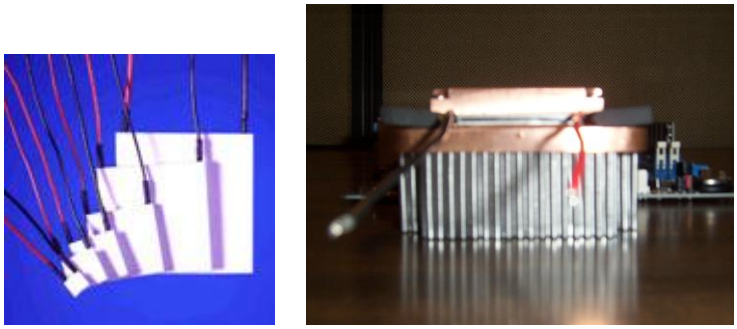

Figura 3. Fotografías del conjunto disipador Swiftech-MCX 4000- Ventilador +Módulo Peltier

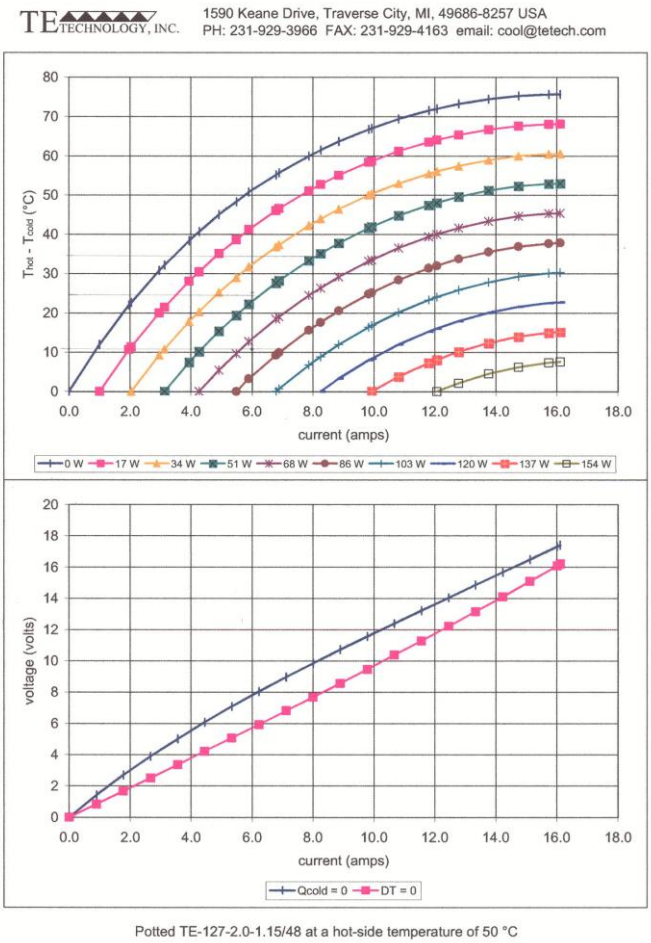

Figura 4. Gráficas del funcionamiento de un módulo termoeléctrico TE-127-2.0-1.15

3 Explicación del tipo de ensayo y medidas realizadas

El proceso de ensayo de cada una de las configuración explicadas en el apartado 2 ha sido el mismo. Se ha analizado el comportamiento en tres modos de operación:

I. **Modo bios:** cuando se arranca el ordenador se entra en la bios del ordenador. Dentro de la bios existe una opción para la lectura de temperaturas indicándose tres medidas bajo el nombre:

   - Temperatura del sistema
   - Temperatura del hardware
   - Temperatua de la CPU

   Se han tomado medidas de forma manual por imposibilidad de generar un fichero histórico de las mismas hasta que se establece el régimen estacionario térmico.

II. **Sistema operativo Windows.** Una vez alcanzado el régimen estacionario en modo bios, se arranca el ordenador en modo Windows y se vuelve a dejar que las temperaturas evolucionen hasta régimen estacionario. En este caso se han tomado medidas de las temperatura a través de la utilización de un programa gratuito llamado Motherboard Monitor 5.0. Este programa detecta tres sensores de temperatura en la placa base Shuttle HOT-MV43VN, sin embargo no se indica la posición exacta de los sensores. A través de la evolución de la temperatura, como se verá en los ensayos, se pueden relacionar dichas temperaturas con las indicadas en el modo bios.

III. **Windows+ejecución de programa.** Una vez alcanzado de nuevo el régimen estacionario, se ejecuta un programa bajo el cual el microprocesador opera al 100% de capacidad, registrándose de nuevo la temperatura de los tres sensores a través del programa Motherboard Monitor 5.0. En la configuración con módulo Peltier se ha analizado este modo de operación cuando para diferentes valores de intensidad eléctrica.

En todos los ensayos, además del control de las temperaturas mencionadas, se han colocado una serie de termopares en el interior de la caja del ordenador para tener referencias de temperatura del aire tanto a la entrada como a la salida del disipador del micro. También se ha analizado la evolución de la temperatura en la parte superior e inferior de la caja, y la temperatura del aire que extrae el ventilador auxiliar. Estas temperaturas se han registrado mediante un DataLogger que permite generar también un histórico de las mismas.

En el ensayo con el disipador Swiftech-4000 se ha colocado un termopar en la base del disipador. En la configuración con módulo termoeléctrico se ha añadido otro en la placa de cobre auxiliar. De esta forma se tiene una medida bastante buena del salto térmico entre caras del módulo termoeléctrico, lo que permite estimar de manera aproximada su punto de trabajo.

En la figura 5 se muestra un croquis de una caja genérica (no es la caja ensayada) con la posición aproximada de los termopares. En la figura 6 se muestra una fotografía del ordenador ensayado con la posición aproximada de los termopares en el disipador del micro.

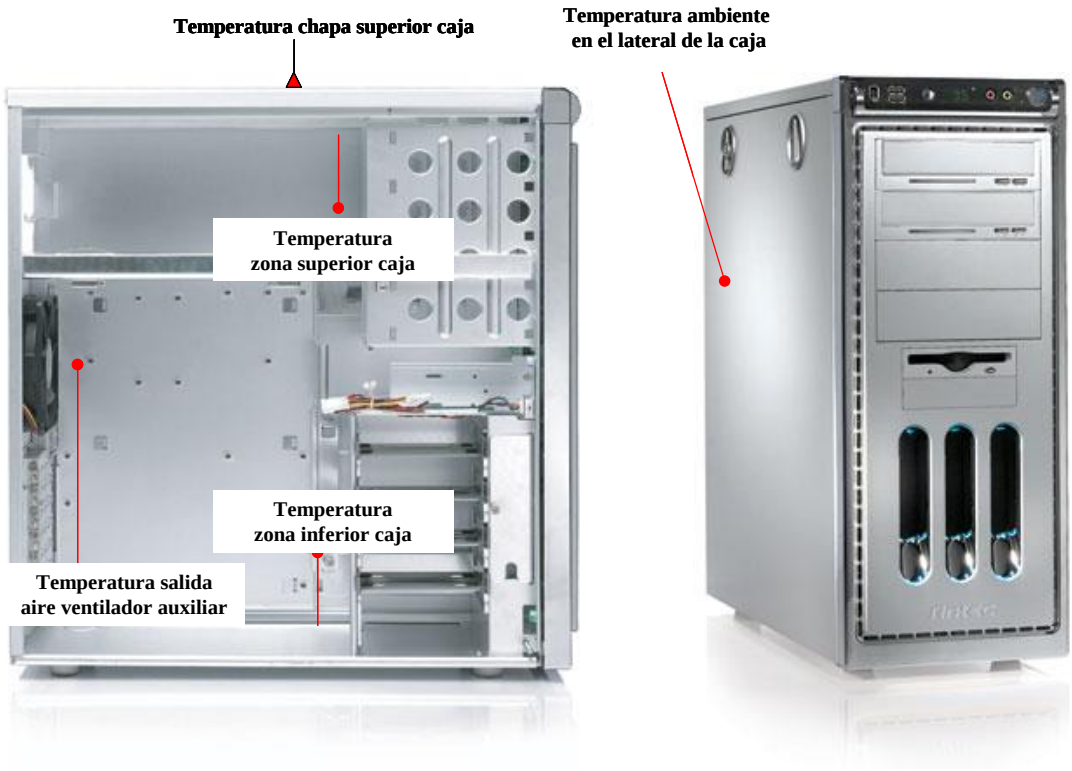

Figura 5. Croquis de la posición de los termopares en el interior de la caja del PC.

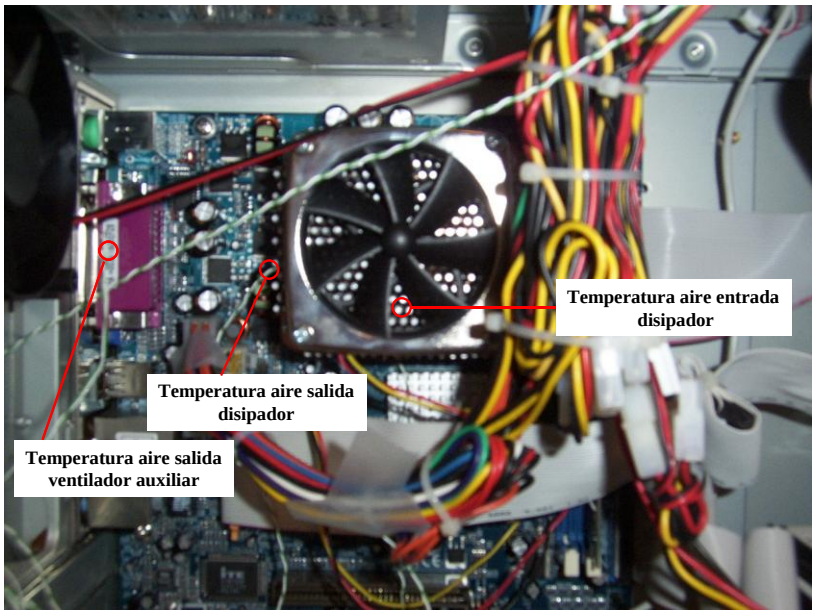

Figura 6. Posición de los termopares que miden la temperatura del aire a la entrada y salida del disipador del micro.

4 Resultados de los ensayos

4.1 Ensayo configuración Intel Socket 478 Al

En el gráfico 2 se puede observar el transitorio térmico de las tres temperaturas leídas tanto en modo bios, como con el programa Motherboard Monitor cuando el ordenador está arrancado con el sistema operativo Windows. Se puede observar claramente las siguientes relaciones:

Power temperature	Sensor 1
System temperature	Sensor 2
CPU temperature	Sensor 3

En los siguientes ensayos se utilizará la primera nomenclatura para todos los modos de operación. En el gráfico 1, se resumen las temperaturas en régimen estacionario en cada uno de los modos de operación y para cada uno de estos sensores.

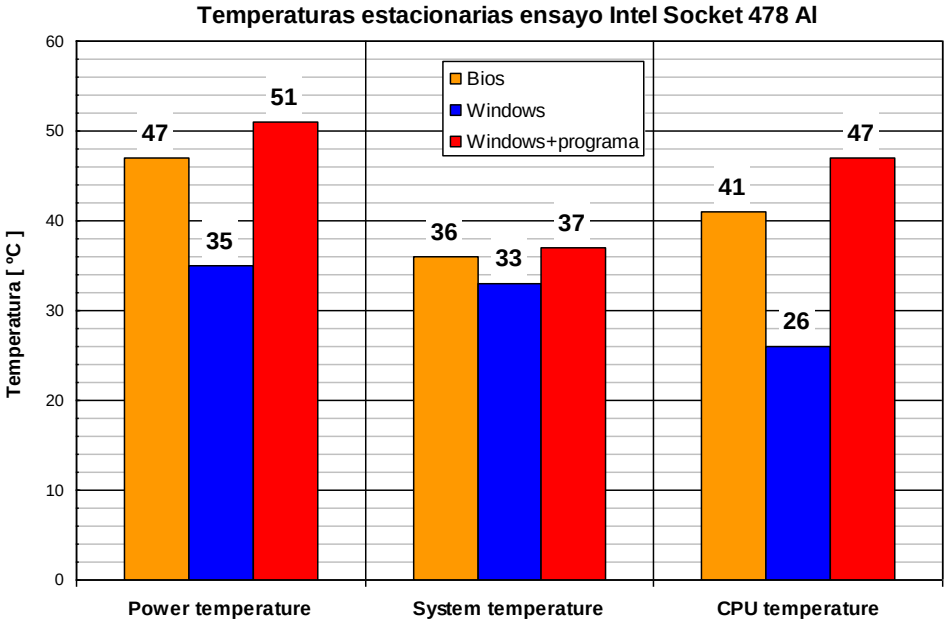

Gráfico 1. Temperaturas estacionarias, configuración Intel Socket Al 478

Del análisis del ensayo se han extraído las siguientes conclusiones:

- La temperatura de la CPU se estabiliza en 47ºC cuando trabaja al 100%, y es ligeramente inferior que la temperatura definida como "Power temperature", (51ºC). Esta última temperatura debe de estar medida en algún punto de la placa con peor capacidad de disipación de calor que el micro.
- La temperatura referenciada como "System Temperature" se comporta de forma más uniforme, existiendo menores diferencias de temperatura entre los diferentes modos de operación del ordenador. Posiblemente sea la temperatura de la fuente de alimentación.
- Otro aspecto de interés es la comparación de la temperatura del aire de entrada en el disipador con respecto a la del ambiente exterior de la caja, ver grafico 3. Cuando ya se ha alcanzado el régimen estacionario con el programa

ejecutándose, la temperatura del aire de entrada es de 32.5ºC, mientras que la del ambiente oscila entorno a 24,7ºC. Esto es indicativo de un mal diseño en la renovación del aire en el interior de la caja.

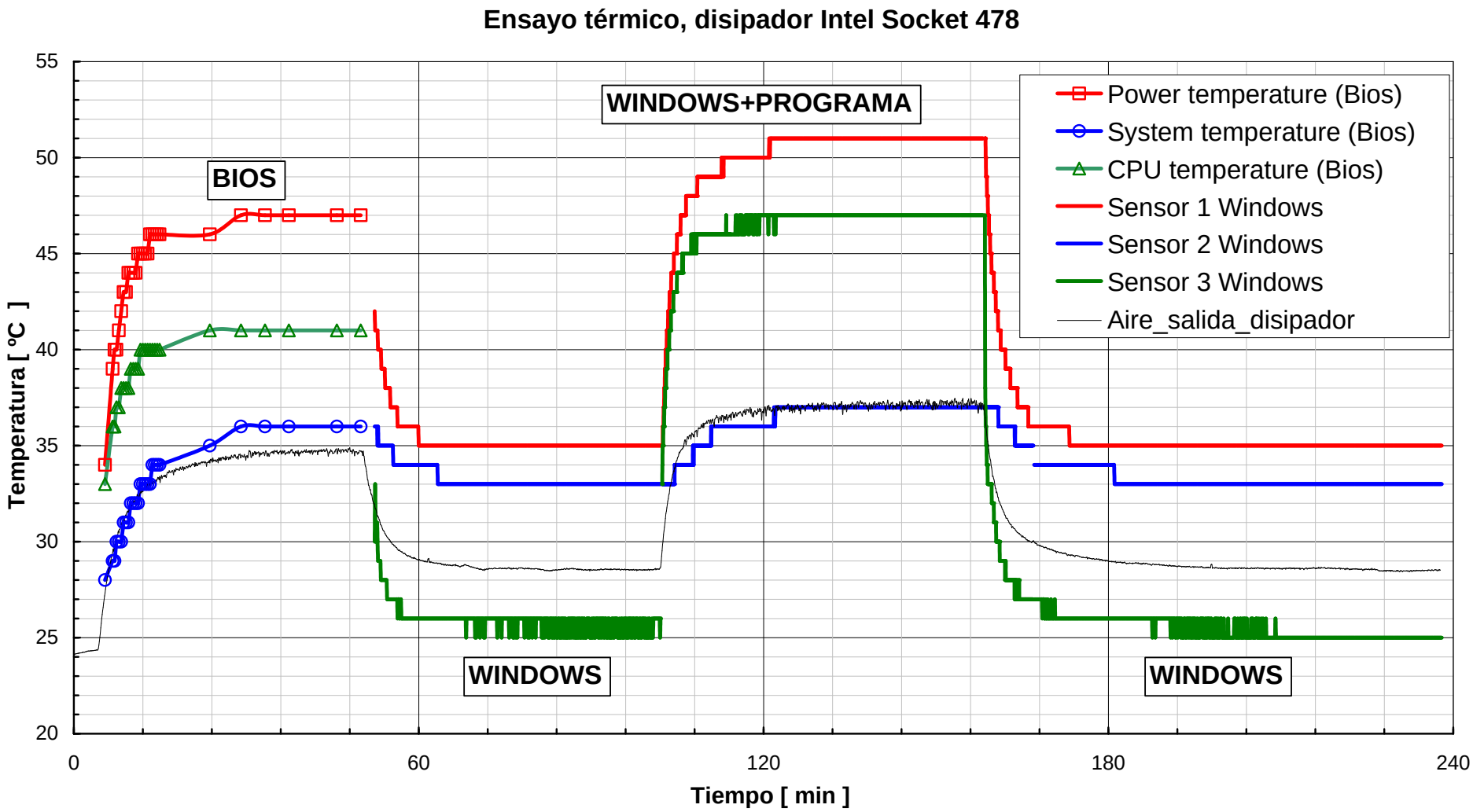

Gráfico 2. Transitorio térmico en el ensayo de la configuración Intel Socket 478 Al

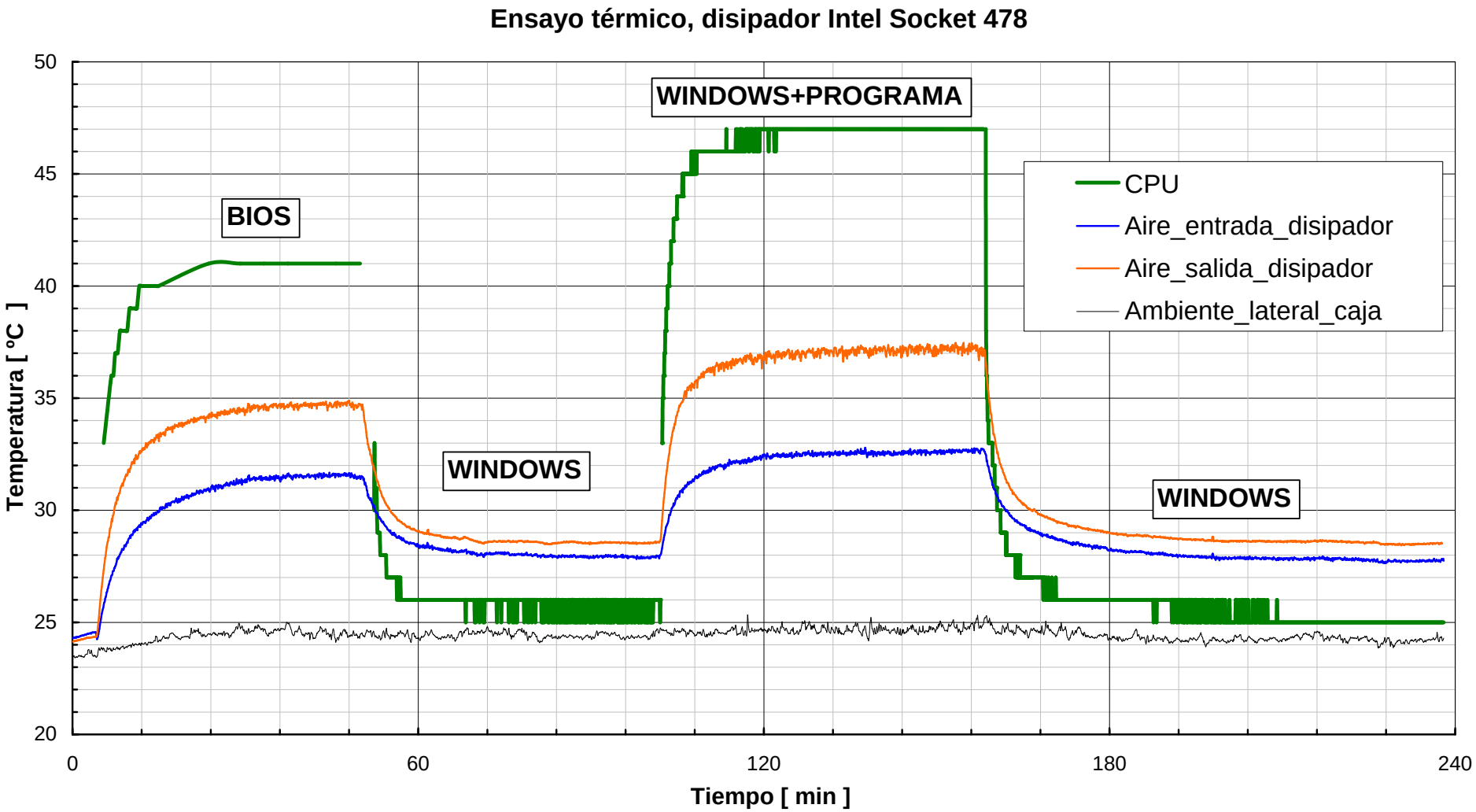

Gráfico 3. Evolución de la temperatura de la CPU usando la configuración Intel Socket 478 Al

4.2 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000

En el gráfico 4 se resumen los resultados obtenidos con la configuración Swiftech MCX-4000. En los gráficos 5 y 6 se refleja el transitorio térmico en el ensayo para este disipador.

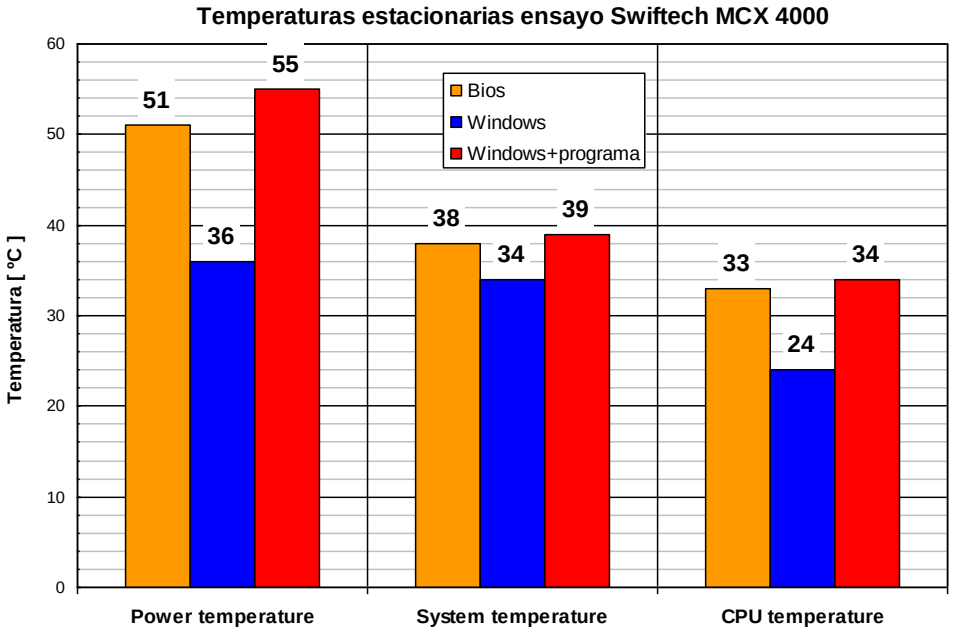

Gráfico 4. Temperaturas estacionarias, configuración Swiftech MCX 4000.

Las principales conclusiones del ensayo a plena carga son las siguientes:

- La capacidad de disipación de calor de esta configuración es mucho mayor que la del modelo original, confirmándose los datos técnicos de los disipadores. La resistencia térmica del modelo MCX-4000 es la mitad de la que se consigue con el modelo Intel. La temperatura del micro a plena carga es de 34ºC. Comparando este resultado con la configuración original, la temperatura del mismo ha disminuido en 13ºC.
- Como consecuencia de una mejor disipación de calor en el micro, se aprecia un incremento en la "Power temperature" y en la "System temperature" con respecto al caso anterior de 4ºC y 2 ºC respectivamente.
- También en este caso existe gran diferencia entre la temperatura del aire de entrada en el disipador, y la temperatura ambiente exterior en el lateral de la caja. Mientras que la temperatura del ambiente oscilaba entre 25ºC y 24ºC, la temperatura del aire a la entrada del disipador era de 31.5ºC, ver gráfico 6.

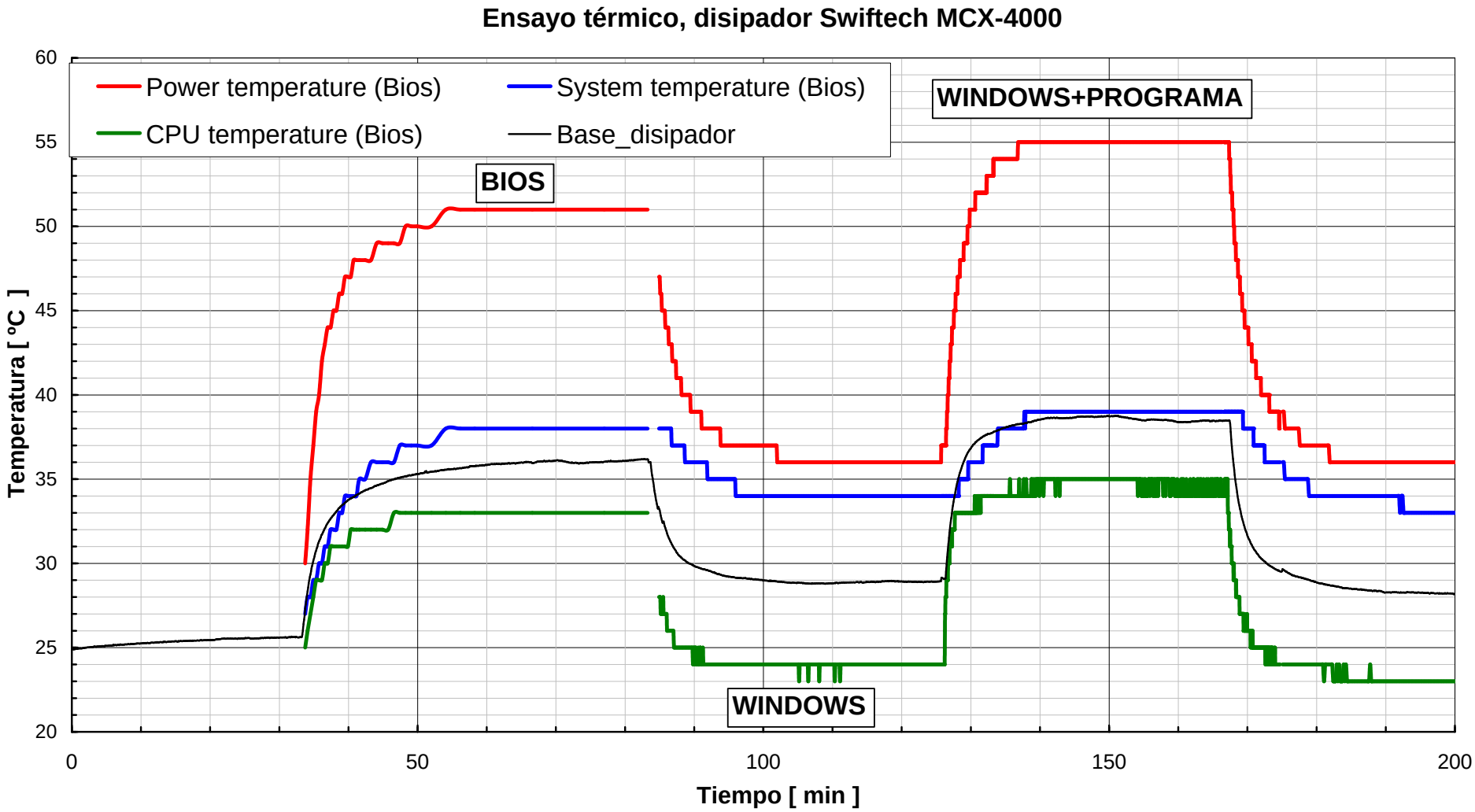

Gráfico 5. Transitorio térmico en el ensayo de la configuración Swiftech MCX-4000.

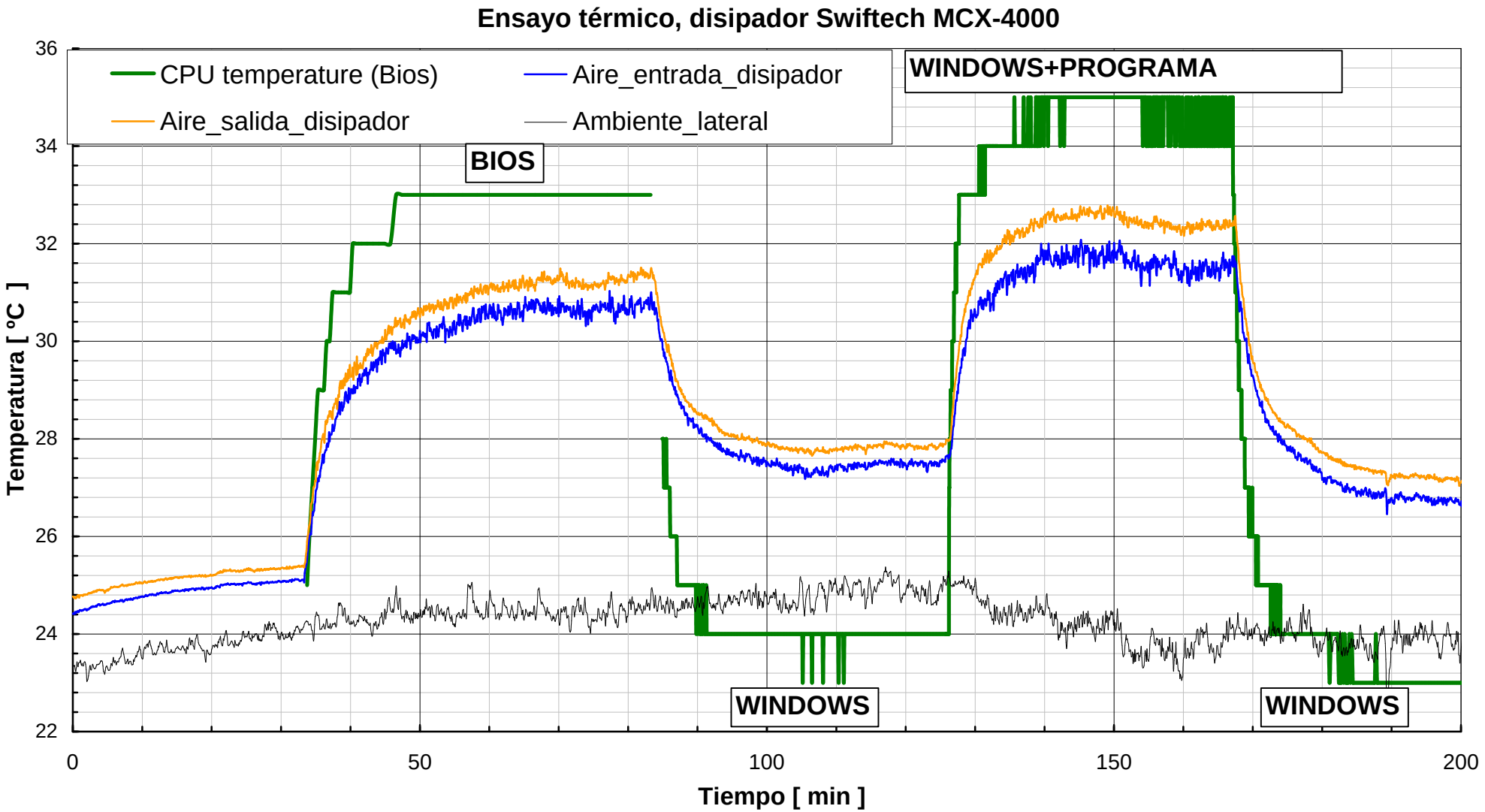

Gráfico 6. Evolución de la temperatura de la CPU usando la configuración Swiftech MCX-4000

4.3 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000+Módulo Peltier

En este caso se han realizado dos ensayos. El proceso de ensayo en el primero de ellos ha sido idéntico a los dos anteriores haciendo circular por el módulo termoeléctrico una corriente de 2 A. En este caso para cada uno de los modos de operación, se ha analizado la influencia de tener colocado el lateral de la caja.

4.3.1 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000+Módulo Peltier, I=2A

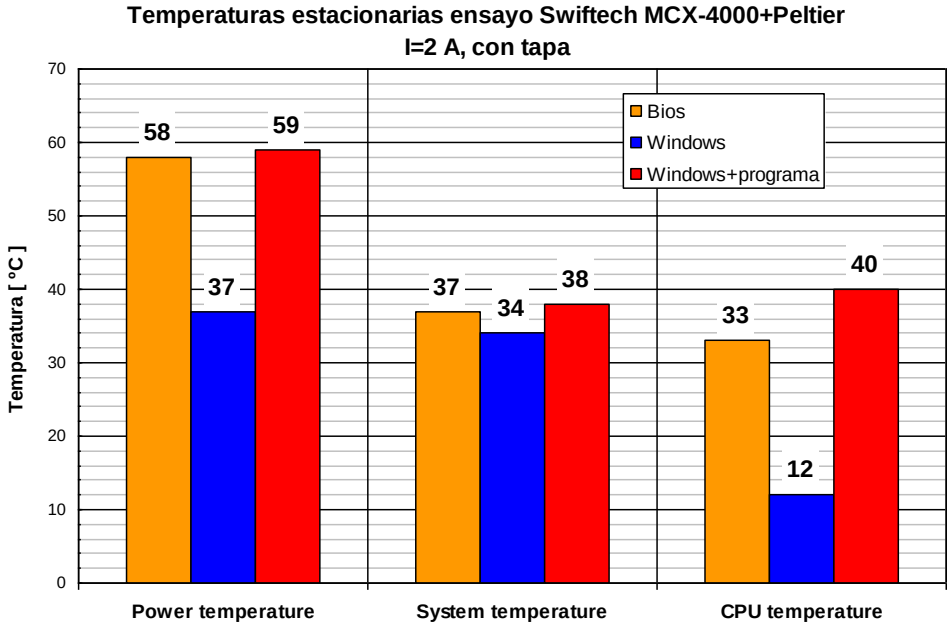

Gráfico 7. Temperaturas estacionarias, configuración Swiftech MCX 4000+Peltier

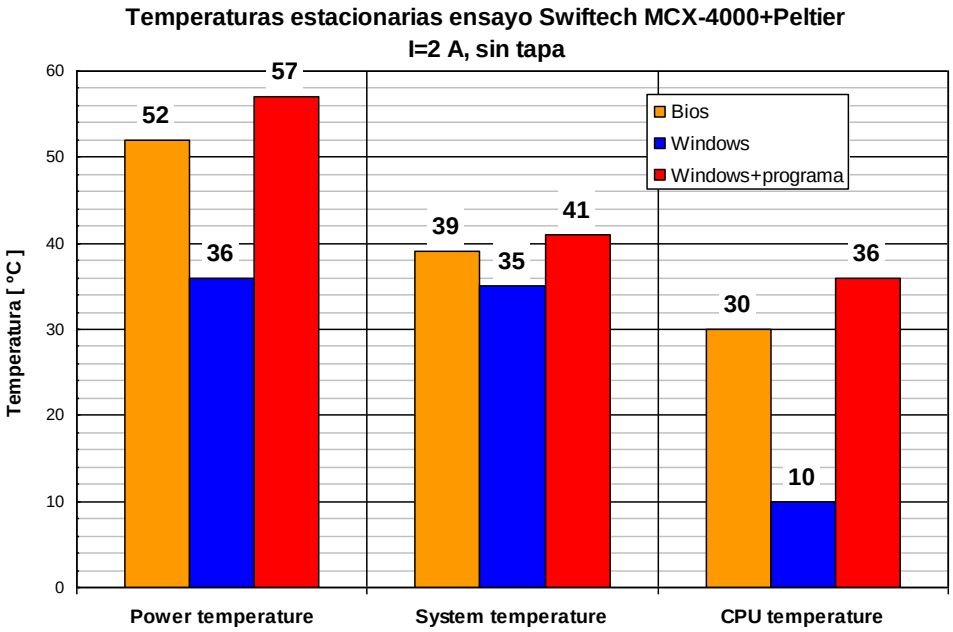

Gráfico 8. Temperaturas estacionarias, configuración Swiftech MCX-4000+Peltier

En los gráficos 7 y 8 se resumen las temperaturas para este ensayo. En el gráfico 9 se puede ver el transitorio térmico para los tres sensores, y en el gráfico 10 la evolución de la temperatura de la CPU, junto a la del aire de entrada y salida del disipador. Las conclusiones principales son las siguientes:

- La intensidad aplicada al módulo termoeléctrico (2 A) no es suficiente para conseguir una refrigeración aceptable del microprocesador cuando se encuentra trabajando a plena carga. Cuando la intensidad eléctrica es muy baja, como es este caso, la capacidad de bombeo del módulo termoeléctrico es tan reducida que el propio módulo se comporta como un aislante térmico, debido a la baja conductividad térmica de los termoelementos. Nótese que la temperatura del micro es 6ºC superior a la que se alcanza en la misma configuración sin el empleo del módulo Peltier.
- Sin embargo, cuando el ordenador está simplemente arrancado en modo Windows (el micro prácticamente no disipa calor), incluso con una intensidad tan baja, se puede apreciar claramente el efecto Peltier. La temperatura del microprocesador disminuye en 12ºC con respecto a la que se obtenía con la misma configuración sin módulo Peltier (24ºC).
- Cuando se analiza la influencia de la tapa lateral de la caja, en el gráfico 10 se aprecia muy bien la variación que sufre la temperatura del aire a la entrada del disipador que hace que la temperatura del microprocesador, bajo la misma condición de carga baje 4ºC.
- Otro aspecto interesante en el análisis de la influencia de la tapa lateral es el aumento de temperatura que se produce en la medida que da el sensor “System temperature”. De alguna forma, al quitar la tapa lateral se perjudica la refrigeración del punto donde se mide esa temperatura.

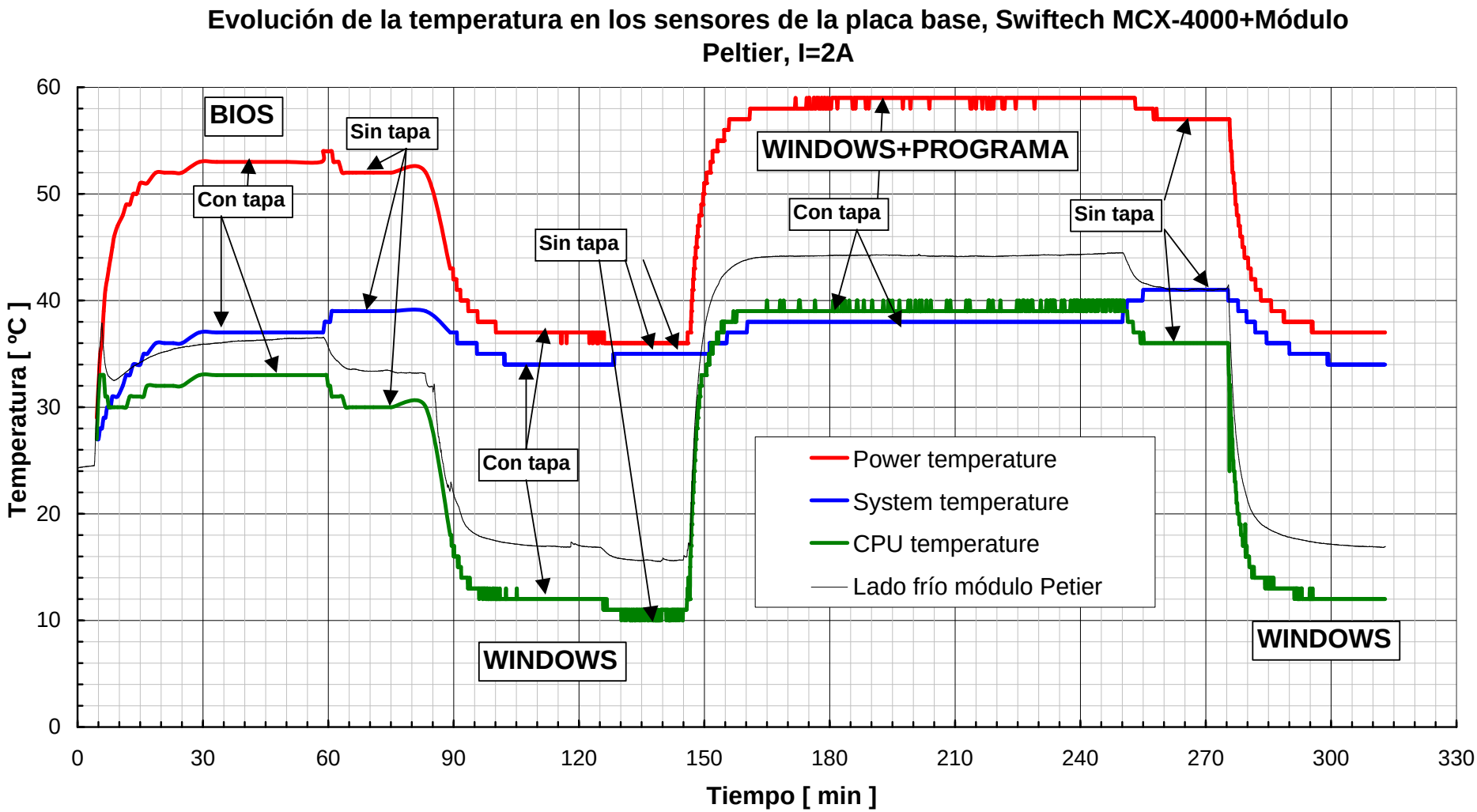

Gráfico 9. Transitorio térmico en el ensayo de la configuración Swiftech MCX-4000+Módulo Peltier I=2 A

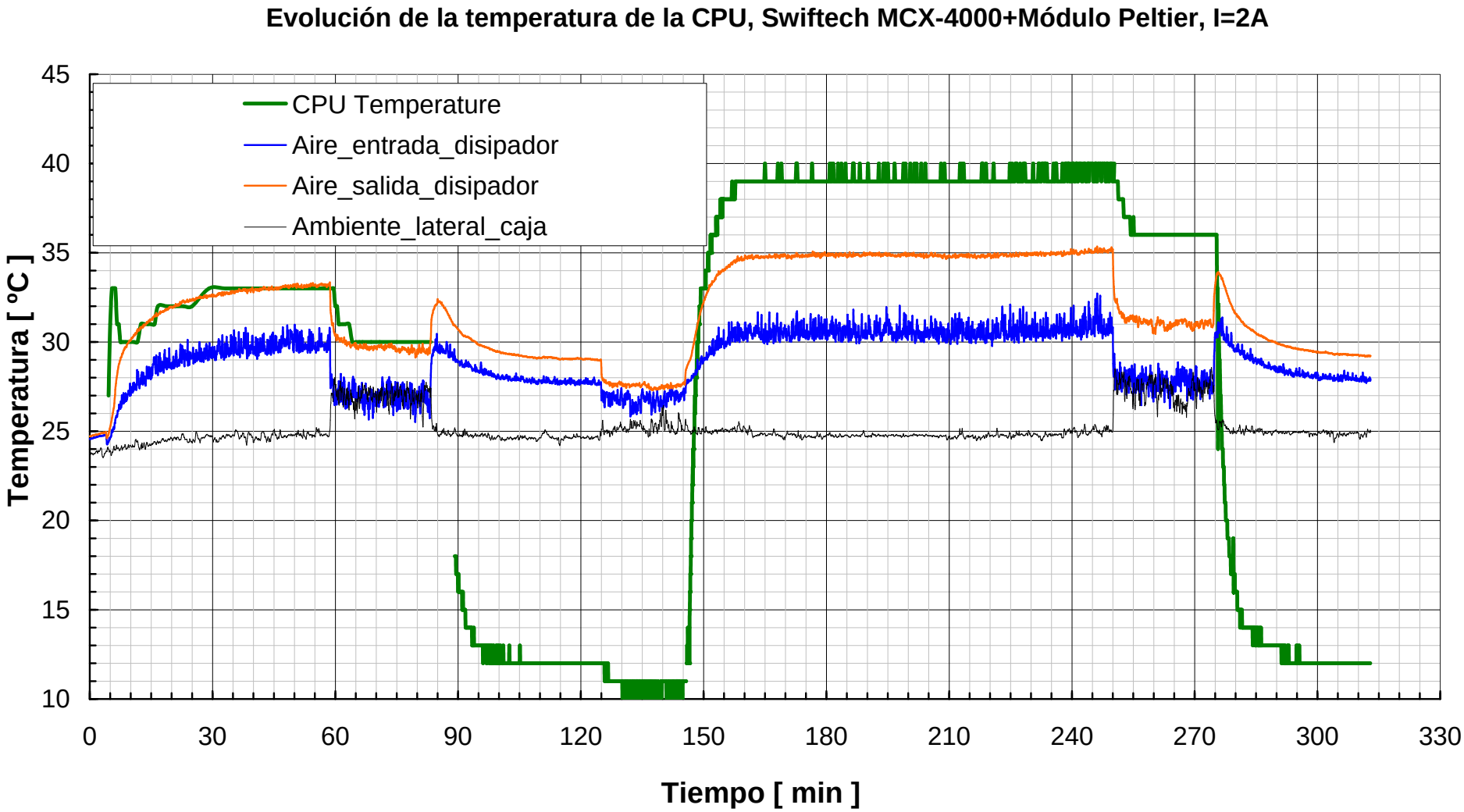

Gráfico 10. Evolución de la temperatura en los sensores de la placa base, módulo Peltier con I=2 A

4.3.2 Ensayo configuración Swiftech MCX 4000+Módulo Peltier, I=4, 6, y 8 A

Después de realizar este primer ensayo se ha analizado el comportamiento de la misma configuración haciendo circular por el módulo termoeléctrico 4, 6, y 8 A, con el micro al 100% de carga. En este ensayo se incluyó como paso previo el análisis del comportamiento del equipo arrancado en modo Windows sin carga cuando circulaba una intensidad de 4 A, y finalmente el comportamiento a plena carga con 8 A pero sin tapa lateral.

En el gráfico 11 se resumen las temperaturas estacionarias para cada uno de los sensores y cada una de las intensidades. En el gráfico 12 se muestra la evolución de la temperatura en el ensayo para los tres sensores. En el gráfico 13 se refleja la evolución de la temperatura del micro y de las temperaturas del aire de entrada y salida del disipador para todo el ensayo.

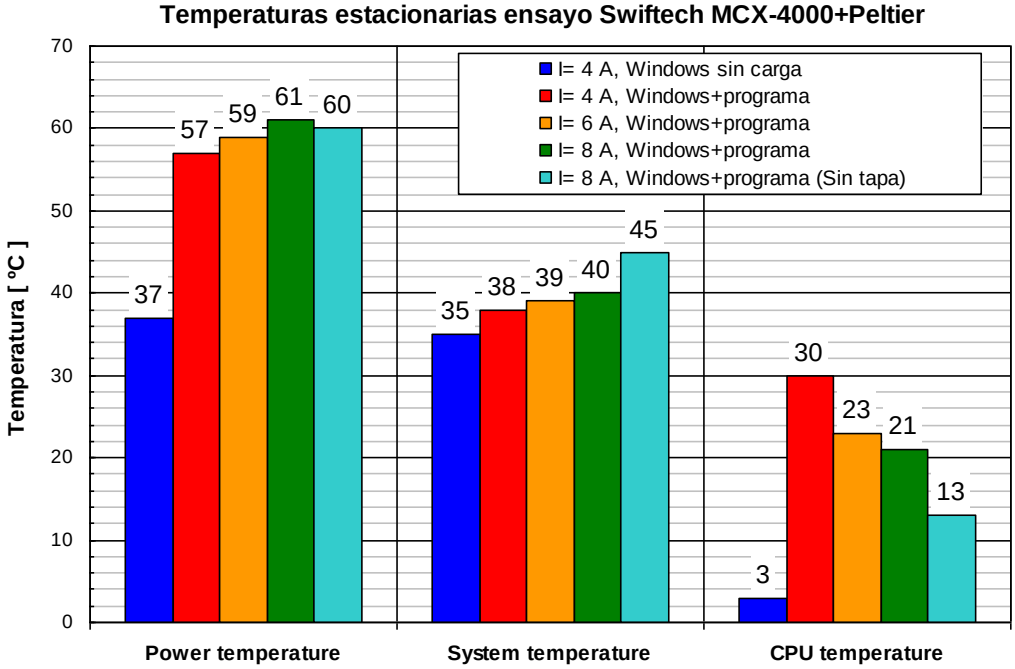

Gráfico 11. Temperaturas estacionarias, configuración Swiftech MCX-4000+Peltier (I=4,6,8 A)

De este ensayo se pueden obtener varias conclusiones:

- Con respecto a la temperatura del micro: si este no está trabajando, para una intensidad de 4 A circulando por el módulo termoeléctrico, su temperatura alcanza temperaturas demasiado bajas (3ºC). Este punto de trabajo puede ser problemático por problemas de condensación del aire. Incluso para intensidades superiores a esta, se alcanzarían temperaturas bajo cero.
- Cuando el micro esta funcionando a plena carga, a partir de 4 A, la temperatura del micro siempre está por debajo del valor alcanzado cuando se monta solamente el disipador Swiftech MCX-4000 sin módulo Peltier. Con 6 A y 8 A si la tapa está cerrada se consigue mantener el micro en temperaturas un poco por debajo de la del ambiente. En este caso hay que resaltar que la temperatura del aire de entrada al disipador es muy elevada si se compara con la temperatura del ambiente 35.3 ºC y 38ºC para 6 A y 8 A respectivamente, frente a los 25ºC.

Cuando se quita la tapa lateral, la temperatura del micro se estabiliza en 13ºC. Incluso este punto de trabajo puede mejorarse si se tiene en cuenta que la temperatura del aire de entrada se estabiliza todavía en 30ºC aproximadamente, debido a que parte del aire de salida caliente que sale del disipador vuelve a la entrada por no existir ningún tipo de canalización.

- La temperatura que marca el sensor "Power Temperature" va aumentando a medida que se aumenta la intensidad que circula por el módulo termoeléctrico. El mismo comportamiento ofrece la temperatura del sistema, y además se aprecia claramente el fenómeno de aumento de temperatura que se produce en este sensor cuando se quita la tapa lateral, ver grafico 12.

Desde el punto de vista del comportamiento del módulo termoeléctrico. Para el caso de 6 A, la tensión entre sus bornas fue de 7.03 V, es decir, la potencia consumida por el mismo fue de 42.18 W. La temperatura del lado caliente fue de aproximadamente 50.03 ºC, y la temperatura de la cara fría 26.06 ºC. Entrando en los gráficos de la figura 4 para un salto térmico de 24ºC y con el valor de intensidad de 6 A, se obtiene que la potencia frigorífica bombeada por el módulo termoeléctrico sería de 48 W y por tanto la eficiencia del módulo termoeléctrico sería de 1.14.

Para el caso de 8 A con tapa lateral quitada, la tensión entre bornas del módulo fue de 9.48 V, la temperatura de la cara caliente 50.73 ºC, y la temperatura de la cara fría 16,84 ºC. Repitiendo el proceso entrando con un salto térmico de 33,89ºC se obtiene que el módulo termoeléctrico estaría dando una potencia frigorífica de aproximadamente 50 W. En este caso el módulo estaría trabajando con una eficiencia de aproximadamente 0.65. A costa de un mayor consumo se consigue aumentar el salto térmico entre las caras y por tanto disminuir la temperatura en el micro.

Del análisis de ambos casos se deduce que el consumo eléctrico del micro es aproximadamente de 50 W.

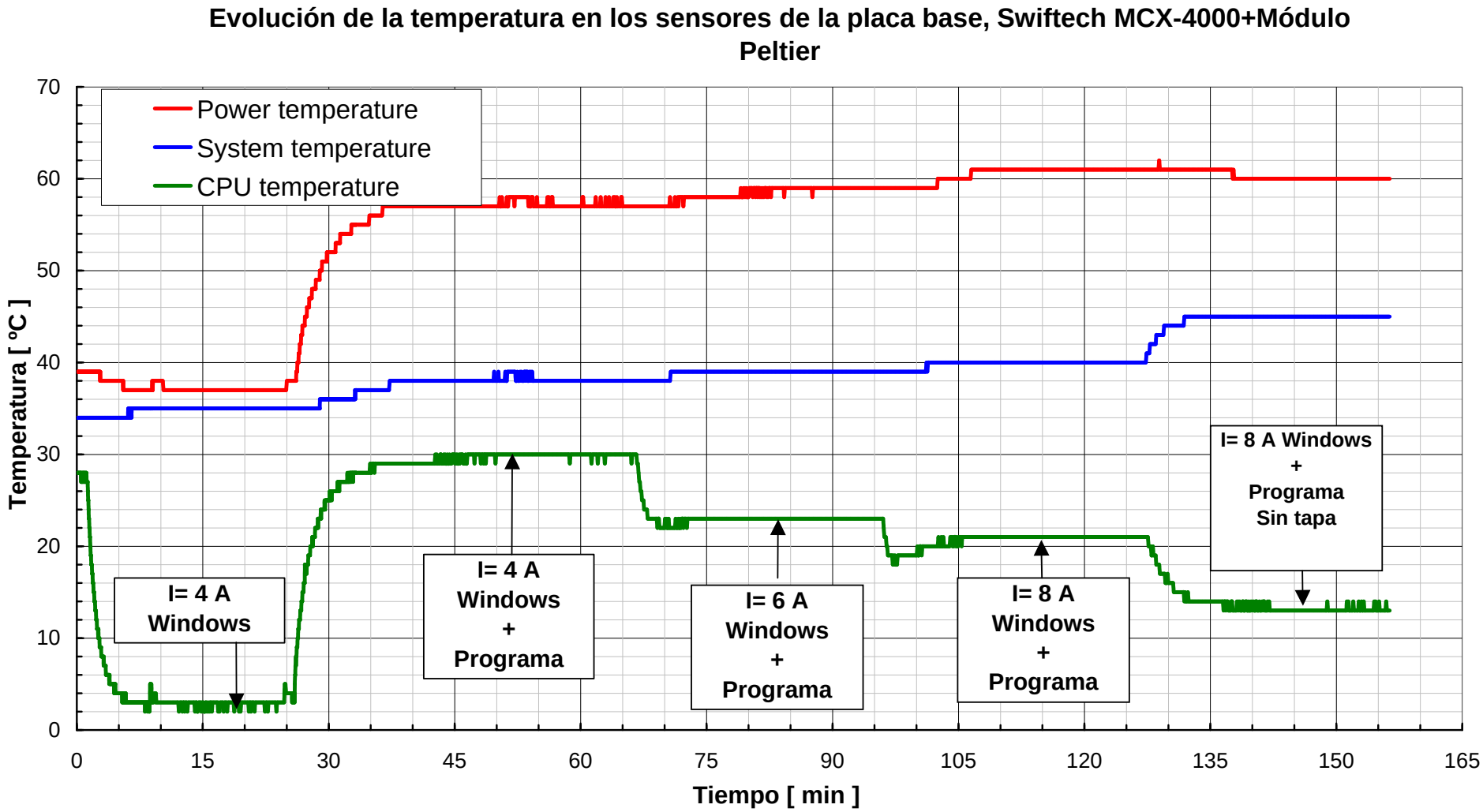

Gráfico 12. Evolución de la temperatura en los sensores de la placa base, módulo Peltier con diferentes intensidades

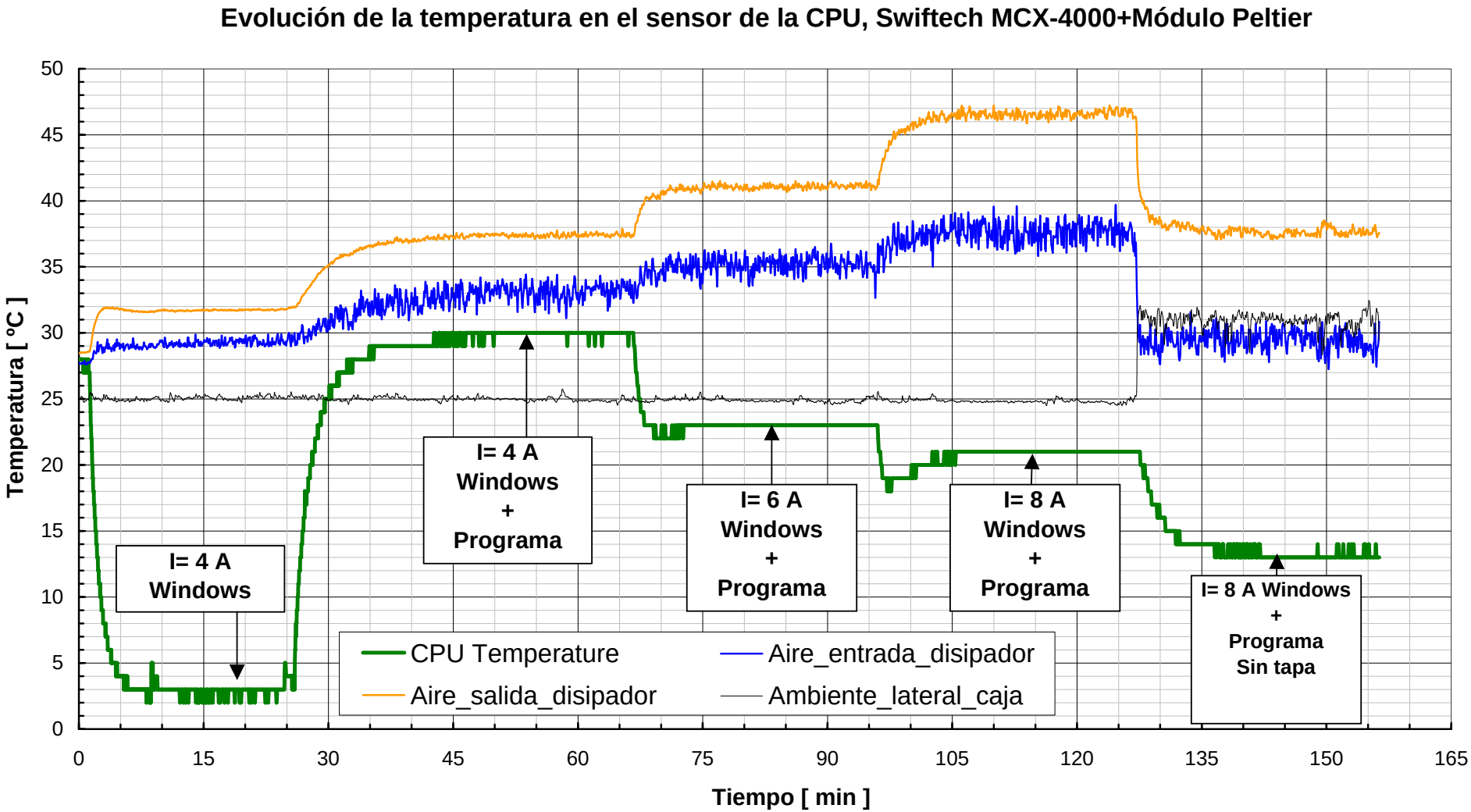

Gráfico 13. Transitorio térmico en el ensayo de la configuración Swiftech MCX-4000+Módulo Peltier,diferentes intensidades

5 CONCLUSIONES FINALES

Temperatura en el microprocesador

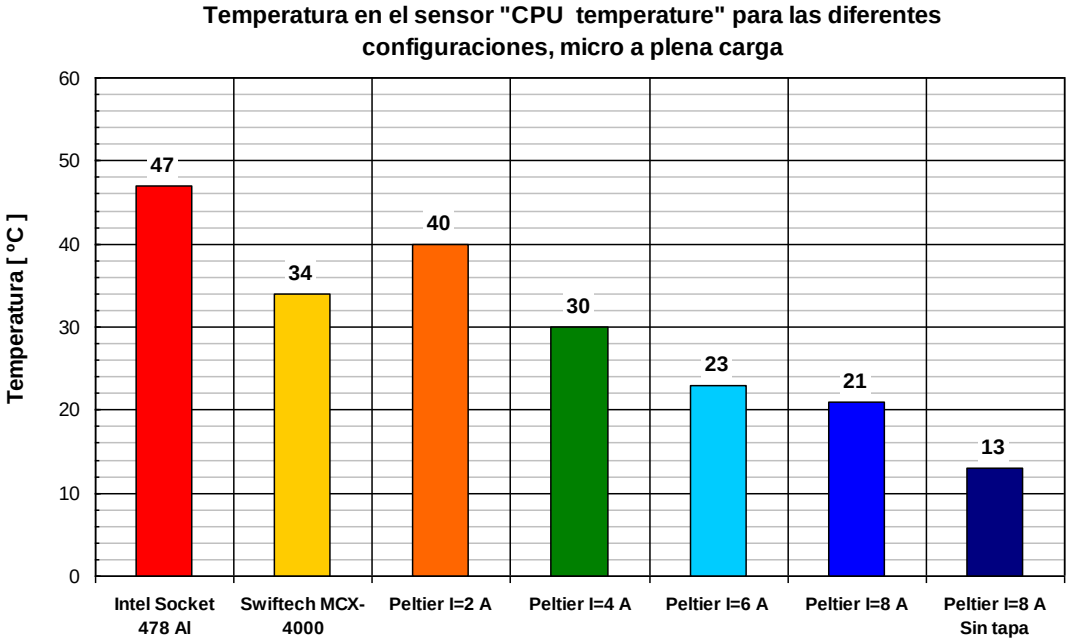

Gráfico 14. Resumen de temperaturas en el microprocesador, diferentes configuraciones

- Cuando el micro funciona a plena carga, se puede conseguir reducir su temperatura de trabajo de 47 ºC a 34 ºC mediante la utilización de un disipador de altas prestaciones.
- El módulo Peltier para intensidades muy bajas (I=2 A) se comporta como un aislante térmico.
- La utilización de la tecnología Peltier, a partir de una intensidad de 4 A, permite disminuir la temperatura del micro. Para 6 A es capaz de mantener la temperatura por debajo de la temperatura ambiente, e incluso si la renovación del aire en el interior de la caja del PC fuese la correcta, se pueden llegar a alcanzar temperaturas realmente bajas (13ºC), que incluso permitirían mejorar las prestaciones del micro mediante *overclocking*.

Temperatura del sensor "Power temperature"

Aunque este elemento no es objeto de análisis en este estudio, en el gráfico se aprecian varios detalles interesantes:

- Es la temperatura crítica del sistema, la temperatura marcada por este sensor en el caso de la configuración de disipador original es 4ºC superior a la marcada por el sensor del microprocesador.
- A medida que aumentamos la capacidad de disipación de calor en el microprocesador, la temperatura de este sensor aumenta. Posiblemente esto sea debido a que se mide en un punto cercano al mecanismo de unión del sistema de disipación a la placa base. En la configuración original el sistema de unión es un zócalo de plástico (buen aislante térmico). Sin embargo, en la configuración con

el disipador Swiftech, la unión a la placa se realiza mediante uniones atornilladas. A medida que aumentamos la intensidad eléctrica que circula por el módulo termoeléctrico, mayor es la potencia calorífica que se aplica a la base del disipador, y por tanto mayor es la potencia térmica a través de los puentes térmicos hacia la placa base, impidiendo que se refrigere de forma correcta.

- La variación de esta temperatura cuando funciona el módulo termoeléctrico no es muy grande, produciéndose tan solo un incremento de 4ºC.

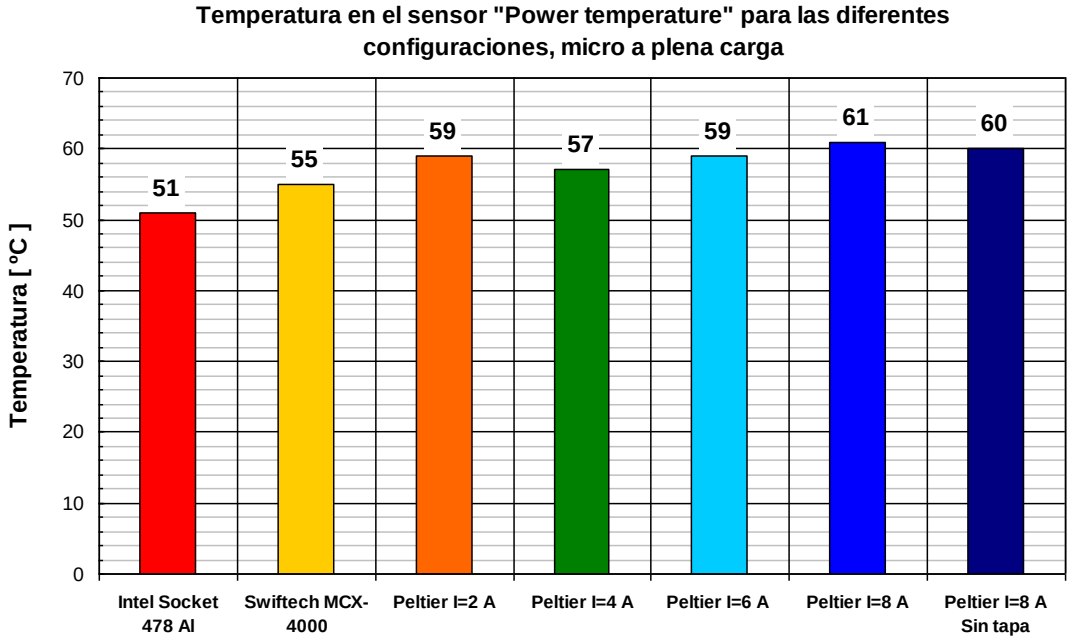

Gráfico 15. Resumen de la temperatura "Power temperature", diferentes configuraciones

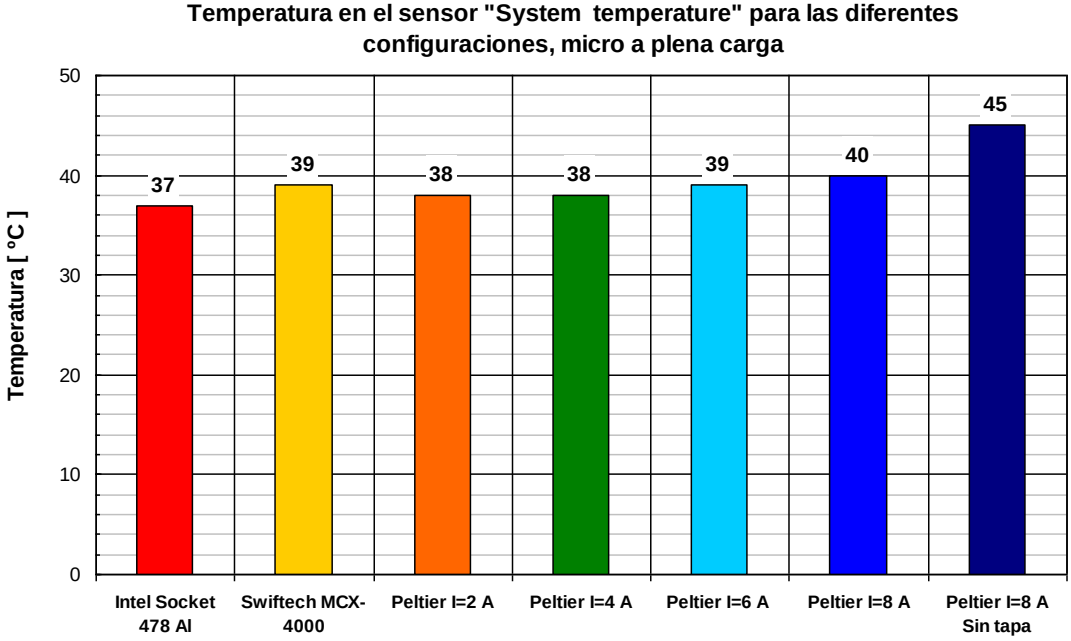

Gráfico 16. Resumen de la temperatura "System temperature", diferentes configuraciones

Temperatura del sensor "System temperature"

- La temperatura medida por este sensor es prácticamente invariable e independiente del tipo de configuración de disipación utilizada. Sólamente se observa un comportamiento curioso cuando se quita la tapa lateral de la caja, ya que la temperatura en vez de descender aumenta. De alguna forma, al quitar la tapa se perjudica la disipación de calor en la zona de medida del sensor
- Por último existe una mala disposición de los ventiladores y las dirección del flujo de aire. La temperatura del aire a la entrada del disipador de la CPU es muy superior a la temperatura ambiente cerca del ordenador. Este mal diseño también se hace patente con la disminución brusca de la temperatura al quitar la tapa lateral.