

Informe Técnico, basado en un Protocolo de Ensayos de Laboratorio, de Verificación del Funcionamiento del Equipo V-Check MP

Eduard Ballester, Francesc Guinjoan,
Robert Piqué y Guillermo Velasco

Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Enginyeria Electrònica
Power Electronics Research Center
Energy Processing and Integrated Circuits Group
Electrònica de Potència i Accionaments Elèctrics

EUETIB – Edificio UR1
Urgell 187 – 08036 BARCELONA

Barcelona, a 16 de mayo de 2014



1. Antecedentes.

- 1.1. Incidencias de funcionamiento del dispositivo modelo V-Check MP.
- 1.2. Ensayos en cámara climática del condensador EPCOS MKP X2.
- 1.3. Respuesta EPCOS.
- 1.4. Modificación del circuito original.

2. Descripción del trabajo realizado.

- 2.1. Documentación consultada
- 2.2. Análisis y Simulación.
 - 2.2.1. Análisis del circuito electrónico.
 - 2.2.2. Simulación del comportamiento de la electrónica.
- 2.3. Ensayos.
 - 2.3.1. Inspección visual de las muestras a ensayar.
 - 2.3.2. Banco de trabajo y entorno.
 - 2.3.3. Descripción de los ensayos.
 - 2.3.4. Resultados.

3. Conclusiones.

1. Antecedentes.

La empresa Cirprotec (<http://www.cirprotec.com>) comercializa un dispositivo de protección dinámica frente a sobretensiones de red [1], de acuerdo a los parámetros dictados por la norma EN-50550, conocido comercialmente como **V-Check MP** (figura 1), habiendo encargado [2] la construcción de la electrónica asociada a este dispositivo (figura 2) a la empresa DigiProces (<http://www.digiproces.com>).

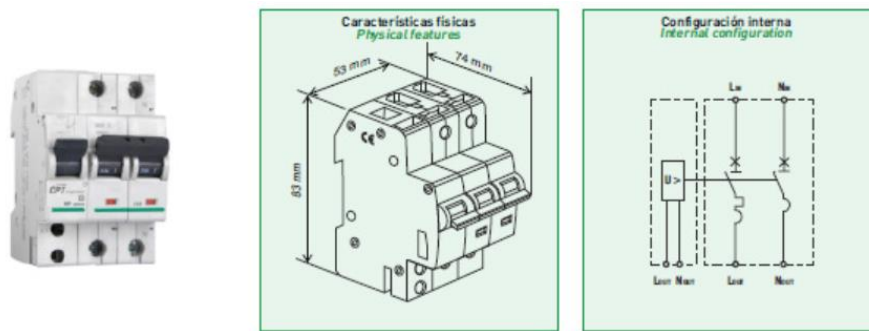


Figura 1.- Dispositivo V-Check MP [1].

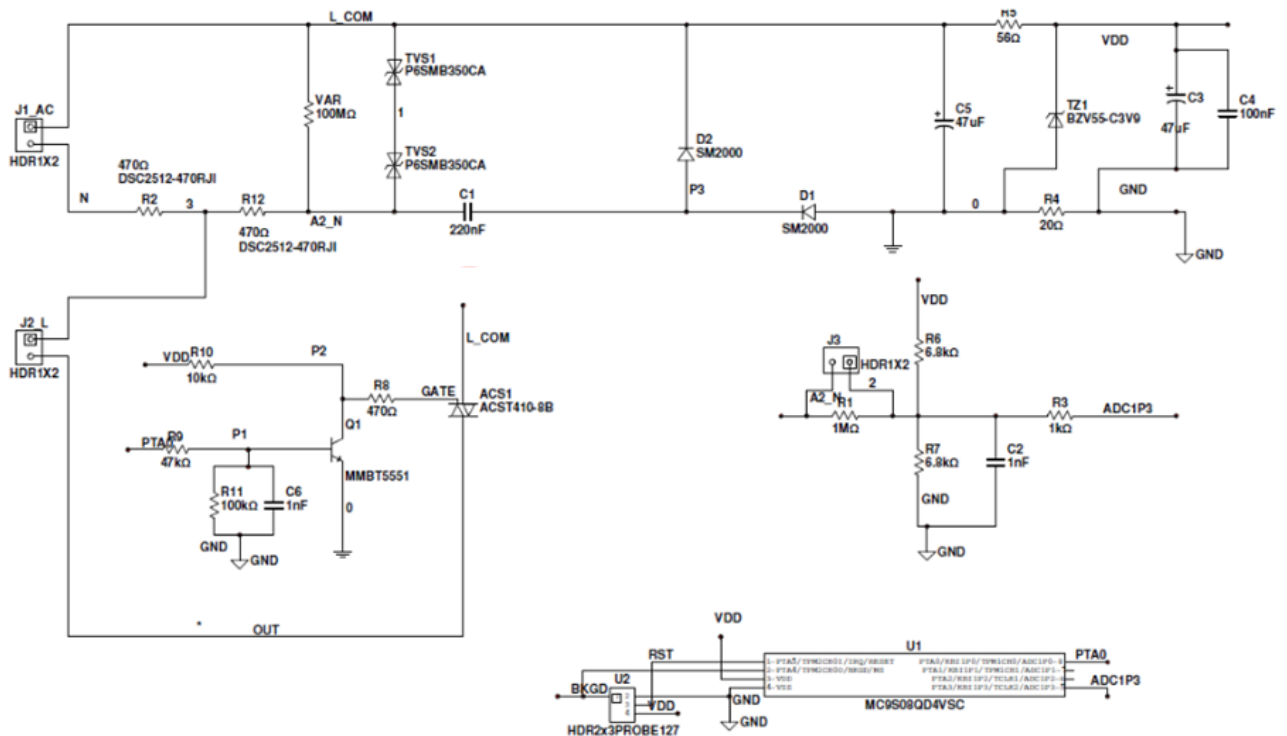


Figura 2.- Esquema de la electrónica del V-Check MP [2].

1.1. Incidencias de funcionamiento del dispositivo modelo V-Check MP.

Aproximadamente cinco meses más tarde de su comercialización fueron devueltos a Cirprotec un gran número de dichos dispositivos de protección contra sobretensión (POP) modelo **V-Check MP**, según se detalla en el documento 40113052593001-U2-INFORME INCIDENCIA.pdf [3].

Los dispositivos devueltos actuaban por debajo de la que debía ser la tensión umbral de disparo de la protección. Tras el estudio de las muestras devueltas, este mal funcionamiento se atribuyó a la degradación del condensador EPCOS MKP X2 (C1 en la figura 2), de referencia de catálogo B32922C3224M (figura 3).

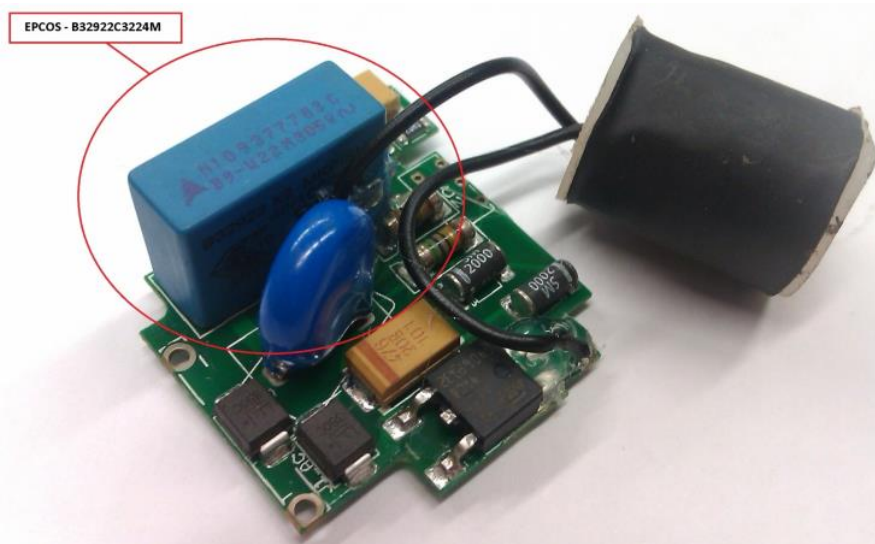


Figura 3.- Circuito electrónico del V-Check MP, con el componente sospechoso marcado [3].

1.2. Ensayos en cámara climática del condensador EPCOS MKP X2.

Cirprotec encarga a *Lightning Research Institute of Catalonia SL* (LRIC) la realización de ensayos de simulación acelerada de vida o *Accelerated Life Test* (ALT) en una muestra de condensadores EPCOS MXP X2 B32922C3224M [4], sobre los que había la sospecha de degradación.

Efectivamente LRIC llega a la siguiente conclusión, extraída del documento 40113052593001-U2-ENSAYOS.pdf [5]:

CONCLUSIONS

The samples are seriously damaged after the accelerated life test, triggering at voltages lower than the minimum level allowed or showing a decrease of capacitance value higher than 50%.

1.3. Respuesta EPCOS.

Tras los ensayos de LRIC Cirprotec contacta con el fabricante del componente degradado, EPCOS, el cual elabora un informe técnico, documento 40113052593001-Respuesta de Epcos.pdf [6], en el que indica lo siguiente (traducción del original en inglés):

En efecto, en todas las muestras se ha detectado una fuerte degradación de la capacidad por degradación del metal en la película metálica.

Esta degradación puede ser motivada por:

1. - *Los condensadores han sido sometidos a condiciones desfavorables como:*
 - *Tensión AC más alta de la especificada.*
 - *Alta frecuencia durante el funcionamiento.*
 - *Alta humedad funcionando en AC.*
 - *Alta temperatura durante el funcionamiento.*

2. - *Este condensador está siendo utilizado equivocadamente en el circuito de aplicación.*
 - *Este condensador está siendo utilizado conectado "en serie" con la fuente. En cambio este tipo de condensador (X2) debe ser utilizado en paralelo a la fuente (entre fase y neutro).*

La combinación de 1 y 2 pueden haber acelerado el fenómeno de degradación.

1.4. Modificación del circuito original.

A raíz del informe de LRIC y de la respuesta de EPCOS, Cirprotec encarga (segundo semestre de 2013) a DigiProces una revisión de la electrónica del **V-Check MP** que permita un funcionamiento correcto del dispositivo, lo que conlleva a la sustitución, entre otros componentes, del condensador tipo MKP X2 de 220 nF, del fabricante EPCOS y modelo de catálogo B32922C3224M, por el condensador MKT X2, de 150 nF, del fabricante PILKOR y modelo de catálogo PCX2347F31154 [7].

Las sustituciones de componentes indicadas en [7] se complementan, supuestamente, con la reprogramación de la unidad digital de control, el microcontrolador modelo MC9So8QD4VSC del fabricante FreeScale, para ajustar el correcto funcionamiento del sistema bajo la norma EN-50550.

Esta modificación comporta, según todos los indicios hasta la fecha de elaboración del presente informe, un comportamiento correcto del nuevo diseño.

2. Descripción del trabajo realizado.

En diciembre de 2013 ingenieros de Mapfre contactan con la *Universitat Politècnica de Catalunya*, en concreto con los profesores firmantes de este informe, pertenecientes al Departamento de Ingeniería Electrónica, para la elaboración de un informe técnico que valide los aspectos recogidos en diversa documentación [1-7] entregada a dicho grupo de investigación en base a un convenio de colaboración titulado ***Informe técnico, basado en un protocolo de ensayos de laboratorio, de verificación del funcionamiento del equipo V-Check MP***, firmado en Barcelona el 13 de enero de 2014 (referencia CONV1401) que incluye las cláusulas pertinentes relativas a confidencialidad, protocolo de ensayos, elaboración de un informe, calendario y otros aspectos formales relativos al acuerdo de colaboración.

Las siguientes páginas recogen el trabajo realizado de acuerdo con dicho convenio de colaboración.

2.1. Documentación consultada

Se ha buscado y encontrado abundante información relativa al tipo de condensador "C1" utilizado en el ***V-Check MP*** además de la documentación inicialmente aportada por Mapfre. La documentación más importante se recoge en el apartado de referencias de este mismo informe, como por ejemplo la dedicada a la utilización de condensadores en serie y en paralelo con la red [8-11] o a la variación de características por funcionamiento [12].

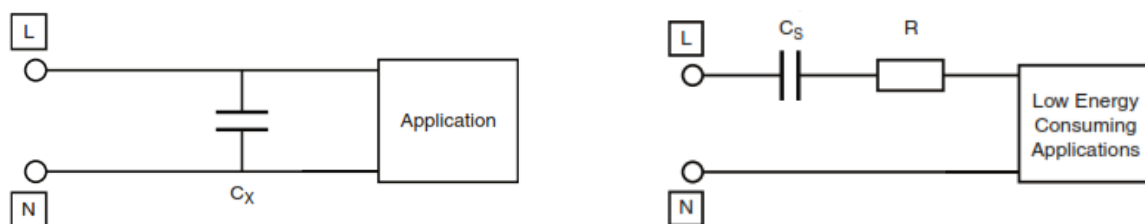


Figura 4.- Condensadores en paralelo (izquierda) y en serie (derecha) con la red [8].

Concretamente en [10] (*EPCOS Film Capacitors Metallized polyester Film Capacitors (MKT)*) se indica que en aplicaciones "en serie" con la red se recomienda el condensador con dieléctrico de poliéster metalizado (MKT), mientras que en [11], *EPCOS Film Capacitors EMI Suppression Capacitors (MKP)*, se indica que este tipo de condensador con dieléctrico de polipropileno (MKP) es adecuado en aplicaciones "en paralelo" con la red.

Dichas observaciones se realizan por diversos fabricantes de condensadores de película metálica como, por ejemplo Vishay [8] quien indica claramente, mediante referencias a la norma IEC 60664-1 [13], las diferencias en cuanto a características constructivas y eléctricas de los condensadores que deben funcionar en paralelo con la red y los condensadores que deben hacerlo en serie con la red.

En relación a los condensadores que deben funcionar en serie con la red eléctrica, la documentación consultada de diversos fabricantes presenta plena coincidencia con el informe elaborado por EPCOS [6], en base a sus prestaciones para un correcto funcionamiento. Por ejemplo en la ya citada [8] se puede encontrar:

...now the functions to be fulfilled for film capacitors in series with the mains are:

- *Stable voltage dropper: A stable capacitance must be guaranteed over the total lifetime of the application*
- *An adjusted tolerance: To guarantee a well defined current supply*
- *Continuous biased by almost the mains voltage: Internal ionization must be avoided*

Como primera conclusión se puede indicar que, de acuerdo con la bibliografía consultada

- El uso incorrecto de un condensador en una aplicación para la que no ha sido diseñado se puede traducir en una pérdida de sus características eléctricas, como deterioro del dieléctrico y variación del valor de su capacitancia.
- El uso bajo condiciones fuera de los márgenes establecidos (como tensión, humedad o temperatura elevados) deriva en los mismos resultados anteriores.

En cualquiera de los dos casos anteriores el resultado es el de fallo del sistema electrónico que usa ese componente debido a la pérdida de sus características principales.

2.2. Análisis y Simulación.

Una vez estudiada la documentación indicada anteriormente se define el protocolo de ensayos a realizar empleando los dispositivos completos **V-Check MP** de última generación y las muestras, material también aportado por Mapfre, con la electrónica incorporada en los **V-Check MP** de primera generación que presentó los problemas descritos con anterioridad.

En primer lugar se decide estudiar dicha electrónica y realizar simulaciones para verificar su validez conceptual y su correcto funcionamiento.

2.2.1. Análisis del circuito electrónico.

En la figura 5 se pueden apreciar los principales bloques de los que consta la electrónica de control del **V-Check MP**. Dicha electrónica debe detectar las sobretensiones de acuerdo a la normativa vigente y accionar el elemento interruptor que desconecta la red eléctrica del equipo o instalación protegido por el **V-Check MP**.

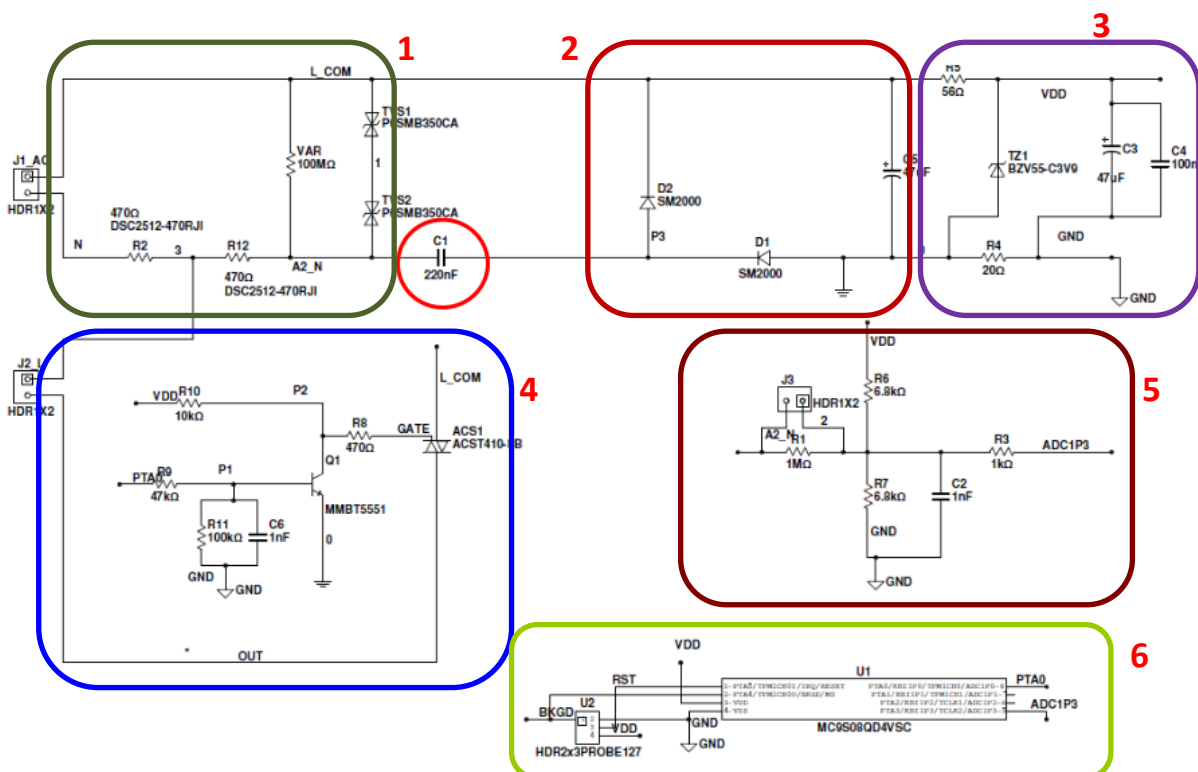


Figura 5.- Bloques de la electrónica del V-Check MP.

La función de dichos bloques es la siguiente:

- **Bloque 1. Circuito de entrada.** Mediante el conector J1 se conecta el dispositivo *V-Check MP* a la red eléctrica, adapta la resistencia de entrada para limitación de corriente, mediante un divisor de tensión resistivo, genera el nudo donde se realizará la medida de la tensión de red (A2_N) y protege el circuito mediante varistores.
- **Bloque 2. Rectificador.** Forma parte de la fuente de alimentación DC del equipo y permite obtener una tensión de continua rectificada para, mediante un filtro capacitivo, poderla usar como entrada del estabilizador de tensión.
- **Bloque 3. Estabilizador de tensión.** Basado en un diodo Zener permite obtener la tensión DC no regulada V_{DD} de 3,9 V para alimentar la electrónica de los bloques 4, 5 y 6.
- **Bloque 4. Circuito de disparo de la protección a sobretensiones.** Este bloque utiliza un triac (protegido frente a sobretensiones) para, mediante una técnica "crowbar", provocar el disparo de la protección a las sobretensiones.
- **Bloque 5. Acondicionador de la señal de entrada al microcontrolador.** Adapta la tensión de alterna obtenida en el punto A2_N del circuito de entrada al nivel requerido por el microcontrolador (bloque 6), añadiendo a esta tensión el nivel de tensión de *offset* adecuado para su correcto procesado.
- **Bloque 6. Microcontrolador.** Dispositivo programable que permite la monitorización y supervisión de la tensión de red y la actuación sobre el sistema para activar la protección en caso de sobretensión.

El principio funcional del sistema (figuras 2 y 5) es el siguiente:

El sistema se conecta a la red de 230 Vrms a través del conector J1_AC (bloque 1), que está conectado a un interruptor mecánico o seccionador y que permite la conexión y desconexión del sistema a la red. Este interruptor sólo se puede armar manualmente desde el exterior del equipo, pero se puede desarmar de forma externa (actuación manual) o bien internamente mediante la actuación mecánica sobre un resorte. En este último caso el desarme interno lo produce el vástago de un electroimán, cuya bobina está conectada al conector J2_L (bloque 4).

Mediante la impedancia de malla R_2 - R_{12} - C_1 (bloque 1) se adquiere la tensión de red. Además (bloques 2 y 3) se obtiene la tensión de 3,9 V para la alimentación del *crowbar* (bloque 4) y del microcontrolador (bloque 6).

La tensión existente en el punto A_2_N se adapta (bloque 5) al nivel requerido por el microcontrolador, de forma que una tensión proporcional a la de la red y, con un nivel de offset superpuesto, se inyecta a la entrada $ADC1P_3$ de dicho microcontrolador donde, mediante programa, se determina si esa tensión es "normal" o presenta una sobretensión.

En condiciones normales de funcionamiento, es decir, sin sobretensión, el microcontrolador activa el transistor Q_1 a través de su salida PTA_0 , manteniendo el triac ACS_1 en bloqueo. El bloqueo del triac ACS_1 implica que la bobina del electroimán conectado a J_2_L se mantiene sin excitación y, en consecuencia, la conexión a red se mantiene sin seccionar.

Si por el contrario se detecta una sobretensión, el microcontrolador desactiva el transistor Q_1 conectado a su salida PTA_0 , lo que provoca un cambio de estado en el triac ACS_1 que pasará al estado de conducción. La conducción del triac implica la excitación de la bobina del electroimán conectado a J_2_L y la consecuente actuación mecánica sobre el seccionador de la conexión a red. El desarmado del seccionador del sistema implica una actuación mecánica directa sobre el elemento magnetotérmico que tiene asociado, lo que supone también su desarmado, de forma que se desconecte de la tensión de red el equipo o la instalación protegida por el **V-Check MP**.

Como aspectos a comentar sobre esta electrónica se remarcan los siguientes:

- El circuito de la fuente de alimentación DC se corresponde con un esquema clásico muy utilizado en aplicaciones de alimentación de equipos de muy bajo consumo conectados a red, como es la de contadores de energía eléctrica inteligentes. En este sentido se trata de una electrónica "clásica" y, como tal, suficientemente comprobada a lo largo de los años.
- La utilización de un microcontrolador permite, mediante *software*, la programación del mismo para ajustar los parámetros que definen el funcionamiento del sistema, como por ejemplo, el cambio del condensador

C₁ por otro de mayor tamaño (por ejemplo para soportar mayores tensiones) o el cambio de la tensión umbral de disparo de la protección.

- Se podría rediseñar el sistema utilizando otras tecnologías para sensar la tensión de red, empleando componentes menos críticos que el condensador C₁, pero posiblemente el uso de otros componentes encarecería el sistema.
- El principio operativo del sistema es correcto, como así lo validan las simulaciones realizadas y que se comentan en el siguiente apartado. No obstante, la tensión introducida al microcontrolador y que debe ser procesada para compararse con la de referencia para el disparo de la protección, es muy pequeña en comparación a la tensión de red. Los bloques 1 y 5 introducen una atenuación en la señal de red de aproximadamente 3,5 mV/V antes de ser procesada, por lo que se pueden producir falsas detecciones en valores en torno a los umbrales de disparo del equipo debido a esta baja sensibilidad en la medida.

2.2.2. Simulación del comportamiento de la electrónica.

La verificación del funcionamiento de la electrónica del **V-Check MP** se ha realizado con el simulador PSIM (© Powersimtech, <http://powersimtech.com/products/psim>), de acuerdo con el esquema indicado en la figura 6, en base a una modelización eléctrica, funcional o de comportamiento de sus bloques constitutivos, considerando el umbral de no disparo en los 255 Vrms indicados por la norma EN50550.

Como aspectos más importantes en dicho esquema de simulación se comentan los siguientes:

- La tensión de red se modeliza por las fuentes V_Main y V_Overvoltage. La primera impone las condiciones operativas normales (230 Vrms = 325 Vpico), mientras que la segunda impone la condición de sobretensión, controlando en tiempo de simulación, si conviene, el punto de entrada de la sobretensión.
- El componente crítico C₁ se modeliza eléctricamente mediante su capacitancia, C₁, y una resistencia en serie, R_S, la cual, en condiciones normales, representa la resistencia serie equivalente (ESR) del componente, mientras que en condiciones de deterioro de dicho componente esta resistencia modeliza a la del dieléctrico. Estos valores se pueden ajustar, si conviene, en tiempo de simulación.
- Para el microcontrolador se utiliza un modelo de comportamiento en el que se pueden fijar los parámetros más importantes, como el nivel umbral de actuación de

la protección (V_Umbral) o el tiempo de cálculo del valor eficaz de la tensión sensada (bloque RMS) mediante bloques funcionales. Dicho microcontrolador, en función de su "programa" y de la tensión detectada generará una señal, V-Proteccion, activa baja que será la encargada de seccionar, mediante SS1, el sistema de la red en caso de sobretensión o de mantenerlo operativo en caso de funcionamiento normal.

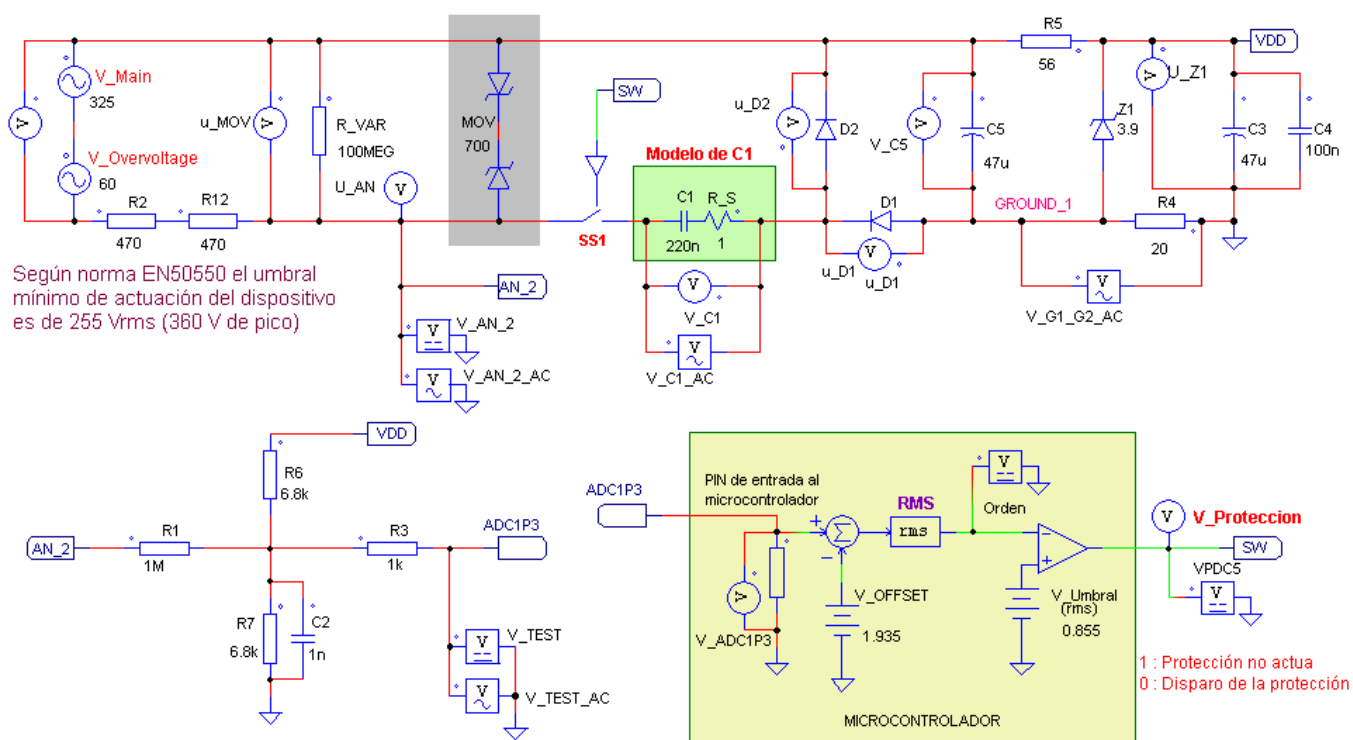


Figura 6.- Esquema PSIM correspondiente a la simulación del circuito de la figura 2.

Los resultados obtenidos mediante simulación a partir de diversas condiciones tanto de red como funcionales, algunos de los cuales se recogen en las figuras 7 a 9, permiten verificar las predicciones obtenidas a raíz del estudio teórico realizado para la electrónica desarrollada por DigiProces para el **V-Check MP**, los cuales se resumen en los siguientes puntos:

- En condiciones normales de operación el sistema funciona adecuadamente, generando una señal de mantenimiento de la protección inactiva tipo "seccionador cerrado, red conectada" (figura 7, V-Proteccion = 1), para tensiones de red inferiores al umbral marcado por la norma EN-50550 de 255 Vrms. Por el contrario, para valores de la tensión de red superiores a los 255 Vrms, la protección se habilita (figura 8, V-Proteccion = 0) imponiendo el "seccionador abierto, red desconectada", de acuerdo a las especificaciones funcionales del **V-Check MP**.

- Se comprueba que la baja sensibilidad del sistema (3,5 mV/V) puede provocar falsos disparos de la protección para valores de la tensión de red próximos al valor umbral, a menos que este hecho no se contemple en la programación del microcontrolador, introduciendo retardos en la medida o un control por histéresis y banda de tolerancia centrado en el valor umbral en los milisegundos iniciales de arranque del sistema. Además existe un pequeño problema inherente a fijar la tensión umbral en el microcontrolador (muy inferior a la del umbral de disparo fijado por programa, como por ejemplo de 265 Vrms en la red) debido a la concepción del sistema electrónico.
- La simulación permite verificar, mediante el modelo elemental para C1 consistente en una capacidad (C1) y una resistencia serie equivalente (R_S), que un deterioro del mismo debido a su uso incorrecto en una aplicación determinada [6, 8] se traduce en una disminución progresiva del valor de C1 y un aumento del valor de R_S (ionización del dieléctrico), pudiendo provocar falsos disparos de acuerdo a lo mostrado en la figura 9, validando, así, los resultados recogidos en los informes técnicos [5, 6, 8] consultados.

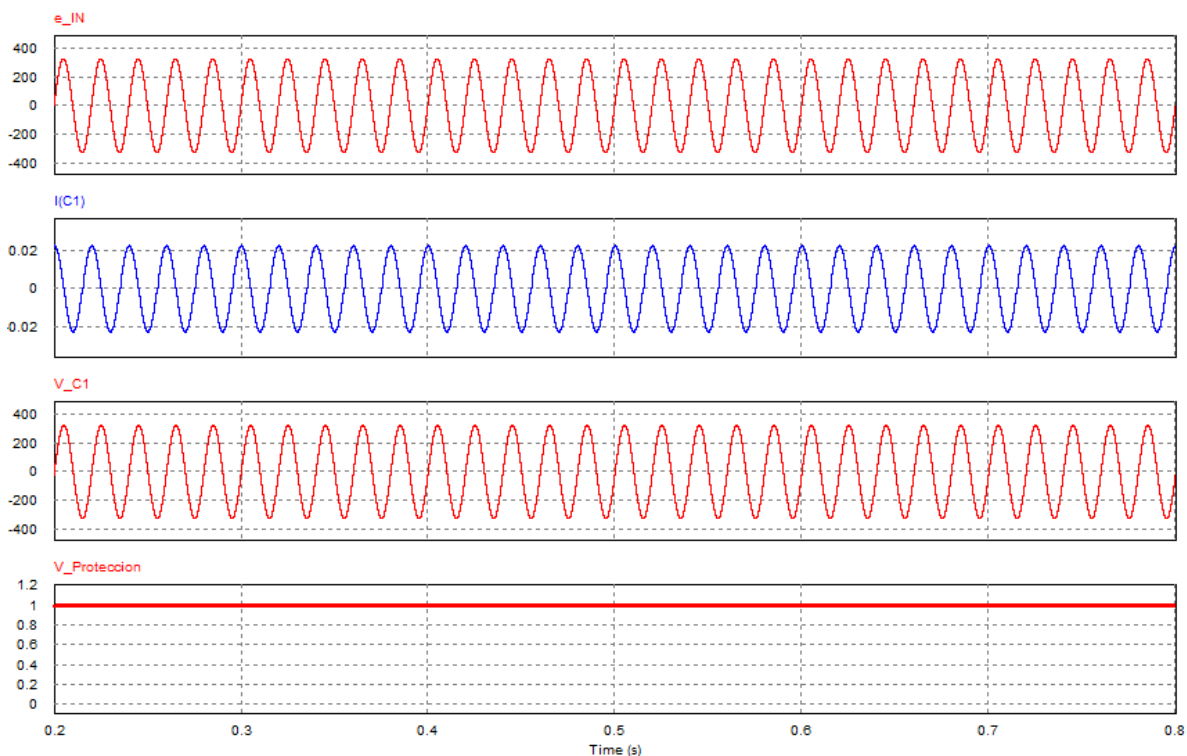


Figura 7.- Resultados de simulación con el VP-Check en modo de tensión de red nominal (230 Vrms). $V_Overvoltage = 0$. $V_Orden = 770$ mVrms, inferior al umbral de disparo de 855 mVrms. La protección no actúa: $V_Proteccion$ se mantiene a nivel alto.

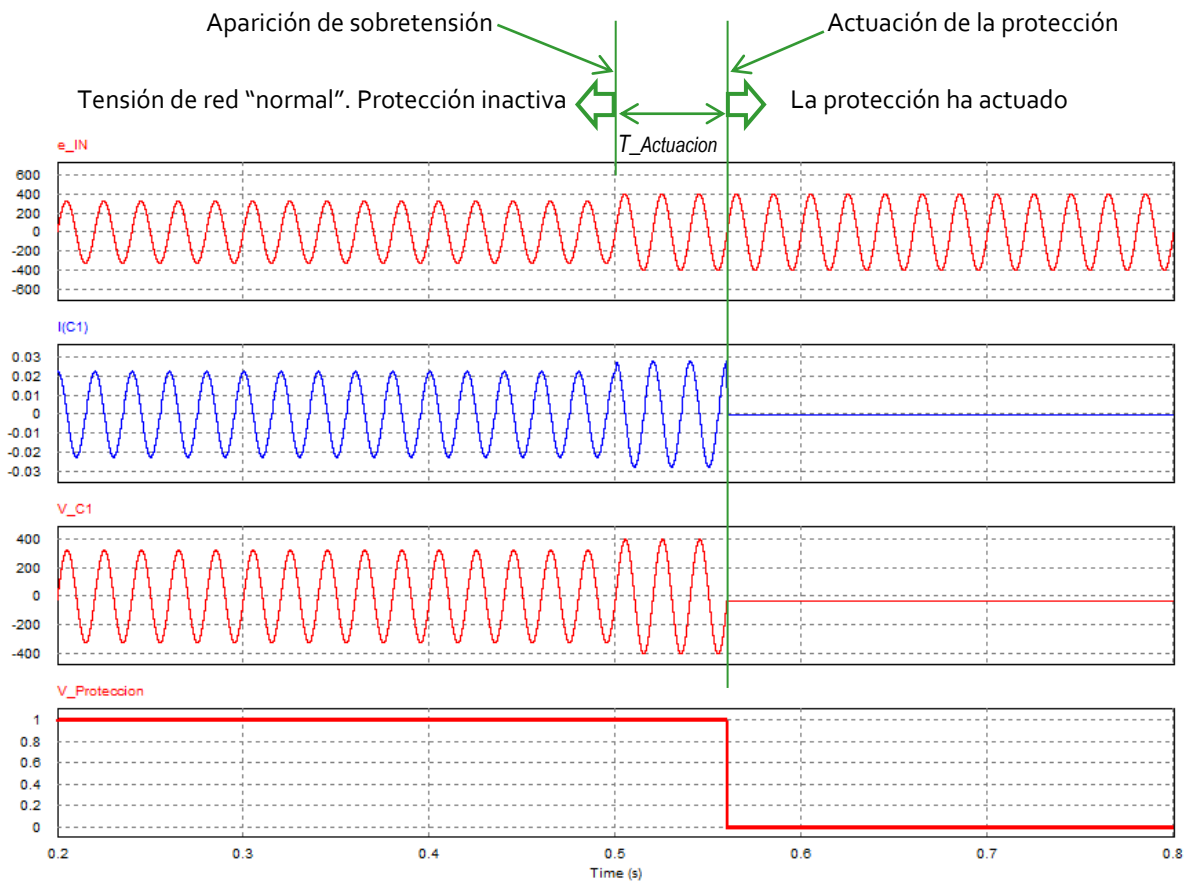


Figura 8.- Resultados de simulación con el VP-Check en modo de sobretensión de red (285 Vrms). $V_{Overvoltage} = 77 V_{pico}$. $V_{Orden} = 966 mV_{rms}$, superior al umbral de disparo de 855 mVrms. La protección se dispara con un tiempo de actuación, fijado por programa, $T_{Actuacion} = 60 ms$: $V_{Proteccion}$ pasa a nivel bajo.

Espacio deliberadamente en blanco

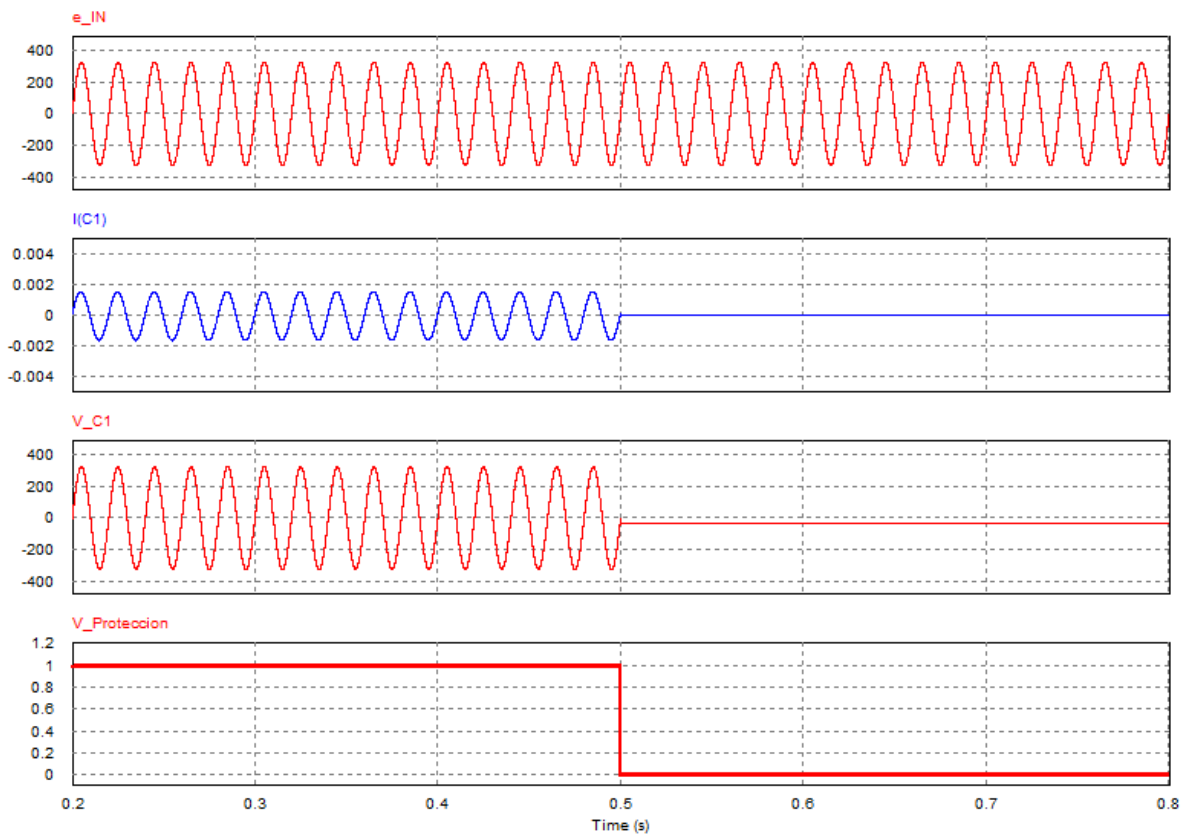


Figura 9.- Resultados de simulación con el VP-Check con tensión de red de 230 Vrms por debajo del umbral de disparo (265 Vrms) y modelo de C1 en condiciones de degradación:
Valores de simulación: $C1 = 160 \text{ nF}$, $R_S = 200 \text{ k}\Omega$.
El sistema arranca con la protección inhibida ($V_{Proteccion} = 1$) pero a $t = 0,5 \text{ s}$ se produce un falso disparo ($V_{Proteccion} = 0$).

Espacio deliberadamente en blanco

2.3. Ensayos.

Mapfre facilitó diversas muestras de la electrónica de primera generación del **V-Check MP**, pertenecientes a series de almacén, con el condensador objeto de los estudios previos que producía falsos disparos, así como dos unidades del **V-Check MP** con el circuito modificado que, bajo comercialización, no presentan los problemas de la primera generación del protector de sobretensiones.

Antes de proceder al ensayo se realizó una inspección visual del material disponible.

Los aspectos concretos, así como los ensayos realizados y los resultados obtenidos, se comentan seguidamente.

2.3.1. Inspección visual de las muestras a ensayar.

La inspección visual de las muestras disponibles se realizó bajo los criterios de aislamiento y funcionamiento de equipos de baja tensión recogidos en la norma IEC-60664-1 [13], los criterios de fabricación de sistemas electrónicos en cableado impreso indicados en la recomendación IPC-A610-D [14] y los *data sheets* de los principales componentes empleados en la electrónica a testear.

Se realizó especial énfasis en aspectos como disposición de componentes, separación de pistas, tipo/modelo de componente empleado y su adecuación, características eléctricas de los componentes utilizados y soldaduras entre otros aspectos.

Bajo las anteriores premisas no se detectó ningún error en el montaje de la electrónica empleada en el **V-Check MP**, a excepción del ya comentado condensador EPCOS MXP X2 B32922C3224M de 220 nF debido a su uso inapropiado como condensador en serie con la red.

En relación a la disposición de componentes se detectó la peculiar disposición de los resistores R2 y R12 (figuras 2, 15 y 16) en relación al condensador C1, dado que este último descansa directamente sobre el resistor R12, hecho que podría producir algún efecto térmico imprevisto sobre C1, sobre todo si se considera que dicho resistor R2 está colocado en el lado opuesto de R12.

2.3.2. Banco de trabajo y entorno.

Para estos ensayos se utilizó el siguiente equipo:

- Ordenador para la anotación de los datos capturados y su posterior análisis.
- Transformador Legrand 642610, 230:230/400 - 1 kVA - 50/60 Hz.
- Variac: Carroll & Meynell CMV8E-1, 240:0-240 - 1,9 kVA - 50/60 Hz.
- Voltímetros de 4,5 dígitos y prestaciones de capacitmetro: AD Instruments AD71B.
- Cámara termográfica: FLIR i7.

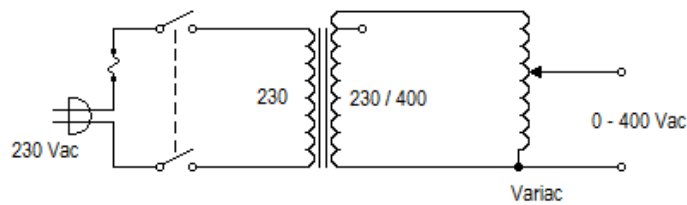


Figura 10.- Esquema del variac utilizado.

Dicho banco de trabajo se situó, el 21 de enero de 2014, en una dependencia cerrada y a condiciones ambientes, registrándose, durante los ensayos, una temperatura de entre 12 °C a 25 °C y una humedad relativa de entre el 40% y el 75%.



Figura 11.- Aspecto del banco de trabajo y de las muestras bajo ensayo.

2.3.3. Descripción de los ensayos.

Los ensayos se realizaron durante 7 semanas dejando los dos dispositivos completos de última generación y tres de las muestras de la electrónica de primera generación con el condensador EPCOS MXP X2 B32922C3224M, continuamente sometidos a tensión de red (nominal de 230 Vrms), estas últimas muestras colocadas en el interior de cajas de PVC con el objeto de emular su funcionamiento en un carcasa normalizada.

Periódicamente se realizaron medidas de la temperatura y humedad ambientales, así como del valor de la capacidad del condensador C_1 conectado al circuito electrónico de las muestras de primera generación.

Se tomaron fotografías térmicas mediante la cámara de infrarrojos para obtener mapas de temperatura de las muestras bajo ensayo de la electrónica del **V-Check MP** de primera generación.

También se verificó periódicamente el funcionamiento de las unidades del **V-Check MP** de última generación observando su comportamiento mediante la modificación de la tensión de red aplicada empleando el variac disponible.

2.3.4. Resultados.

Dispositivos **V-Check MP** de última generación.

Los ensayos realizados con las dos unidades disponibles demostraron un comportamiento correcto y totalmente dentro de sus características de catálogo. No se observaron discrepancias de comportamiento a lo largo del período del ensayo.

Electrónica de los dispositivos **V-Check MP** de primera generación.

A) Evolución de la capacidad del condensador.

En las fechas indicadas en la tabla 1, y con las muestras sometidas continuamente a tensión de red, se realizaron series de medidas de la capacidad del condensador C_1 (ver tabla 1).

La figura 12 muestra la representación gráfica de las medidas realizadas recogidas en la tabla 1. Se observa la degradación (decremento) del valor de la capacidad de C_1 , aspecto que concuerda con los informes de LIRC y EPCOS ya aludidos anteriormente.

Tabla 1.- Resultados de la medida de la capacidad C1 en circuito activo a lo largo del tiempo.

Fecha	Muestra 1 (nF)	Muestra 2 (nF)	Muestra 3 (nF)
17/02/2014	181,6	191,3	181,1
07/03/2014	175,3	186,9	174,2
17/03/2014	172,8	185,5	169,5
24/03/2014	170,9	184,2	166,0
31/03/2014	169,0	182,7	162,6
07/04/2014	167,3	181,8	159,0

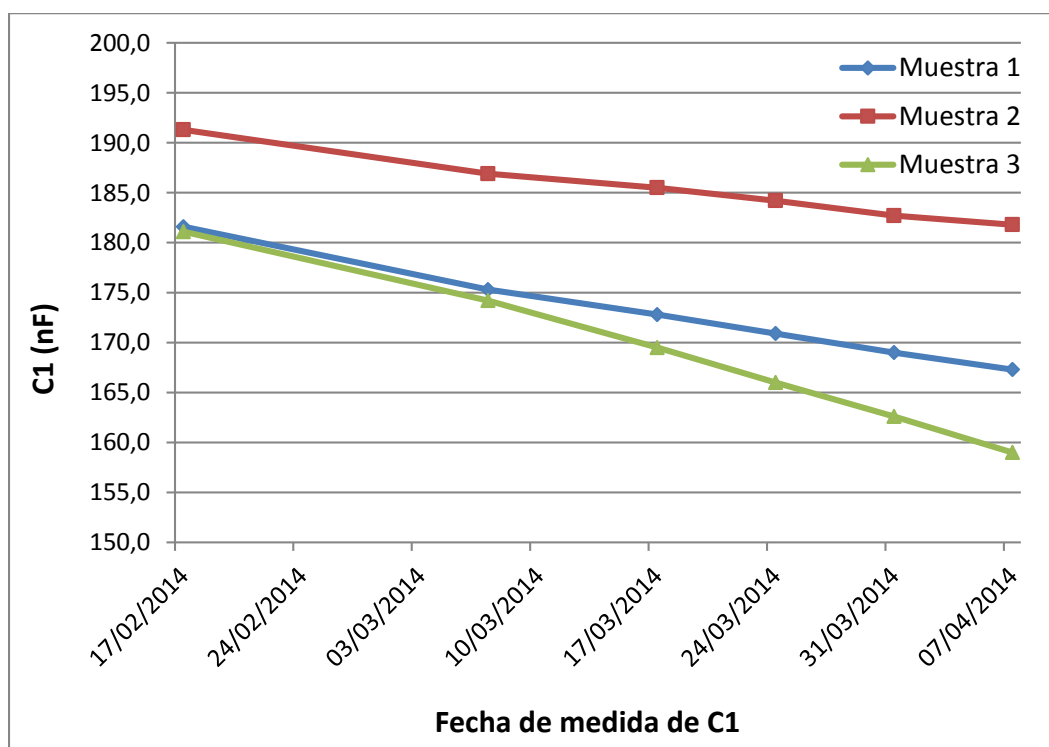


Figura 12.- Degradación de la capacidad del condensador C1 con el tiempo.

B) Consideraciones térmicas

A lo largo de las semanas de ensayos se tomaron termografías para estudiar las distribuciones de temperatura tanto en los **V-Check MP** de última generación como en las placas de la electrónica de control de las muestras de primera generación, con la finalidad de detectar puntos calientes. Algunos resultados (tomados, estos, después de 6 semanas de funcionamiento continuo de las muestras) se recogen en las figuras 13 y 14.

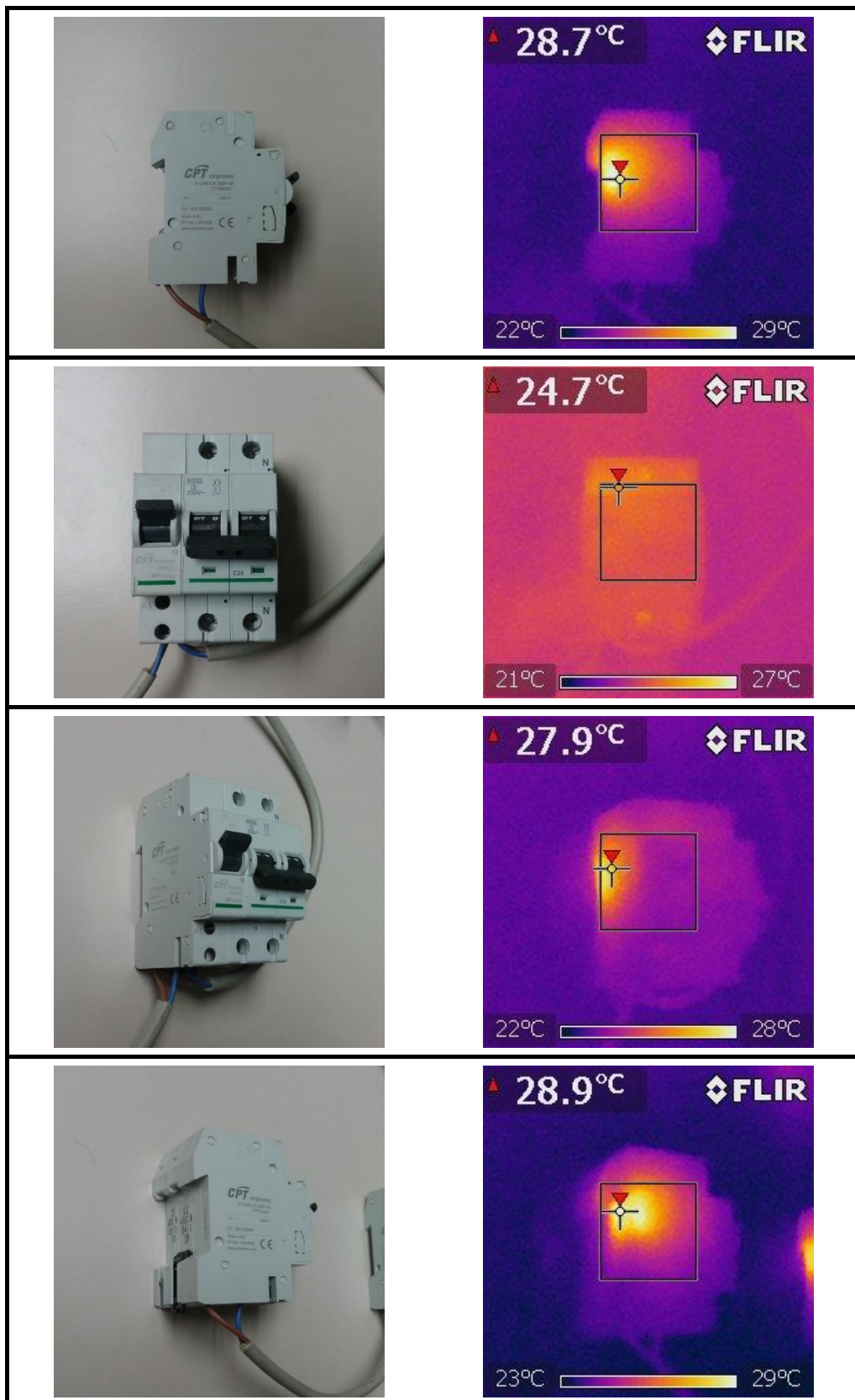


Figura 13.- Termografías (derecha) de los V-Check MP de última generación (izquierda).

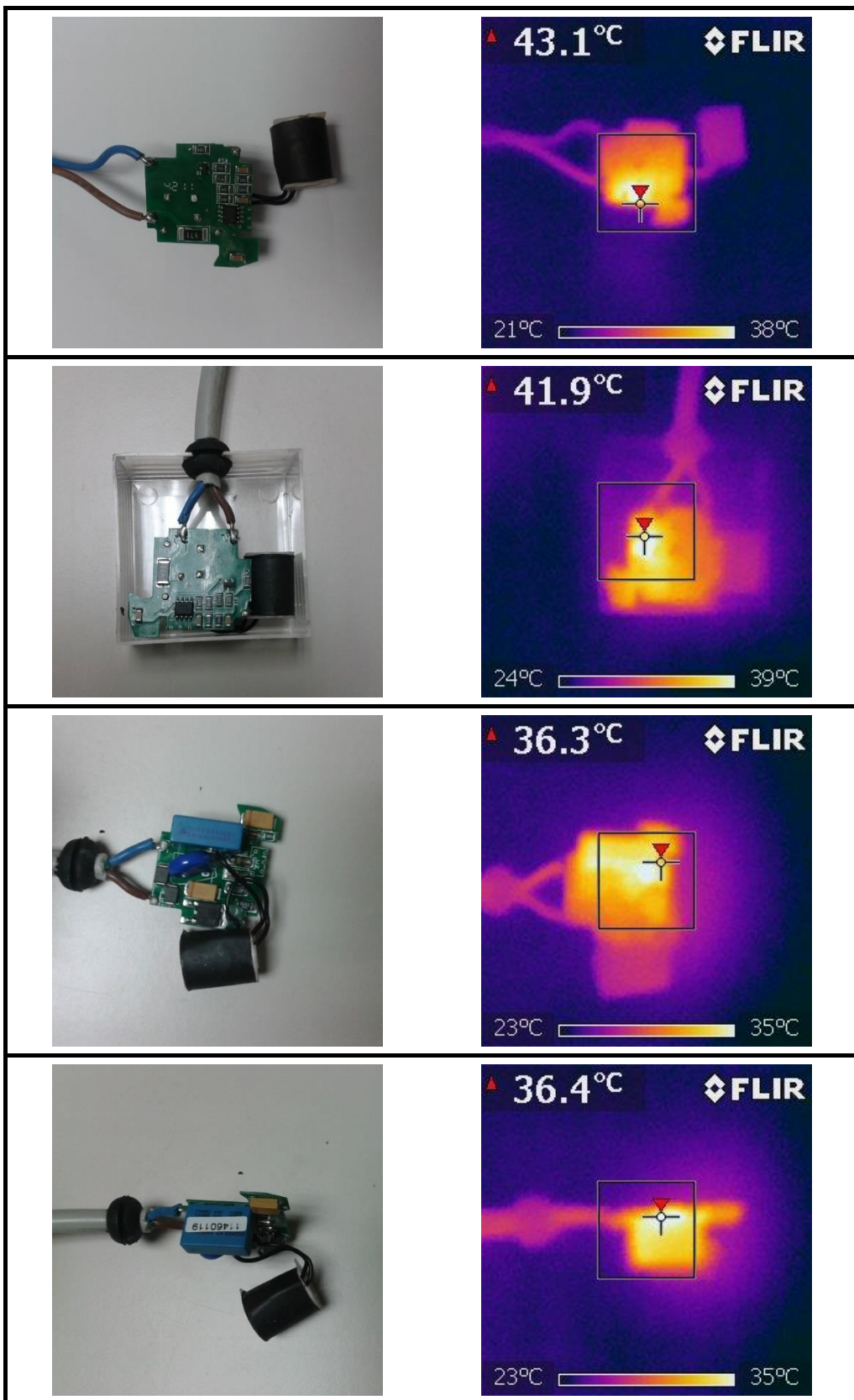


Figura 14.- Termografías (derecha) de la electrónica V-Check MP de primera generación (izquierda).

El estudio térmico efectuado permite realizar las siguientes observaciones:

Dispositivos *V-Check MP* de última generación.

- La distribución de temperaturas encontrada es totalmente normal ya que la región con mayor temperatura se encuentra localizada en la parte donde está instalada la parte electrónica del dispositivo.
- La temperatura máxima medida en la parte exterior de la carcasa del dispositivo oscila entre los 28 y los 29 °C. Esta temperatura se verá incrementada en el momento en que el dispositivo se instale en su emplazamiento habitual, debido a que muy posiblemente operará en peores condiciones de ventilación. La temperatura del dispositivo también se podrá ver incrementada por la energía disipada en los contactos del dispositivo magnetotérmico al cual está asociado, y que durante el ensayo realizado han permanecido sin carga.
- La temperatura máxima medida es completamente normal para un uso continuado de los *V-Check MP* de última generación en condiciones ambientales normales. No se prevé que puedan aparecer problemas con estos dispositivos a lo largo de su vida útil por efectos de una temperatura excesiva ni en los componentes ni en sus partes constitutivas.

Electrónica de los dispositivos *V-Check MP* de primera generación.

- La temperatura máxima medida sobre la parte electrónica del dispositivo es de unos 43 °C y se corresponde con la temperatura que alcanzan los resistores R2 y R12 (ambos de resistencia 470 Ω), siendo razonable suponer que esta temperatura se vea incrementada en el momento en que el sistema electrónico se instale en el interior del dispositivo y éste a su vez se instale en su emplazamiento habitual.
- Estos dos resistores, que representan los dos puntos más calientes de la parte electrónica, están situados en la placa de circuito impreso al lado de la parte inferior del condensador C1. El resistor R2 está situado en la cara opuesta del circuito impreso de en la que está situado el condensador C1, y el resistor R12 está situado en la misma cara del circuito impreso en que se monta dicho condensador, tal como muestra la figura 15. De hecho, es necesario soldar el resistor R12 (soldadura para componente de montaje superficial) antes de poder soldar el condensador C1 (soldadura para componente de inserción), ya que una vez está soldado el condensador C1 es imposible acceder al resistor R12 (tal y como se muestra en la figura 16).

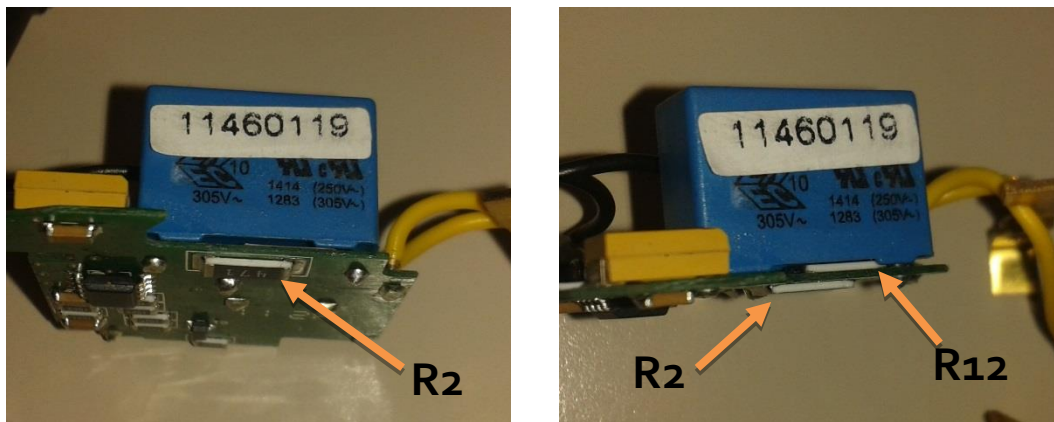


Figura 15.- Ubicación de los resistores R2 y R12 en el circuito impreso.

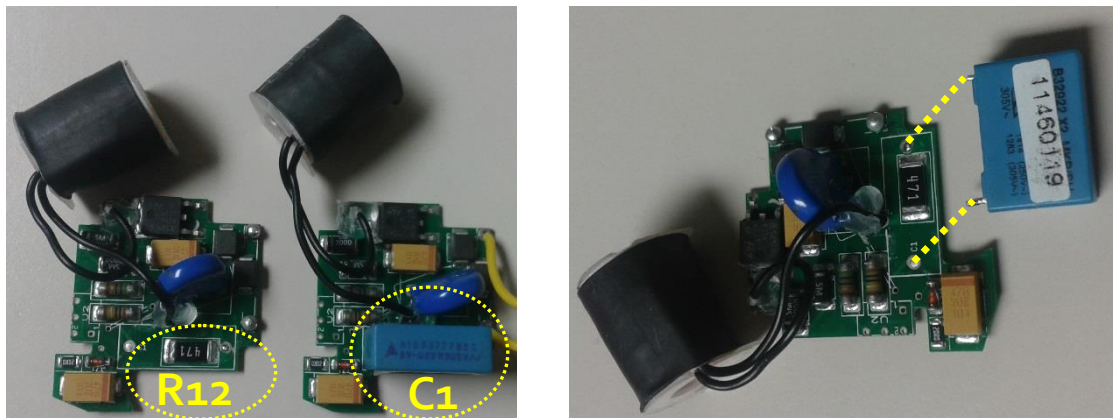


Figura 16.- Ubicación del resistor R12 y del condensador C1 en el circuito impreso.

- Debido a la proximidad de los dos resistores R2 y R12, partes del condensador C1 alcanzan temperaturas muy por encima de la temperatura ambiente (se miden temperaturas por encima de los 35 °C en condiciones favorables de funcionamiento), que sin rebasar los valores máximos indicados por el fabricante del condensador, podrían tener una influencia negativa sobre el comportamiento de este componente.
- Se procede a desoldar, de una muestra no usada, el condensador C1 de la placa de circuito impreso y se vuelve a conectar en su ubicación mediante dos cables conductores, tal y como se muestra en la figura 17. De esta forma el circuito conserva su funcionalidad pero se puede medir la temperatura que alcanza la resistencia R12.

Tras aproximadamente dos horas de funcionamiento se alcanza en régimen permanente y se estabilizan las temperaturas de funcionamiento de la parte electrónica del dispositivo.

Las termografías mostradas en la figura 17 muestran los puntos calientes que aparecen en las dos caras de la placa de circuito impreso sobre la que está montada la parte electrónica del dispositivo. La temperatura máxima alcanzada en ambas partes del circuito es ligeramente superior a los 41 °C y corresponde a la temperatura de operación de las resistencias R2 y R12.

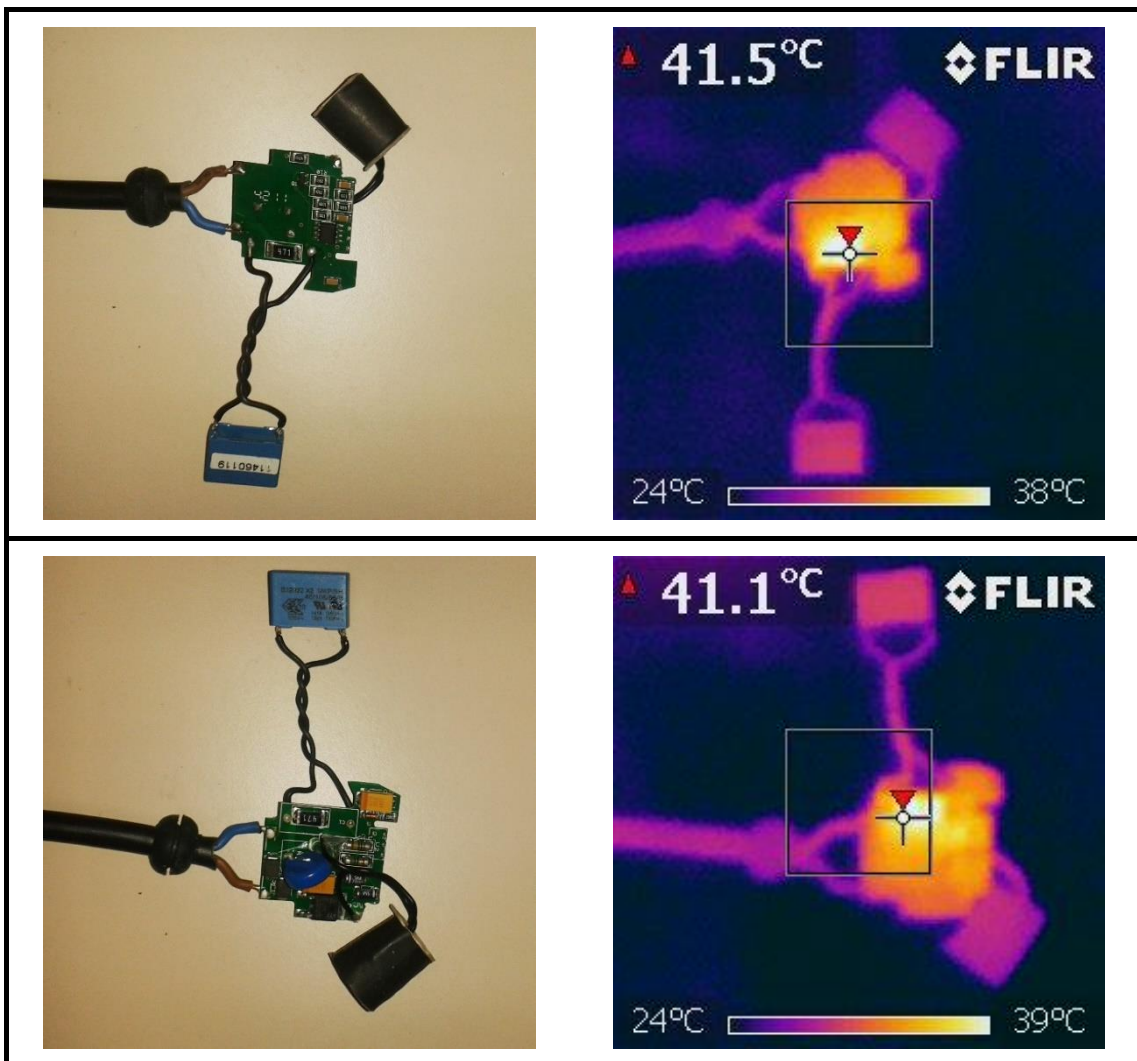


Figura 17.- Termografías (derecha) y electrónica de los **V-Check MP** (izquierda) indicando los puntos calientes que aparecen en la parte electrónica del dispositivo en funcionamiento.

Con el condensador C1 separado de su emplazamiento original, se procede a dejar en funcionamiento la parte electrónica del dispositivo durante un periodo de tiempo de dos semanas, procediéndose a medir el valor de la capacidad de C1.

En las fechas indicadas en la tabla 2, y con la muestra utilizada sometida a la tensión de red durante diferentes periodos de tiempo, se realizaron series de medidas de la capacidad del condensador C1 (ver tabla 2). La figura 18 muestra la representación gráfica de las medidas realizadas recogidas en la tabla 2. Se observa de nuevo la degradación (decremento) del valor de la capacidad de C1 durante los intervalos de tiempo que el dispositivo está conectado a la red.

Tabla 2.- Resultados de la medida de la capacidad C1 a lo largo del tiempo.

Fecha	Muestra (nF)
22/04/2014	195,5
24/04/2014	193,1
28/04/2014	184,8
29/04/2014	182,2
30/04/2014	180,4
05/05/2014	172,8
06/05/2014	171,7

Fecha	Muestra (nF)
08/05/2014	169,2
09/05/2014	170,7
12/05/2014	170,8
13/05/2014	170,7
14/05/2014	167,6
15/05/2014	165,9
16/05/2014	164,2

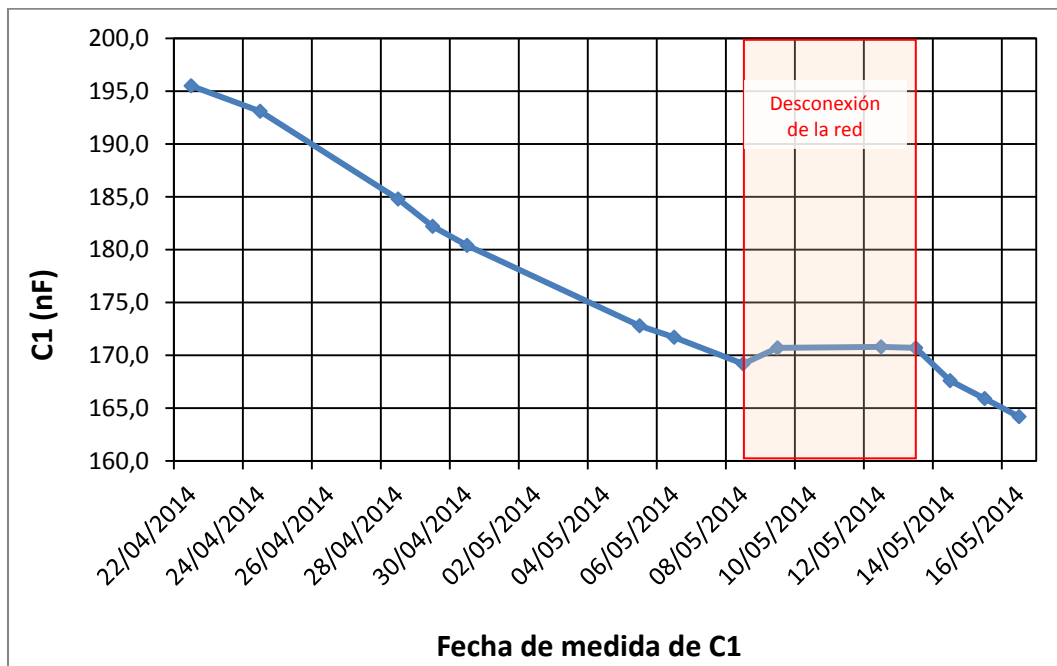


Figura 18.- Degradación de la capacidad del condensador C1 con el tiempo.

Estos resultados muestran una deriva en la capacidad del condensador C1 de aproximadamente $-1,8$ nF/día, y permiten desvincular la degradación que sufre el componente del hecho de estar montado directamente sobre los puntos calientes del circuito.

3. Conclusiones.

- El análisis previo y las posteriores simulaciones realizadas del circuito electrónico propuesto por DigiProces para implementar el dispositivo **V-Check MP** muestran que su concepción es básicamente correcta y que dicho circuito es adecuado para cumplir satisfactoriamente con la funcionalidad prevista para el dispositivo.
- Una vez analizados los informes emitidos por las empresas LRIC y EPCOS, nos mostramos de acuerdo con sus conclusiones que apuntan al error cometido en la elección del tipo a utilizar para el condensador C₁. En este sentido confirmamos que, según documentan varios fabricantes de condensadores de tecnología basada en película metálica, los condensadores con dieléctrico de poliéster metalizado (MKT) son los adecuados para aplicaciones "en serie" con la red, como es el caso del dispositivo **V-Check MP**, mientras que los condensadores con dieléctrico de polipropileno (MKP), como los utilizados en la primera generación del dispositivo **V-Check MP**, no son adecuados para este tipo de aplicaciones.
- De acuerdo a lo expresado en el punto anterior, consideramos correcta la medida de sustituir el condensador C₁ de tipo MKP (dieléctrico de polipropileno) por otro de similar capacidad pero de tipo MKT (dieléctrico de poliéster metalizado).
- Los resultados obtenidos de las lecturas termográficas realizadas sobre la parte electrónica del dispositivo **V-Check MP**, ponen de manifiesto que los puntos calientes del circuito corresponden a las resistencias R₂ y R₁₂. Estas resistencias están situadas justo debajo del condensador C₁ y, aunque la temperatura medida en estas resistencias no sea excesivamente elevada (ligeramente superior a 41 °C), no consideramos acertado su emplazamiento. Es por ello que sugerimos que, de cara a posibles revisiones del diseño del circuito impreso del dispositivo, se sitúen en un emplazamiento diferente.
- Finalmente, consideramos que el diseño del sistema electrónico que implementa el dispositivo **V-Check MP** puede presentar algún problema de seguridad, siendo éste un problema inherente a cualquier diseño electrónico altamente dependiente del software. En nuestra opinión, debería incluirse en el diseño una protección hardware que garantizase la desconexión del dispositivo **V-Check MP** en el caso de que la tensión de red supere el valor máximo permitido. De esta forma se podría garantizar la desconexión automática del dispositivo una vez alcanzada la tensión máxima permitida, aún en caso de un mal funcionamiento del microprocesador del sistema.

En este sentido vale la pena recordar que la desconexión del dispositivo **V-Check MP** la realiza el microprocesador que incorpora el sistema después de adquirir la tensión de red, calcular su valor eficaz y determinar el rango de valores en que se encuentra y el tiempo que este valor ha permanecido en dicho rango. Cualquier tipo de malfuncionamiento del microprocesador, ya sea transitorio o permanente, podría inhabilitar la desconexión del dispositivo y, en consecuencia, no garantizar su actuación en caso de sobretensión.

Referencias

- [1] (Varios) **40113052593001-Preliminar-U2**. MAPFRE. Terrassa, 2013.
- [2] (Varios) **40113052593001-U2-Contrato**. CIRPROTEC y DIGIPROCES. Castellar del Vallès, 2011.
- [3] (Varios) **40113052593001-U2-INFORME INCIDENCIA**. CIRPROTEC. Terrassa, 2013.
- [4] (Varios) **40113052593001-U2-ESPECIFICACIONES FABRICANTE[1]**. Global Site. EPCOS AG, 2012.
- [5] (Varios) **40113052593001-U2-ENSAYOS**. *Lightning Research Institute of Catalonia, S.L.* Terrassa, 2013.
- [6] (Varios) **40113052593001-Respuesta de EPCOS**. EPCOS AG. Bangalore, 2013.
- [7] (Varios) **40113052593001-Especificaciones de CIRPROTEC nuevas versiones**. CIRPROTEC. Terrassa, 2013.
- [8] (Varios) **AC Film Capacitors in Connection with the Mains**. Vishay Intertechnology Inc, 2007.
- [9] (Varios) **Film Capacitors. General Technical Information**. EPCOS, 2001.
- [10] (Varios) **Metallized Polyester Film Capacitor (MKT) series B3293....** EPCOS, 2013.
- [11] (Varios) **EMI Suppression Capacitors (MKP), series B3292....** EPCOS, 2013.
- [12] Williams, Barry. **Principles and Elements of Power Electronics** (capítulo 29). University of Glasgow, 2013.
- [13] (Varios) **International Standard IEC 60664-1, edition 1.2. International Electrotechnical Commission, 2006**.
- [14] (Varios) **IPC-A610-D – Acceptability of Electronic Assemblies**. Association Connecting Electronic Industries. Bannockburn, 2010.