

EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS CON EL TIEMPO

J. Marcos-Acevedo¹⁾, E. Soto-Campos¹⁾, S. Fernández-Gómez²⁾

¹⁾Dpto. De Tecnología Electrónica, Universidad de Vigo, España

²⁾CEO at nanoASICs, Inc. CA, USA

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados de los análisis realizados a componentes electrónicos que han estado en operación durante 30 años. El estudio se realiza sobre componentes pasivos (resistencias y condensadores), componentes activos (transistores bipolares) y circuitos integrados (TTL y CMOS). En el análisis realizado se miden diversos parámetros y se comparan con los valores teóricos del componente y según las características ofrecidas por el fabricante. Se muestran los resultados obtenidos, que ponen de relieve el escaso efecto del paso del tiempo en ciertas características de algunos componentes y su efecto en otros.

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos acelerados es una de las técnicas utilizadas para la evaluación de la fiabilidad de los componentes electrónicos [1]. Estos ensayos se basan en someter al componente a elevados niveles de estrés. Las condiciones ambientales, frecuentemente, se basan en la utilización de elevadas temperaturas, humedad, vibración, presión y/o combinaciones de ellas, lo que hace que muchos de los fallos de los componentes se vean acelerados, lo que permite obtener datos de fiabilidad en poco tiempo [2]. Los datos obtenidos en este tipo de pruebas se pueden analizar utilizando diversos modelos matemáticos [3], [4],[5] para extraer parámetros de fiabilidad como por ejemplo el MTTF.

Pero los ensayos acelerados no siempre reflejan fielmente la situación real que el componente va a tener a lo largo de su vida útil, porque los elevados niveles de estrés puede hacer que aparezcan determinados fenómenos internos, que no se darían en situaciones normales de funcionamiento. Por ello, los resultados obtenidos mediante ensayos acelerados hay que tomarlos con cierta cautela [6].

Los estudios realizados sobre sistemas electrónicos que hayan estado en funcionamiento durante un largo período de tiempo y que pongan de relieve el efecto que sobre los mismos tiene el paso del tiempo, son muy escasos. Una de las razones que justifican esta escasez de datos está relacionada con la falta de cantidades significativas de componentes, que hayan estado en funcionamiento durante largos períodos de tiempo y que posteriormente estén disponibles para la realización de dichos estudios. Esto permitiría comparar los datos reales de campo con otros obtenidos a partir de estudios de fiabilidad previsional, ensayos acelerados, etc. Se han realizado algunos trabajos en esta línea [7] que muestran de forma genérica que los circuitos

integrados de tecnología TTL y CMOS constituyen componentes que soportan bien el paso del tiempo.

En nuestro caso hemos obtenido una muestra significativa de componentes electrónicos pasivos y activos, así como circuitos integrados TTL y CMOS. Dichos componentes han estado funcionando durante 30 años en sala de control climatizada y formando parte de un sistema de control para un proceso continuo, por lo que su funcionamiento era de 24 al día durante los 365 días al año. La figura 1 muestra una de las tarjetas electrónicas del sistema.

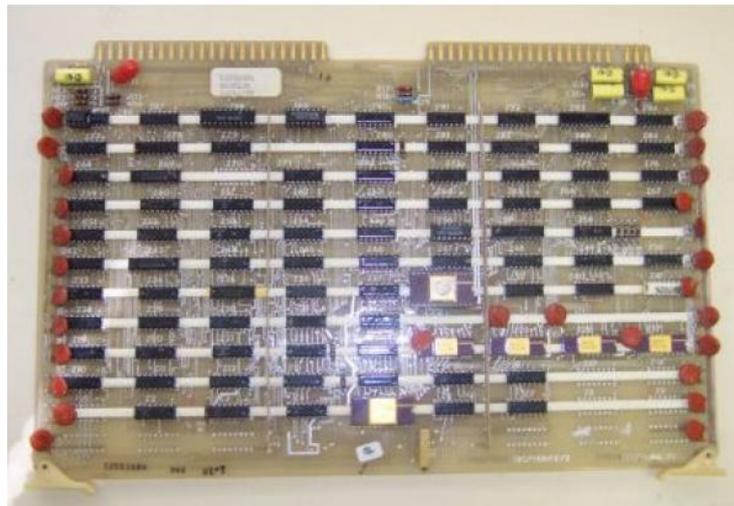


Figura 1.- Tarjeta del sistema analizado

En los apartados sucesivos se muestra el sistema de medida utilizado para componentes activos y circuitos integrados, los componentes concretos analizados, así como los resultados obtenidos.

2. SISTEMA DE MEDIDA

Para la medida de las características de los componentes pasivos se ha utilizado un multímetro de aplicación general y para la medida de características de componentes electrónicos activos, así como de los circuitos integrados, se utilizó el trazador de curvas 4200-SCS de Keithley, figura 2. Los ensayos son fáciles y rápidos de configurar y ejecutar gracias al software KITE, Keithley Interactive Test Environment. El sistema dispone de tres SMU (Source Measure Unit) ubicadas en las ranuras del sistema, que permiten suministrar señal y realizar la medida. Son fuentes de tensión o de corriente que incluyen medida de tensión y de corriente, figura 3.

Las SMU tienen asociados unos circuitos que limitan la tensión máxima de salida, así como la corriente máxima que puede proporcionar al circuito de pruebas. De igual forma el protocolo de las medidas a realizar se establece mediante el software KITE, figura 4.



Figura 2.- Sistema Keithley 4200-SCS

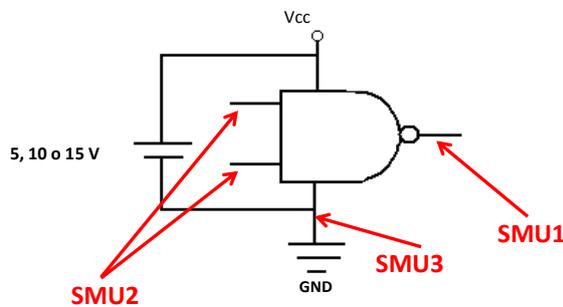


Figura 3.- Conexión de las SMU del sistema de medida

3. COMPONENTES ANALIZADOS

En este apartado se muestran los componentes analizados, así como los resultados obtenidos del análisis.

3.1. Resistencias de carbón

Se realizaron medidas sobre una muestra de 50 componentes de los siguientes tipos:

- Resistencias de 2K7 +/- 5%. Resultados, media: 2962.6 Ω y desviación típica: 108.5 Ω . El incremento medio es de 262 Ω (+10%), Figura 5.
- Resistencias de 4K7 +/- 5%. Resultados, media: 4979 Ω y desviación típica: 188.5 Ω . El incremento medio es de 279 Ω (+6%), Figura 6.
- Resistencias de 10K +/- 5%. Resultados, media: 10,700 Ω y desviación típica: 260.3 Ω . El incremento medio es de 700 Ω (+6,5%), Figura 7.

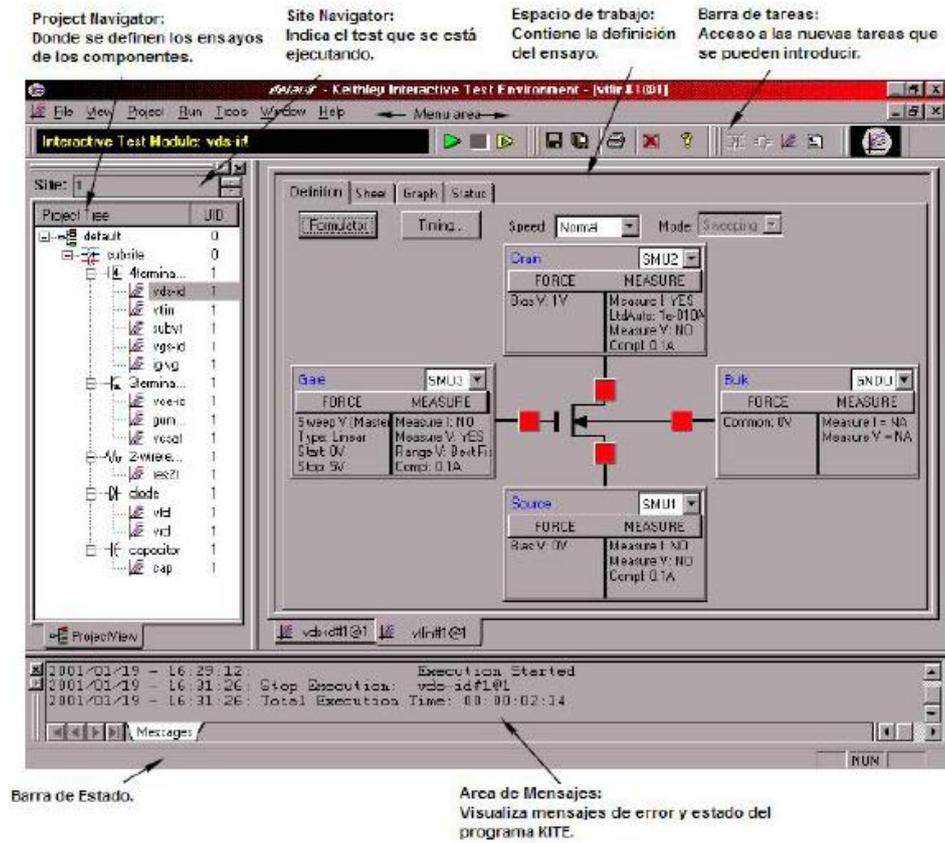


Figura 4.- Software KITE

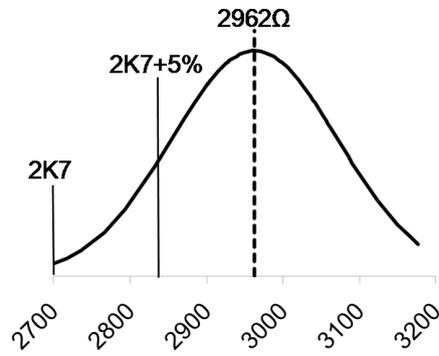


Figure 5.- Resistencias de 2K7Ω

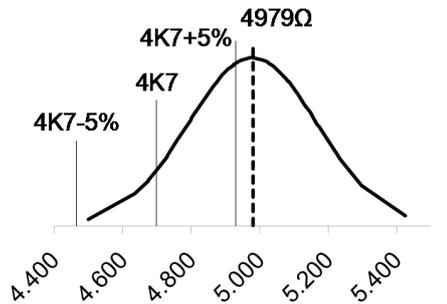


Figure 6.- Resistencias de 4K7

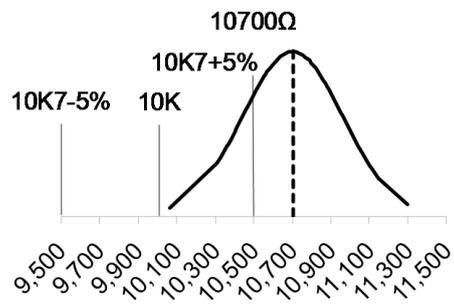


Figure 7.- Resistencias de 10K

3.2. Condensadores

Se realizaron medidas sobre una muestra de 50 componentes de los siguientes tipos:

- Condensadores cerámicos de 100nF. Resultados, media: 107.3nF y desviación típica: 10.2nF. El incremento medio es de 7.3nF (+7.3%), Figura 8.
- Condensadores de Polypropyleno de 330pF. Resultados, media: 330pF y desviación típica: 0.002pF, Figura 9.
- Condensadores de Tántalo de 15μF. Resultados, media: 15.6μF y desviación típica: 1.5μF, Figura 10.
- Condensadores de Polyester metalizado de 1μF: Resultados, media: 0.97μF y desviación típica: 0.09μF, Figura 11.

Los resultados muestran unos cambios mínimos en el valor nominal de la capacidad del condensador, excepto en los cerámicos.

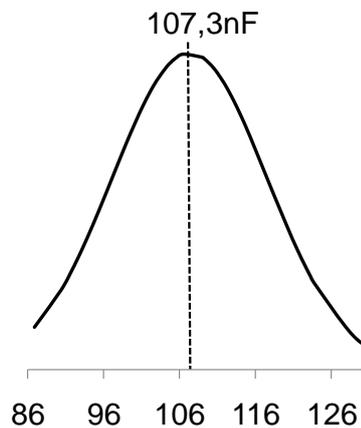


Figura 8.- Cond. Cerámicos

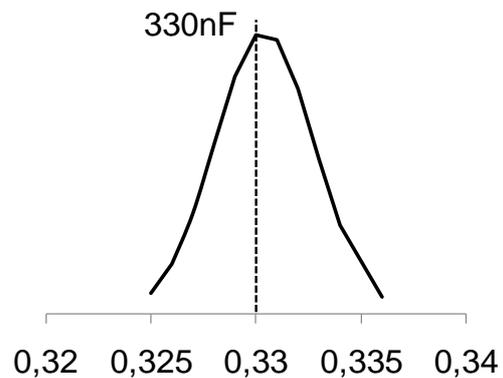


Figura 9.- Cond. de Polypropyleno

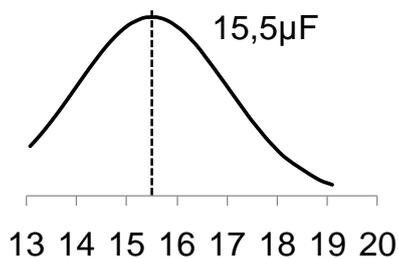


Figura 10.- Cond. de Tántalo

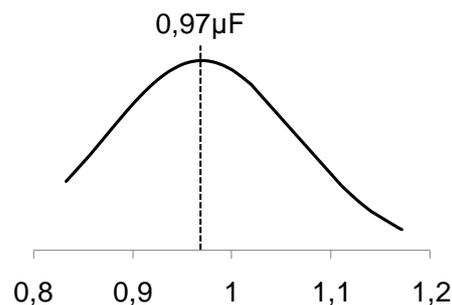


Figura 11.- Cond. de Poliester Metalizado

3.3. Transistores

En este apartado se muestran los resultados del análisis realizado de una muestra de 70 transistores 2N2222 (NPN) y 100 transistores 2N2905 (PNP).

- 2N2222. El análisis muestra que el 96% de los componentes cumple la especificación del fabricante, $h_{FEMin} = 75$ con $V_{CE} = 10V$ e $I_C = 1mA$. Figura 12.

- 2N2905. En este caso el 100% de los componentes cumplen la especificación del fabricante, $h_{FE\text{Min}} = 75$ con $V_{CE} = 10V$ e $I_C = 1mA$. Figura 13.

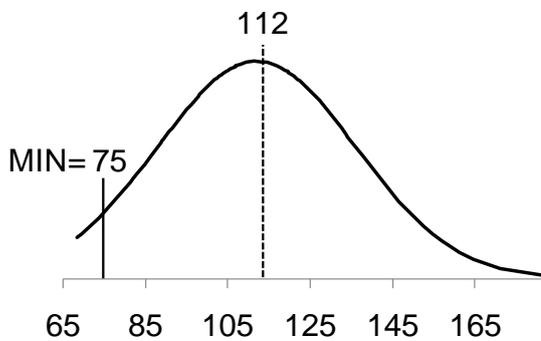


Figura 12.- Transistores 2N2222

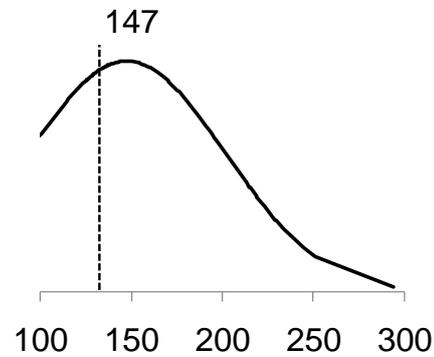


Figura 13.- Transistores 2N2905

3.4. Circuitos integrados TTL

Se analizaron los circuitos integrados siguientes:

- 74LS08 (cuatro puertas NAND de dos entradas). Se realizaron las medidas de las corrientes I_{IL} con $V_{IN} = 0.4V$ e I_{IH} con $V_{IN} = 2.7V$. Se realizaron un total de 576 medidas y los resultados se muestran en las figuras 14 y 15, respectivamente. La mayoría de los componentes cumplen las especificaciones dadas por el fabricante. Los valores de las corrientes están por debajo del valor máximo que aparece en las hojas de características.
- 74LS32 (cuatro puertas OR de dos entradas). Se realizaron las medidas de las corrientes I_{IL} con $V_{IN} = 0.4V$ e I_{IH} con $V_{IN} = 2.7V$. Se realizaron un total de 576 medidas y los resultados se muestran en las figuras 16 y 17, respectivamente. Al igual que en el caso anterior la mayoría de los circuitos cumplen con las especificaciones del fabricante.
- 74LS74 (dos biestables tipo D). Se realizaron medidas de las corrientes I_{IL} con $V_{IN} = 0.4V$ e I_{IH} con $V_{IN} = 2.7V$, en las entradas de Clear (CLR) y de Preset (PRE), para cada uno de los biestables. En total se realizaron 104 medidas y los resultados se muestran en las figuras 18, 19, 20 y 21.

Los resultados muestran que la mayoría de los componentes están dentro de las características dadas por el fabricante.

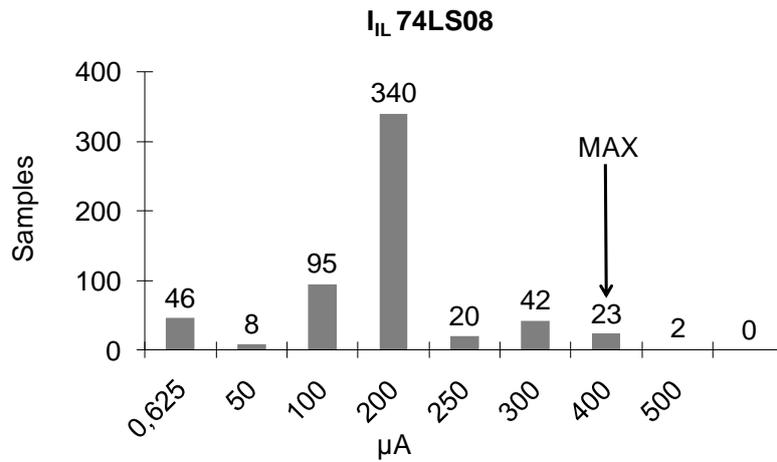


Figura 14.- Corriente I_{IL} (74LS08)

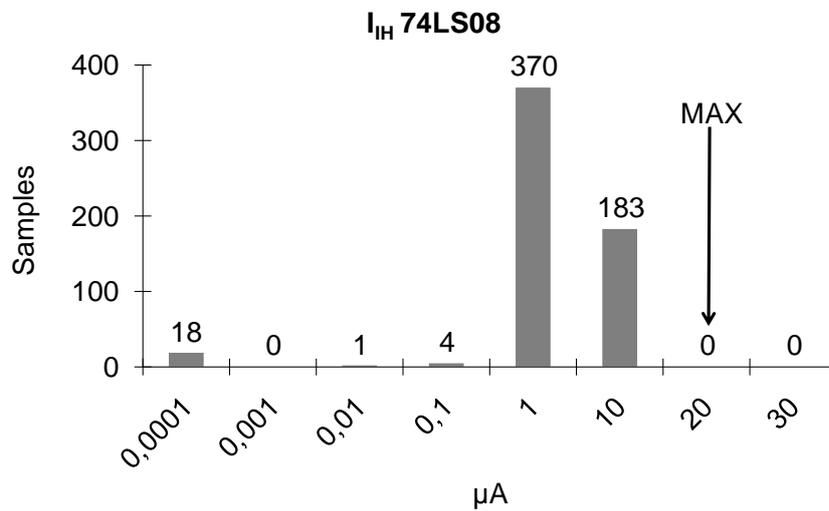


Figura 15.- Corriente I_{IH} (74LS08)

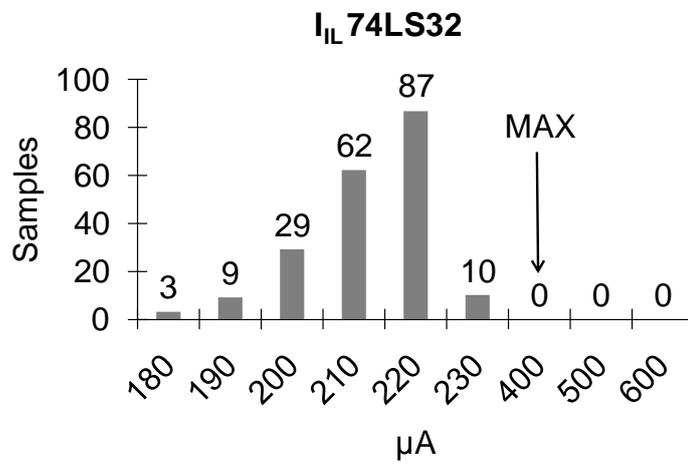


Figura 16.- Corriente I_{IL} (74LS32)

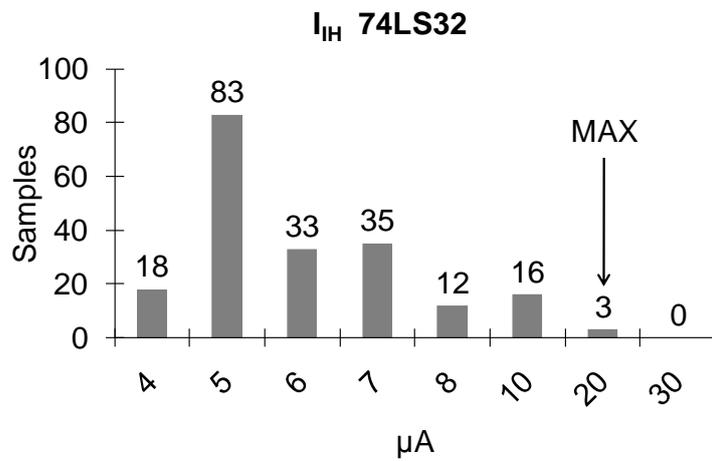


Figura 17.- Corriente I_{IH} (74LS32)

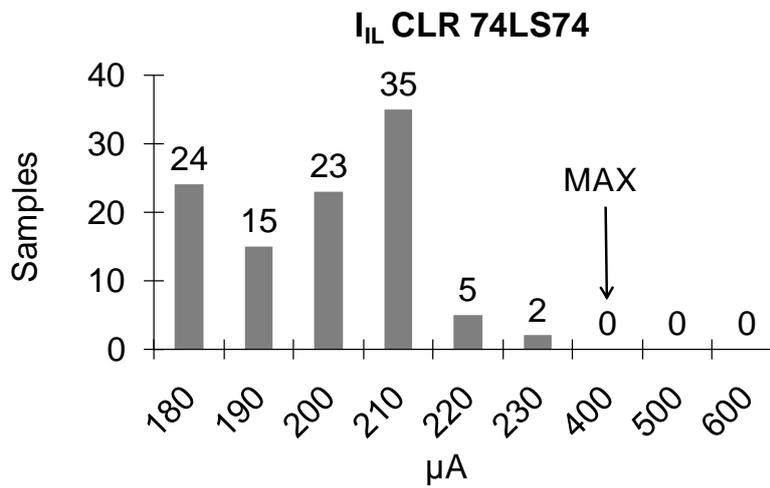


Figura 18.- Corriente I_{IL} en CLR (74LS74)

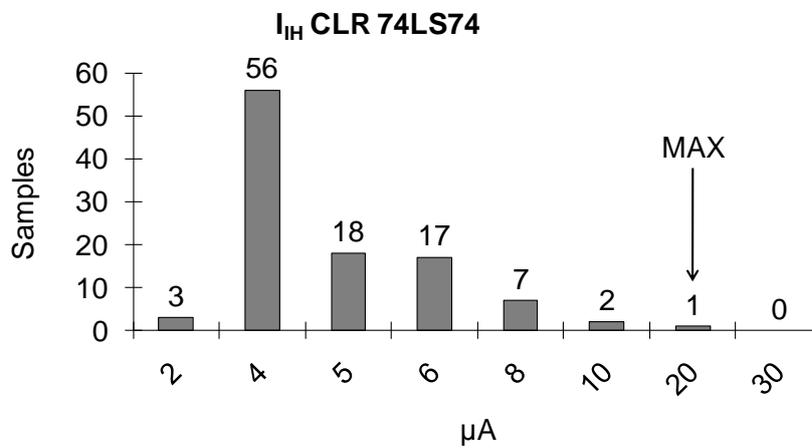


Figura 19.- Corriente I_{IH} en CLR (74LS74)

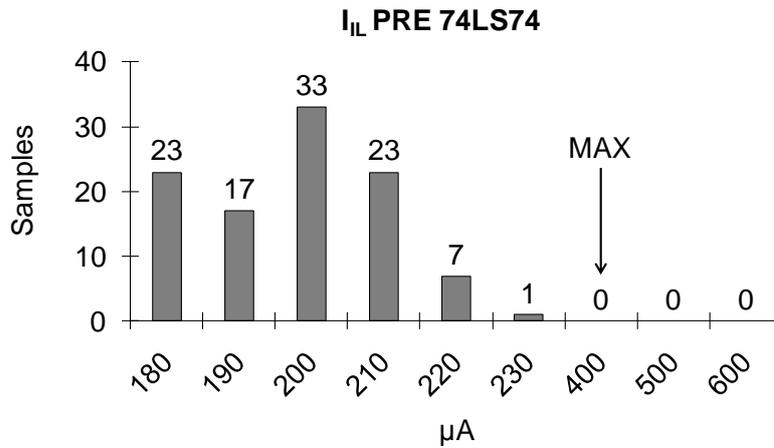


Figura 20. Corriente I_{IL} en PRE (74LS74)

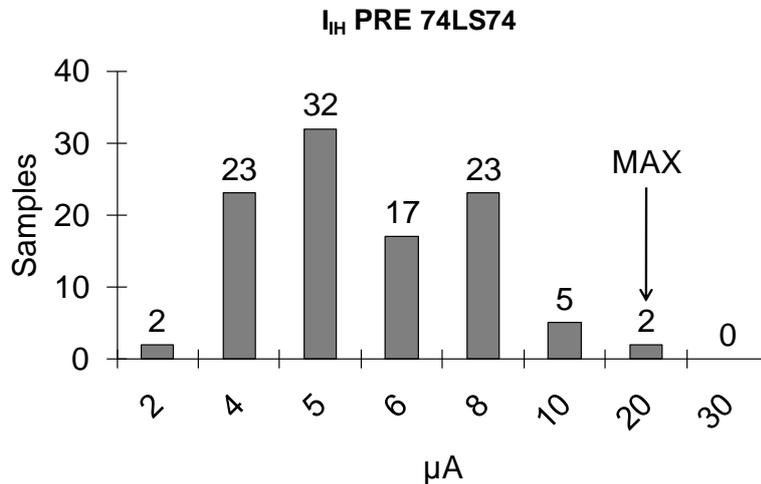


Figura 21.- Corriente I_{IH} en PRE (74LS74)

3.5. Circuitos integrados CMOS

- MC 14011, cuatro puertas NAND de dos entradas. En este caso se midieron las corrientes de salida en estado bajo (I_{OL}) y en estado alto (I_{OH}) con el circuito integrado alimentado a 5V. Se realizaron 579 medidas de I_{OL} y 590 de I_{OH} . Los resultados se muestran en las figuras 22 y 23, respectivamente.

Los resultados de las medidas muestran, de forma similar a los resultados de los circuitos integrados con tecnología TTL analizados, que la mayoría de los componentes están dentro de las características dadas por el fabricante.

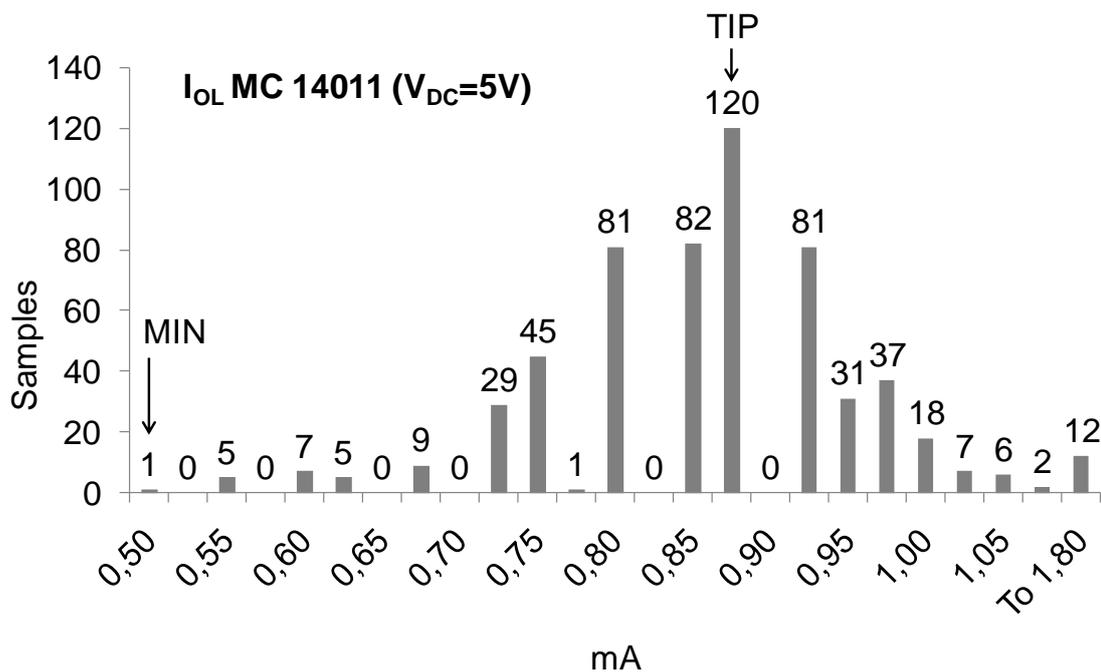


Figura 22.- Corriente I_{OL} (MC14011)

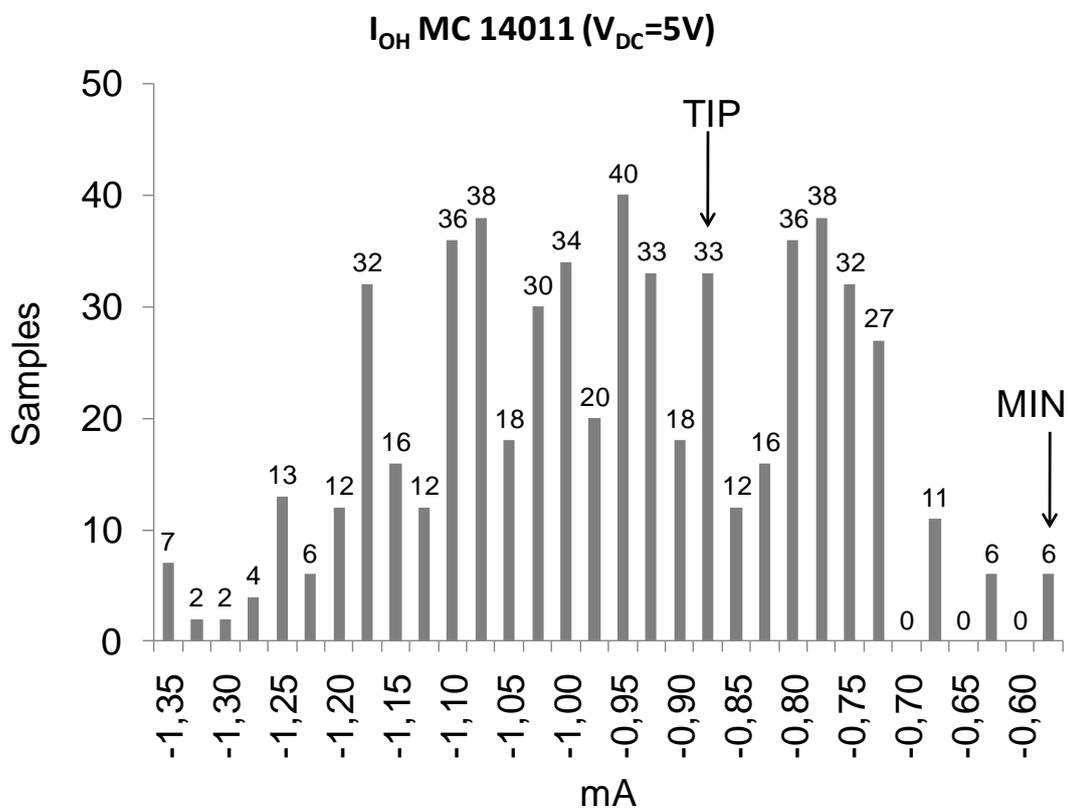


Figura 23.- Corriente I_{OH} (MC14011)

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestran algunos de los resultados obtenidos del análisis realizado sobre componentes antiguos y que han estado en operación durante aproximadamente 30 años. El análisis se ha centrado en las características estáticas de los componentes, dejando el análisis de las características dinámicas (tiempos de conmutación, etc.) para otros trabajos posteriores.

Este tipo de trabajos no son muy habituales, tal como ya se ha justificado anteriormente, y por ello son de gran importancia, porque permiten poner de relieve la bondad de los métodos de predicción, y también porque en algunos casos especiales, resulta muy interesante conocer el comportamiento del componente durante un largo período de operación. Este es el caso del programa Voyager de la NASA en el que las naves Voyager 1 y 2 fueron lanzadas en 1977.

Los resultados obtenidos ponen de relieve el buen comportamiento, en general, de los componentes electrónicos desde el punto de vista de sus características estáticas. Tal como se ha indicado en apartados anteriores, la mayoría de los componentes mantienen sus características, siendo las resistencias de carbón y los condensadores cerámicos, los que se ven más afectados por el paso del tiempo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Crowe, D., Feinberg, A., Design for reliability, CRC Press.
- [2] T.I. Bajenescu, M.I. Bazu., Reliability of Electronic Components, Springer 1999.
- [3] LW. Condra., Reliability Improvement with Design of Experiments, Marcel Dekker, Inc. 2001.
- [4] Nelson, W.. Accelerated Testing – Statistical Models, Test plans and Data analyses, John Wiley and Sons, NY, 1990.
- [5] Nelson, W., “Accelerated Life testing – Step-Stress Model and Data Analyses”, IEEE Trans. Reliability, vol. 29, 1980, pp. 103-108.
- [6] Gouno, E., “An Inference method for temperature step-stress accelerated life testing”, Quality and Reliability Engineering International, vol. 17, pp 11-18, 2001.
- [7] Loman, J., Arrao, A. and Wyrick, R. “Long Term Aging of Electronics Systems & Maintainability Strategy for Critical Applications”, Proc. Ann. Reliability & Maintain-ability Symp, 2003.