

Caracterización de emisiones y susceptibilidad radiada de un computador personal

Characterization of Radiated Emissions and Susceptibility from a Personal Computer

John J. Pantoja^a, Omar Nova^b, Juan C. Bohórquez^c, Néstor M. Peña^d

PALABRAS CLAVES

Antena, compatibilidad electromagnética, emisiones de interferencias electromagnéticas.

KEY WORDS

Antenna, electromagnetic compatibility, electromagnetic emission.

RESUMEN

Dos pruebas de Compatibilidad Electromagnética (emisiones radiadas y susceptibilidad) fueron realizadas sobre un computador personal. Por medio de la prueba de emisiones se pudieron determinar las frecuencias a las cuales los niveles de emisiones radiadas excedían los límites establecidos en el estándar CISPR 22. La susceptibilidad del computador fue caracterizada teniendo en cuenta los criterios de desempeño establecidos en el estándar CISPR 24. Todos los procedimientos y resultados de medición son discutidos en detalle.

ABSTRACT

Two Electromagnetic Compatibility tests (radiated emissions and susceptibility) were undertaken on a personal computer. The disturbance test allowed us to determine the frequencies at which the radiated emission levels exceeded the limits established by the CISPR 22 standard. The susceptibility of the computer was characterized by taking into account the performance criteria given by the CISPR 24 standard. All the measurement procedures and results are presented in detail.

-
- a Ingeniero electrónico, estudiante Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. ✉ jj.pantojaz28@uniandes.edu.co
- b Ingeniero electrónico, estudiante Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. ✉ oa.nova254@uniandes.edu.co
- c Ingeniero eléctrico, Doctorado Physiques Et Sciences Pour l'Ingénieur. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. ✉ jubohorq@uniandes.edu.co
- d Ingeniero eléctrico, Doctorado en Tratamiento de Señales y Telecomunicaciones. Profesor asociado, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. ✉ npena@uniandes.edu.co

INTRODUCCIÓN

Todo dispositivo electrónico presenta emisiones electromagnéticas radiadas inherentes a su funcionamiento. Dichas emisiones se deben al flujo de corriente que circula por sus circuitos y pueden convertirse en una interferencia que afecte el funcionamiento típico de otros dispositivos cercanos. Con el fin de garantizar que los equipos electrónicos que comparten el mismo ambiente electromagnético no excedan determinados niveles de intensidad de campos electromagnéticos, pero también puedan soportarlos, existen ciertas normas que certifican a un equipo como electromagnéticamente compatible. Esta normativa comprende los diferentes tipos de transferencia de energía electromagnética explicados de manera clara en [1].

Con el fin de garantizar que un computador personal (PC) sea un equipo electromagnéticamente compatible, es necesario realizar dos clases de pruebas sobre éste: pruebas de emisiones y pruebas de susceptibilidad [2]. El objetivo de estas pruebas es el de verificar que el PC cumpla con los límites de emisiones máximas permitidas y con los criterios de susceptibilidad establecidos.

Un PC, junto con su equipo auxiliar conectado, es clasificado como un Equipo de Tecnologías de la Información (ITE, por sus siglas en inglés) clase B [3]. La clase B cataloga al PC como un equipo destinado a uso en ambiente doméstico, donde los receptores de radiodifusión y de televisión pueden estar a una distancia inferior a 10m de ellos. De esta manera, la caracterización de las emisiones radiadas y de la susceptibilidad que se presenta en este trabajo fue realizada de acuerdo a los Estándares Internacionales CISPR 22 [3] y CISPR 24 [4], los cuales definen los límites y métodos de medición de emisiones y susceptibilidad, respectivamente, para equipos clasificados como ITE.

Debido al incremento de la velocidad de transmisión de datos y a la mayor concentración de dispositivos en los PCs, la tarea de hacer cumplir las normas de compatibilidad electromagnética (CEM) se convierte en un reto cada vez más difícil [5]. Además, a medida

que la “generación” del PC es más moderna, su susceptibilidad ante campos electromagnéticos aumenta [6]. Esto hace evidente que el cumplimiento de la normatividad de CEM en PCs continuará siendo una restricción de diseño y que, por tanto, se deben definir parámetros claros de evaluación.

Algunos trabajos se han realizado en relación con pruebas de CEM sobre PCs. En [7] se presentan los resultados obtenidos de un proceso de medición de emisiones radiadas de un PC, entre 20MHz y 200MHz, en un sitio abierto. Sin embargo, ni el procedimiento de medición ni el análisis de resultados se ciñen a alguna norma de CEM, como sí se hace en el presente trabajo. En [8] se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de la susceptibilidad de un PC a campos electromagnéticos radiados. Esta evaluación se realiza a través de pruebas destructivas sobre diferentes tipos de PCs blindados y no blindados. Por lo tanto, el trabajo es dirigido a obtener límites extremos de radiación antes de observar daños permanentes, pero no reporta efectos temporales que pueden afectar el desempeño del PC cuando es sometido a campos electromagnéticos más bajos y encontrados más fácilmente en sitios comunes de operación.

Otros estudios sobre PCs evalúan la susceptibilidad mediante la observación del número de fallas en ejecución de tareas (*breakdown*) o de la destrucción de elementos electrónicos [6]. Sin embargo, según el conocimiento de los autores, no existen estudios que muestren la forma de evaluar la degradación en el tiempo de la ejecución de tareas. En este trabajo, dicho parámetro se evalúa estadísticamente y se realiza la caracterización de la susceptibilidad de un PC a campos electromagnéticos radiados con diferentes polarizaciones y ángulos de incidencia.

A continuación, se desarrollan paso a paso los dos tipos de pruebas de CEM (emisiones y susceptibilidad), ciñéndose a los métodos de medición y a los límites indicados en la norma internacional que regula el fenómeno respectivo. El dispositivo bajo prueba (DBP) escogido fue un PC, debido a que es un equipo de uso

muy común que realiza simultáneamente tareas de lectura, escritura y procesamiento de datos. No obstante, otro tipo de dispositivo podría haber sido escogido y las pruebas realizadas recurriendo a la norma internacional respectiva. Las pruebas de cumplimiento de la norma fueron realizadas sobre el PC sin carcasa metálica, teniendo en cuenta que los fabricantes de computadores diseñan dicha carcasa con el propósito de dificultar la propagación de las radiaciones electromagnéticas producidas por los componentes internos, como se establece en [9].

La realización de este trabajo se constituye en un indicativo del tipo de pruebas de CEM que actualmente pueden llevarse a cabo en Colombia, teniendo en cuenta que las mediciones fueron realizadas con recursos e instrumentos propios de la Universidad de los Andes, dentro de una cámara anecoica avalada internacionalmente para la realización de pruebas de este tipo entre 30MHz y 18GHz. Los resultados de las pruebas se presentan con el rigor exigido para un proceso de certificación formal.

CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Las pruebas de emisiones radiadas y susceptibilidad electromagnética fueron realizadas siguiendo las recomendaciones de los estándares CISPR 22 [3] y CISPR 24 [4]. El PC utilizado fue uno manufacturado por Dell™ con procesador Intel Pentium 4 de 2.2GHz.

Las pruebas fueron realizadas en la cámara anecoica de la Universidad de los Andes, la cual proporciona un ambiente electromagnético controlado, sin interferencia debido a equipos o sistemas externos.

Los elementos utilizados dentro de la configuración experimental de las dos pruebas se discuten a continuación:

A. DISPOSITIVO BAJO PRUEBA (DBP)

Para las pruebas, el PC fue dispuesto en su configuración representativa mínima, siguiendo las indicaciones dadas en [3] y [4]. El DBP consistió en la unidad

central de proceso (CPU), un teclado, un monitor, un ratón y dos dispositivos extraíbles de almacenamiento (una memoria USB y un disquete). El conjunto fue dispuesto sobre una base de poliestireno expandido (icopor), el cual es un material transparente electromagnéticamente, a una altura de 55cm sobre el plano metálico de tierra.

Debido a que las normas establecen que las pruebas deben realizarse de manera que el DBP ejecute tareas típicas, se desarrolló un programa en lenguaje C++ que ejecutaba rutinas comúnmente realizadas por el equipo. Para las pruebas de emisiones radiadas, ejecutaba cíclica y secuencialmente las siguientes instrucciones:

- Ciclo de lectura, escritura y borrado: Abre un archivo de texto plano ya existente que contiene una matriz de 100 x 26 caracteres, lee y copia cada elemento del archivo en tres archivos nuevos localizados en diferentes direcciones de memoria (incluyendo dispositivos de almacenamiento externos como disquetes y memorias de semiconductores) y, finalmente, borra cada archivo creado.
- Procesamiento de datos: Calcula las primeras 12 potencias de dos y su sumatoria 100 veces y las escribe en un archivo de texto plano.
- Monitor: Se imprimen en pantalla los caracteres “HHHH” consecutivamente de manera que se observen moviéndose hacia la derecha y hacia abajo.
- Actividades mecánicas: Se abre y cierra la unidad de disco (CD) cada 5 segundos.

Para la realización de la prueba de susceptibilidad se ejecutó un programa similar, pero que además permitía identificar en cada caso errores y retrasos con respecto al comportamiento típico. Las modificaciones para evaluar su ejecución fueron:

- Ciclo de lectura, escritura y almacenamiento de datos: Los archivos generados son comparados con el original y se contabiliza cada carácter erró-

neo. El tiempo requerido por la máquina por cada ciclo de lectura y escritura es registrado.

- Procesamiento de datos: La sumatoria es calculada 40000 veces. Cada cálculo es comparado con un resultado correcto obtenido antes de la prueba y cada error es contabilizado. El tiempo requerido para generar el archivo de salida es registrado.
- Entrada de datos: Se adquieren 100 caracteres por medio del teclado para luego ser almacenados en un archivo de texto plano. La adquisición de datos por teclado es continua y se escogió el carácter “-” como entrada. El archivo generado es comparado con uno generado previamente. El tiempo requerido por la máquina para la generación del archivo de salida y el número de errores son registrados.

El programa genera un archivo de salida con los tiempos requeridos por cada proceso realizado en cada iteración. En su totalidad, la ejecución del programa en el DBP dura 2 minutos 15 segundos, en el cual se evalúan 4×10^5 cálculos, 10^7 caracteres leídos y escritos y 10^4 caracteres adquiridos por teclado. De esta manera el programa permite valorar errores y retrasos que se presenten en los procesos ejecutados en el PC de acuerdo a lo recomendado en [4].

B. ANTENA

La recepción y transmisión de potencia radiada para las pruebas de emisiones y susceptibilidad, respectivamente, se realizaron utilizando una antena de arreglo log-periódico de dipolos (LPDA) diseñada y construida para las pruebas y caracterizada en la cámara anecoica. La antena fabricada presentó adaptación a una carga de 50Ω ($|S_{11}| < -10\text{dB}$) en el rango de frecuencias de 94MHz a 710MHz y ganancia en dicho rango de alrededor de 3dBi. El diseño y caracterización de la antena se hicieron siguiendo las indicaciones dadas en [10].

C. INSTRUMENTACIÓN

Para las pruebas de emisiones, la potencia radiada por el DBP fue medida con un analizador de espectros. Al

igual que en [11], la prueba de emisiones radiadas fue realizada con un RBW de 30kHz. Además, la exploración del rango de frecuencias de 94MHz a 710MHz se realizó examinando segmentos del espectro con un *span* de 50MHz y una atenuación de 0dB.

Para las pruebas de susceptibilidad, la energía radiada al DBP fue generada por un analizador vectorial de redes (VNA) con el cual se consiguieron los siguientes niveles de intensidad de campo eléctrico incidente sobre la frontera del DBP: 0.17V/m (95MHz), 0.36V/m (332.5MHz), 0.37V/m (354.5MHz), 0.26V/m (665.0MHz) y 0.07V/m (927.5MHz). Estos niveles de intensidad son representativos de los valores máximos que podrían incidir sobre un PC en condiciones normales de operación, teniendo en cuenta que son cercanos a los niveles producidos por equipos de radiocomunicaciones medidos en la cámara anecoica de la Universidad de los Andes.

D. PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

El procedimiento de medición utilizado para la caracterización de las emisiones radiadas se presenta a continuación. Este procedimiento se repitió para las dos polarizaciones de la antena receptora: horizontal y vertical.

1. Disposición del DBP apagado y sin carcasa en su configuración representativa mínima, como se indica en [3], dentro de la cámara anecoica, bajo configuración semi-anecoica.
2. Ajuste del rango de frecuencias en el analizador de espectros entre 94MHz y 710MHz (rango de adaptación de la antena receptora) y conexión del analizador a la antena.
3. Verificación de la distancia horizontal de 3.5m entre el DBP y la antena.
4. Medición del nivel de ruido con el DBP apagado, verificando que se encuentre por debajo del nivel especificado en [3].
5. Encendido del DBP y ejecución del programa de prueba que garantice condiciones de operación típica, como se establece en [3].
6. Adquisición del espectro de las emisiones pro-

- ducidas al orientar hacia la antena receptora cada una de las cuatro caras principales del DBP: frontal (tarjeta madre dirigida hacia la antena), posterior, lateral izquierda y lateral derecha.
- Identificación del conjunto de emisiones más altas.
 - Conversión de los niveles de potencia de las emisiones más altas a niveles de intensidad de campo eléctrico utilizando el factor de antena medido para la antena receptora.
 - Comparación de los niveles de intensidad de campo eléctrico obtenidos con los límites de emisiones establecidos en [3], para determinar si dichos límites son respetados.

El procedimiento empleado para la realización de las pruebas de susceptibilidad, repetido para cada polarización de la antena, horizontal y vertical, se presenta a continuación.

- Disposición del DBP apagado y sin carcasa, manteniendo la configuración representativa mínima, dentro de la cámara anecoica, en configuración semi-anecoica.
- Disposición de la antena transmisora a la altura del DBP y a una distancia horizontal de 3.5m del mismo.
- Conexión de la antena transmisora al generador de potencia y determinación de la intensidad de campo eléctrico máxima que se puede hacer incidir sobre el DBP, verificando que no se supere el límite de 3V/m sugerido en [4], para cada frecuencia de prueba. Las frecuencias de prueba fueron establecidas como las cuatro frecuencias a las cuales se obtienen los mayores niveles de emisión radiada, de acuerdo a la prueba de emisiones, para cada polarización de la antena, horizontal y vertical.
- Encendido del DBP y ejecución del programa de prueba desarrollado para evaluar el desempeño del mismo, según los criterios establecidos en [4].
- Encendido del generador de potencia para irradiar el DBP con la intensidad de campo eléctrico máxima determinada en el paso 3, para cada una de las frecuencias de prueba.

- Rotación del DBP para evaluar su susceptibilidad, teniendo orientada hacia la antena transmisora cada una de sus cuatro caras principales: frontal, posterior, lateral izquierda y lateral derecha.
- Clasificación del desempeño del DBP de acuerdo a los criterios de susceptibilidad establecidos en [4].

CARACTERIZACIÓN DE LAS EMISIONES RADIADAS

Los límites para emisiones radiadas de ITE clase B a una distancia horizontal de 3.5m fue calculada como se indica en [3] a partir de los límites dados en esta referencia para una distancia horizontal de 10m, y son presentados en la Tabla 1.

Rango de frecuencia [MHz]	Límites cuasi-pico [dBμV/m]
30 a 230	39.12 ^a
230 a 1000	46.12

a. El límite más bajo aplica en la frecuencia de transición

Tabla 1. Límites para emisiones radiadas de ITE clase B a una distancia horizontal de 3,5m

La prueba fue realizada para las cuatro caras del DBP. En la Figura 1 se exponen las emisiones radiadas por el DBP en orientación frontal. Como se puede apreciar, los límites de emisión radiada de la Tabla 1 son rebasados en varias frecuencias, y esta orientación corresponde al caso con mayor cantidad de emisiones que superan estos límites. Lo anterior ocurre en 10 y 11 frecuencias de las medidas para las polarizaciones vertical y horizontal, respectivamente. Las otras orientaciones presentan alrededor de 4 picos de emisiones que rebasan los límites, a excepción de la lateral izquierda en polarización horizontal, en la que se registraron 11.

Al cerrar la CPU, es decir, al agregar un blindaje entre ella y la antena receptora, manteniendo el DBP en orientación frontal, los niveles de emisión medidos disminuyen considerablemente (Figura 2). Sin embargo, puede notarse que los niveles de emisión correspondientes a 133MHz y 532MHz continúan siendo perceptibles luego de agregar el blindaje, dado que sufren sólo

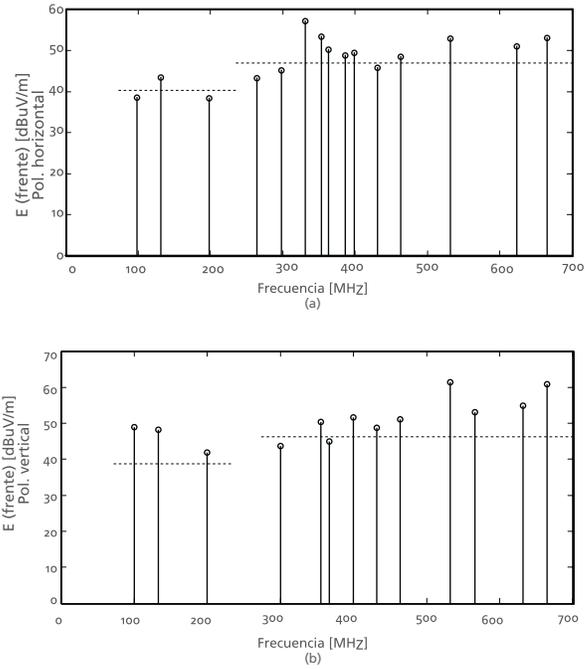


Figura 1. Emisiones radiadas por el DBP en orientación frontal con la antena receptora en polarización (a) horizontal y (b) vertical. Los límites de emisión están en línea punteada

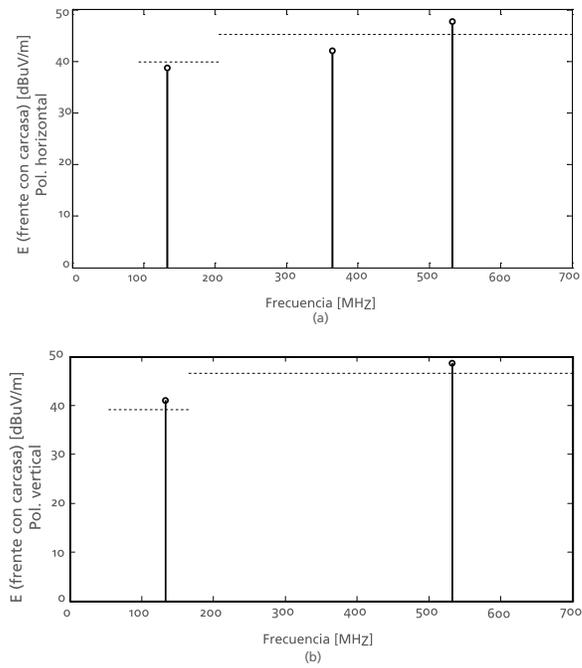


Figura 2. Niveles de emisión radiada luego de agregar la carcasa a la CPU, con orientación frontal del DBP (límites de emisión en línea punteada). (a) Polarización horizontal y (b) polarización vertical

una pequeña atenuación. Esto puede ser debido a que las emisiones radiadas que ocurren en estas frecuencias son originadas fuera de la CPU, muy probablemente en el monitor, como se establece en [7], donde se demuestra que la principal fuente de emisiones es el canal de video, incluyendo el cable, la tarjeta de video y el monitor. Así mismo, en [7] y [11] los niveles de emisión reportados a una distancia de 1m del DBP son equivalentes a los registrados en Figura 2, luego de convertirlos a los niveles respectivos para una distancia de 3.5m.

CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD RADIADA

La caracterización de susceptibilidad del PC se realizó siguiendo el procedimiento descrito en la sección II y observando los cambios en el desempeño del equipo [4]. Tras la ejecución de las mediciones no se registró ningún error en los procesos ni tampoco daño temporal o permanente del DBP como era de esperarse; se debe tener en cuenta que los valores de intensidad de campo eléctrico incidentes (entre 0.07V/m a 927.5MHz y 0.37V/m a 354.5MHz) se encuentran

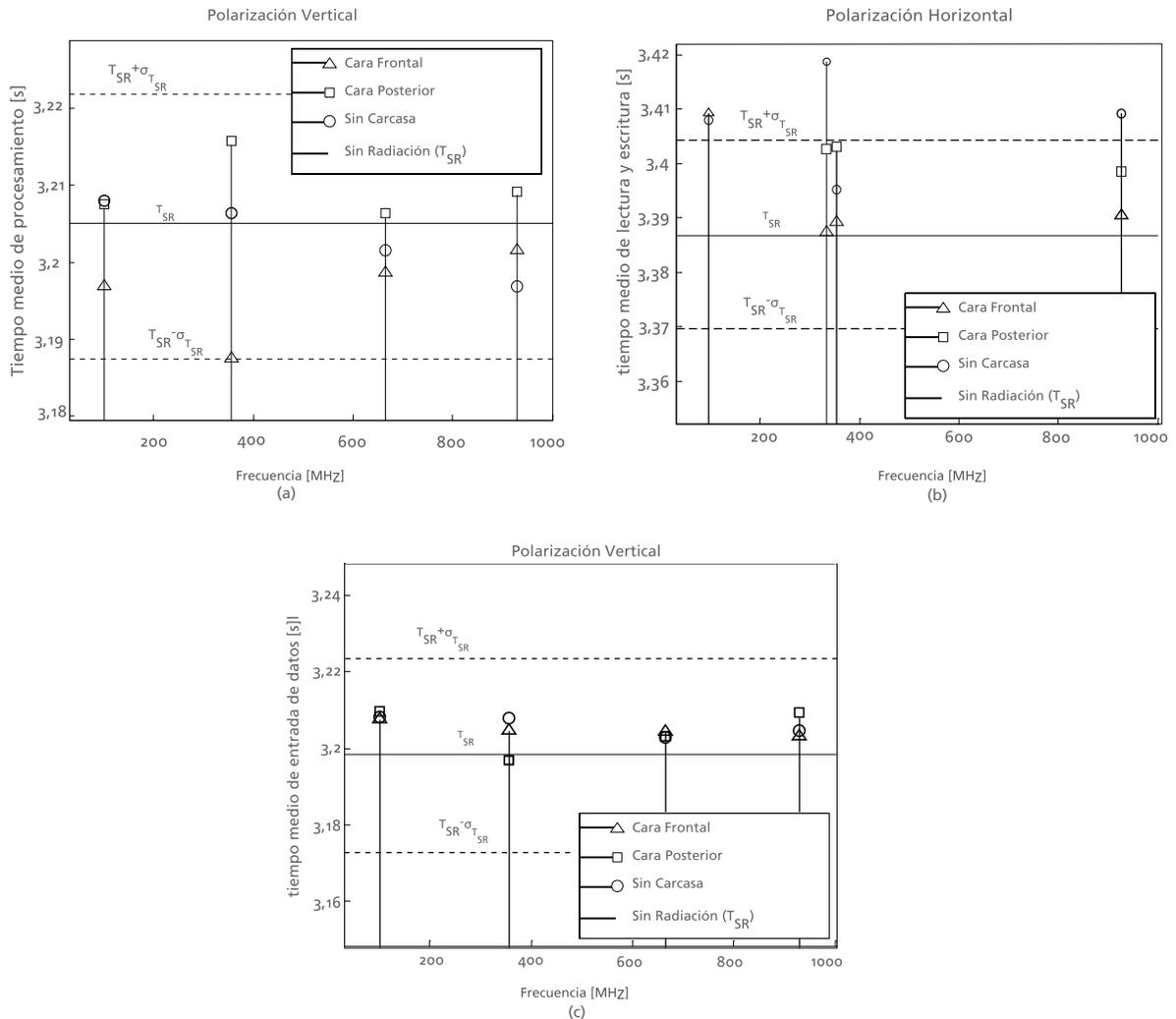


Figura 3. Tiempo medio consumido por la CPU en diferentes condiciones de iluminación del DBP para tres operaciones: (a) procesamiento de datos, (b) lectura y escritura de datos y (c) entrada de datos por teclado

bastante lejos de los utilizados en las pruebas destructivas de [8] (mayores a 9V/m). No obstante, se presentaron variaciones en los tiempos medios requeridos por la máquina para efectuar las operaciones contempladas en el programa de prueba. En [12] son medidos retrasos producidos por interferencia de radiofrecuencia en circuitos lógicos de tecnología CMOS, los cuales son tratados de manera determinística. Sin embargo, en los procesos ejecutados por los circuitos lógicos de un computador, el retraso se convierte en una variable aleatoria debido a los múltiples elementos y tareas que intervienen; por lo cual, en el presente trabajo este parámetro es tratado mediante métodos estadísticos.

Para determinar los cambios en el comportamiento del DBP en las diferentes pruebas, se compararon los tiempos típicos con aquellos obtenidos al someter el equipo a radiación. Para esto, se ejecutó en cuatro oportunidades el programa de prueba en condiciones normales (Sin Radiación) y se registró el promedio (T_{SR}) y la desviación estándar ($\sigma_{T_{SR}}$) de los tiempos requeridos de cada proceso. Estos representan el funcionamiento típico del PC y son comparados con las estadísticas respectivas medidas cuando el equipo fue irradiado. En la Figura 3 se presentan los tiempos medios de cada operación, evaluadas en función de la frecuencia del campo radiado. En cada frecuencia se realizaron tres mediciones (iluminando la cara frontal del DBP, posterior y al DBP sin carcasa), de donde se obtienen tres tiempos medios. Estos son graficados junto al tiempo medio obtenido con el DBP sin radiación, T_{SR} , en línea continua, y junto a sus límites del 68.3% de confianza, en línea punteada, dados por $T_{SR} \pm \sigma_{T_{SR}}$.

En la Figura 3 se muestran solamente los resultados con las polarizaciones que generaron mayores efectos (i.e. mayor retraso temporal). En las operaciones de procesamiento de datos y entrada de datos por teclado (Figuras 3a y 3c) se presenta un comportamiento normal, obteniendo tiempos de operación dentro de la desviación estándar típica. En ambos se considera que la radiación no tuvo mayor efecto. Por otro lado, en la operación de lectura, escritura y almace-

namiento de datos se presentaron retrasos temporales importantes respecto a una operación normal del equipo, aunque después de la prueba éste recobró sus condiciones típicas. Los retrasos medios más altos excedieron una desviación estándar de un tiempo típico de operación, (Figura 3b). Estos se dieron, para todos los casos de polarización horizontal, en la frecuencia de 95MHz, mientras que en 332.5MHz se dió el máximo retraso cuando el DBP fue sometido a la prueba sin carcasa. Cabe resaltar que la dispersión de los datos en las frecuencias antes mencionadas, supera el triple de la desviación de la referencia (Sin Radiación), lo cual demuestra un cambio en el comportamiento del equipo cuando fue sometido a radiación.

CONCLUSIÓN

Cuando el DBP se encuentra en orientación frontal, sus emisiones radiadas son muy altas en ambas polarizaciones y muchas de ellas superan el límite establecido; mientras que cuando está en orientación posterior, dichas emisiones son bajas y muy pocas de ellas superan el límite. Por otra parte, cuando el DBP se encuentra en orientación lateral izquierda, las emisiones con polarización horizontal son considerables, mientras que en orientación lateral derecha, las emisiones más altas son las que tienen polarización vertical.

Se realizaron pruebas de susceptibilidad radiada a un PC convencional. Se demostró que ciertos niveles de radiación electromagnética ($|E| > 0.37V/m$) en el rango de frecuencias de 94MHz a 710MHz pueden ocasionar retrasos principalmente en procesos de lectura y escritura de la máquina que, en el marco de la norma CISPR 24, se puede catalogar bajo un criterio de desempeño B.

La realización de este trabajo ha permitido la generación de la capacidad nacional de llevar a cabo pruebas confiables de CEM, teniendo en cuenta que dichas pruebas no sólo se logran mediante el registro de una serie de mediciones, sino también a través del aseguramiento del rigor en el manejo y el procesamiento de la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. Jović. “Susceptibility of ICs to Conducted Electromagnetic Interference”. Faculty of Electrical Engineering and Computing (FER), University of Zagreb. Fecha de consulta: Septiembre 30 de 2010. Disponible: http://www.fer.hr/_download/repository/Rad_za_Kvalifikacijski_ispit_Jovic.pdf
- [2] O. A. Nova, J. J. Pantoja, J. C. Bohórquez y N. M. Peña. (2009, Septiembre). “Characterization of Radiated Disturbance and Immunity of a Personal Computer and Estimation of the Shielding Effectiveness of its CPU’s casing”. Presentado en: *IEEE Latin-American Conference on Communications 2009, LatinCom 2009*. [CD-ROM].
- [3] CISPR 22:2003. *Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*. 4a ed. International Electrotechnical Commission (IEC) - International Special Committee on Radio Interference (CISPR), 2003.
- [4] CISPR 24. *Information technology equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement, Amendment 1*. International Electrotechnical Commission (IEC) - International Special Committee on Radio Interference (CISPR), 2001.
- [5] P. Havarasan, M. Haines, H. Skinner and F. Justice. (2000, August). “Current and future EMI challenges at Intel and how to manage them”. Presentado en: *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2000*. Print ISBN: 0-7803-5677-2, Vol. 1, pp. 281-283.
- [6] M. Camp and H. Garbe. “Susceptibility of Personal Computer Systems to Fast Transient Electromagnetic Pulses”. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 48, No.4, November 2006, pp.829-833.
- [7] H. Fang, S. Changsheng, L. Deyun and L. Guoding. (1991, August). “Measurement of radiated emission from PC computer system”. Presentado en: *IEEE 1991 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. Print ISBN: 0-7803-0158-7, pp. 208-209.
- [8] Piotrowski. (2009, September). “Susceptibility of PC to electromagnetic interference”. Presentado en: *Electromagnetic Compatibility Symposium Adelaide, 2009*. Memorias del simposio, pp. 42-46.
- [9] T.W. Steigerwald. (2009, August). “Predicting multimode chassis resonance of single or nested rectangular computer enclosures”. Presentado en: *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2009*. Memorias del simposio, pp. 203-208.
- [10] C. R. Paul. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2a ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- [11] A. Ogata, Y. Matsumoto, K. Fujii and A. Sugiura. (2004, August). “Measurement of disturbances radiated from personal computers in the WLAN frequency band”. Presentado en: *Asia-Pacific Radio Science Conference, 2004*. Memorias de la conferencia, pp. 508- 509.
- [12] J.-J. Laurin, S.G. Zaky and K.G. Balmain. “Prediction of delays induced by in-band RFI in CMOS inverters”. *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 37, No. 2, May 1995, pp.167-174.