



# SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE VERIFICACIÓN HARDWARE

By José Pérez  
R&D Senior Hardware Engineer *SALICRU*

## 1.- INTRODUCCIÓN

---

Uno de los objetivos más importantes, por no decir el más importante, de un nuevo producto es que este sea el mejor del mercado, sobre todo en lo que concierne a la calidad y a las prestaciones que este ofrece. Un buen estándar de calidad no solo se consigue creando un buen diseño desde el departamento de R&D, porque si la fabricación del producto no se realiza correctamente, pueden producirse defectos que afecten a su funcionamiento y por lo tanto a su calidad. Es por eso, que hace falta un control continuo de la producción, para comprobar que todos y cada uno de los pasos que intervienen en la ejecución del producto se realizan adecuadamente.

Esta responsabilidad recae sobre el departamento de producción. Tal cometido es difícil de manejar, ya que un control exhaustivo requiere de mucho tiempo y de muchos medios, ambas cosas de compleja solución, debido al coste económico que a día de hoy conllevan y que repercute directamente sobre el precio final del producto. De nada sirve tener el mejor producto del mercado si nadie puede acceder a él, o simplemente si la competencia ofrece uno de similar con un precio más asequible.

Se puede afirmar entonces, que el objetivo principal del departamento de producción es el de crear un proceso de fabricación fiable, para conseguir la máxima calidad, y rápido, para disminuir los costes. Es por eso el porqué de este documento, donde se introduce como conseguir una mayor calidad de las tarjetas electrónicas, realizando un completo test funcional, disminuyendo el tiempo considerablemente y con una inversión mínima.

Hay diferentes soluciones que permiten conseguir los objetivos descritos en el párrafo anterior, ya que existen empresas de montaje electrónico que además de montar las tarjetas, también ofrecen la posibilidad de verificarlas funcionalmente y automáticamente. Pero ¿a qué precio? ¿Que coste debo cargar a cada producto para amortizar la inversión?

Evidentemente, si hay un volumen elevado de productos el coste a cargar no será significativo, pero si el volumen no es elevado, este coste puede llegar a ser bastante elevado, provocando que la inversión sea imposible de realizar.

En este punto es en el que se encuentran muchas empresas o departamentos de producción, que no pueden asumir unas inversiones elevadas en sistemas de producción automáticos, que les permita conseguir una mayor calidad y competitividad de sus productos, pero que están obligados a hacerlo con tal de no quedarse fuera del mercado.

Esto suele ocurrir en empresas que se mueven con volúmenes de producción medios, ya que las que tienen grandes volúmenes, como se ha explicado anteriormente pueden asumir una gran inversión en sistemas de verificación y por otro lado, empresas donde los volúmenes de producción son muy bajos, suelen tener un coste tan elevado en el valor añadido que el coste de una verificación exhaustiva por métodos manuales no representa un gran incremento en el coste final del producto.

Para dar solución a este problema surge la idea de crear un sistema propio de verificación automática de tarjetas electrónicas. Aunque el sistema inicialmente se ideó para verificar tarjetas electrónicas, también en algunos casos puede extrapolarse a productos electrónicos acabados, formados por diferentes tarjetas electrónicas, cableado, etc., por eso como bien indica el título del documento, el sistema es para verificar hardware automáticamente.

## 2.- BENEFICIOS DE LA VERIFICACIÓN AUTOMÁTICA

---

Aplicar el sistema de verificación automático de hardware, aporta las siguientes mejoras:

- **Menor tiempo de verificación:** El hecho de pasar de manual a automático conlleva de forma inherente una disminución en el tiempo de verificación.

- **Mayor calidad de test:** Las señales eléctricas que se comprueban con instrumentos manuales, tales como osciloscopios o multímetros, aunque sean de mucha precisión, requieren de la aprobación del operario, es decir, es el operario el que acaba aprobando la señal que esta midiendo. Con el test automático, las medidas se toman a través de tarjetas de adquisición y la aprobación se realiza a través de software, donde se introducen las tolerancias de medidas admisibles, la cantidad de medidas a ejecutar y se introducen fórmulas estadísticas para trabajar las medidas capturadas antes de dar un veredicto.

Todo esto, provoca un aumento de la calidad sobre las medidas realizadas durante la verificación.

Además, debido a la rapidez de los microcontroladores y de los sistemas informáticos, se puede aumentar significativamente el número de puntos a verificar, aumentando levemente el tiempo de verificación.

- **Mayor trazabilidad:** Toda el test de prueba que se ejecuta sobre la tarjeta electrónica, queda registrado en el ordenador. Esto permite que se pueda asignar a cada tarjeta un número de serie que compartirá con el archivo guardado. Además también permite la opción de dar formato al documento del informe tanto en lo que se refiere a la estructura interna como al tipo de documento (por ejemplo: txt, pdf, log, etc...)

- **Migración del sistema:** Una vez que se tiene un cierto conocimiento del sistema, sin un gran esfuerzo, se pueden implementar soluciones similares a todo tipo de productos, ya sean tarjetas electrónicas individuales de otro tipo, o productos acabados donde hay diferentes tarjetas, ya que el sistema ve el producto acabado como una caja negra a verificar donde hay diferentes entradas y salidas independientemente de si se trata de una tarjeta sola o un conjunto de ellas.

### 3.- ELEMENTOS PARA REALIZAR UN SISTEMA DE VERIFICACIÓN AUTOMÁTICO

Para realizar un sistema de verificación personalizado, es necesario disponer del material que se describe a continuación:

- **Tarjeta electrónica con microcontrolador:** Esta tarjeta es la que hace de enlace entre el software de test del ordenador y la tarjeta electrónica a verificar. El software de test toma el control de los periféricos del microcontrolador para poder ejecutar la secuencia cargada, de modo que el microcontrolador pasa a ser el esclavo y ejecutor de las órdenes recibidas desde el ordenador.

Con los periféricos se pueden activar y desactivar actuadores, adquirir señales analógicas y digitales, usar temporizadores y contadores, etc. Haciendo uso de todas estas acciones, se puede, por ejemplo, medir la amplitud y el ciclo de trabajo de una señal de excitación de un transistor.

- **Estructura de software (ESSA):** Una ESSA (Estructura de Software para Sistemas Embebidos) es una estructura de software, que permite una fácil aplicación de este, sobre cualquier tipo de sistema. Eso es debido a la estructura de capas con la que está construido. En la Fig. 1 se puede observar un ejemplo ilustrativo de una ESSA.

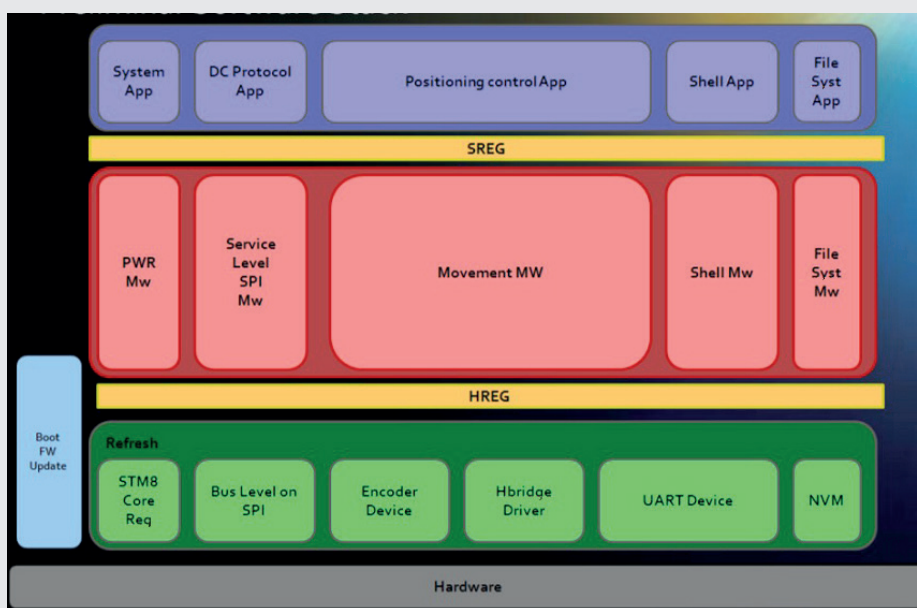


Fig.1 Ejemplo de capas de una ESSA

Capa de aplicaciones: Esta capa contiene módulos de alto nivel que tienen el control de los procesos. La comunicación entre los módulos de aplicaciones y los módulos de middleware se realiza a través de la capa de SREG.

La capa de SREG, nos permite tener acceso a los diferentes registros de comunicación que intervienen entre los módulos de aplicaciones y los módulos de middleware. Este es uno de los puntos claves en la abstracción del software del hardware.

Gracias a la accesibilidad de la capa SREG, se pueden modificar los registros, por ejemplo a través de un secuenciador de test, para poder simular sin la necesidad de hardware, que las aplicaciones y los middlewares funcionan correctamente cuando los valores de los registros se modifican.

Capa de Middleware: Esta capa contiene los módulos de las acciones que se realizan con regularidad. La comunicación con las aplicaciones, como ya se ha explicado anteriormente, se realiza a través de la capa de SREG y la comunicación con la capa de drivers se realiza a través de la capa HREG. La comunicación entre diferentes módulos del middleware no está permitida de una manera directa sin pasar por las capas.

La capa de HREG, igual que la capa SREG, nos permite tener acceso a los diferentes registros que intervienen en el proceso de comunicación entre los módulos de las aplicaciones y los módulos del middleware. Al igual que la capa SREG, esta capa es uno de los puntos claves en la abstracción del software del hardware, y permite simular sin la necesidad de hardware el funcionamiento de los módulos middleware.

En el caso de la verificación de hardware automático, tal y como se describe más adelante, la accesibilidad a la capa HREG es el punto más importante del sistema, ya que es la capa que permite controlar los drivers del microcontrolador, para que este funcione como un esclavo del secuenciador de test.

Capa de drivers: La capa de drivers es la que depende del hardware donde se instale la ESSA. En nuestro sistema es el microcontrolador. Esta capa es la única capa de la ESSA que no es transferible a cualquier otro sistema, ya que depende directamente del hardware. Por ejemplo, si se tienen dos tarjetas electrónicas completamente iguales, excepto el microcontrolador, esta parte del software de la ESSA sería la única que no se podría transferir directamente de un microcontrolador al otro, ya que el funcionamiento de los drivers en cada microcontrolador es diferente, pero todo el resto se podría transferir directamente.

Capas de abstracción SREG y HREG: Como se ha apuntado anteriormente, las capas de abstracción SREG y HREG son dos de los puntos más importante de una ESSA. Estas capas permiten interactuar con los módulos de aplicaciones, middleware y drivers.

En el caso de la verificación automática, mayormente se utilizan la capa de driver y la capa de abstracción HREG. Es a través de los registros de esta capa, que se ejerce la gestión de los drivers. Así que conociendo los registros de control de los drivers, se genera un patrón de test que es ejecutado en un secuenciador de test, de tal manera que el microcontrolador pasa a trabajar como un esclavo del secuenciador, independientemente de la funcionalidad del firmware que este tiene grabado.

- Interfaz de comunicaciones SHELL: La SHELL, es el puerto de comunicaciones que permite interactuar externamente con la ESSA. En el caso de la verificación automática es el puerto por donde se comunican el microcontrolador y el secuenciador de test.

- Secuenciador de test: El secuenciador de test va a ejecutar comandos Shell para solicitar ejecuciones en la capa de hardware para verificar su correcto funcionamiento.

Para realizar el test, se puede hacer uso de aplicativos que están pensados para ejecutar secuencias de test. Existen softwares de este tipo que son de código abierto, de manera que no se tienen que pagar licencias. Además, con softwares de código abierto puedes personalizar los test, por ejemplo introduciendo librerías propias que se ajusten más a los requerimientos del producto.

Muchos de estos aplicativos crean informes una vez que han finalizado el test, donde se pueden observar el resultado del mismo en formatos ampliamente utilizados (XML, HTML, XLS, etc.). Esto es muy importante para dar trazabilidad y mejora continua del producto verificado.

En la Fig. 2, se puede observar dos ejemplos de informes de un aplicativo que ejecuta secuencias de test. En la primera imagen el resultado del test es positivo y en la segunda es negativo.

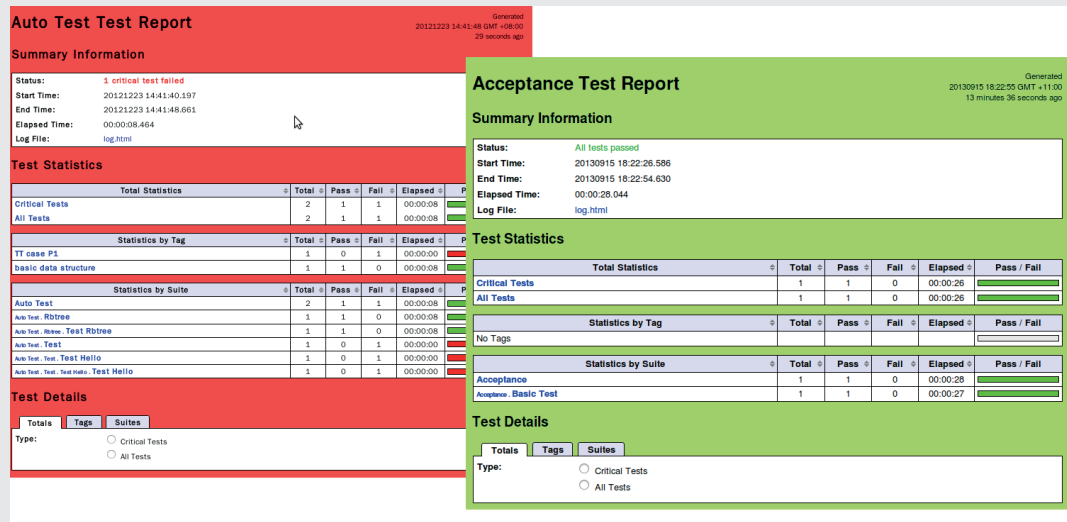


Fig.2 Informes de un test, realizado con un software de código abierto

· **Hardware adaptado o Tarjetas adaptadoras de señales:** Para aumentar la calidad del test, hace falta aumentar los puntos a verificar. Es por eso, que cuando se inicia el diseño de cualquier tarjeta electrónica con la intención de que esta se verifique automáticamente, sea necesario incluir circuitería especialmente dedicada a la verificación automática, es decir, circuitos que no forman parte de la funcionalidad principal de la tarjeta, sino que solo se utilizan en el momento de la verificación. Este aumento de coste del producto es insignificante en comparación con lo aportado.

Por otro lado, cuando no se pueden incorporar estos circuitos de verificación, se pueden diseñar tarjetas de acondicionamiento de señales. Estas tarjetas, son la interfaz entre el microcontrolador y la tarjeta a verificar. Su finalidad es la de adaptar señales bidireccionalmente, por ejemplo, adaptar una señal analógica proveniente de la tarjeta que está siendo verificada a la entrada analógica del microcontrolador, o elevar una señal digital de salida del microcontrolador para excitar un relé. Es importante que estas tarjetas de adquisición y control se diseñen con una gran configurabilidad, para que se puedan adaptar el máximo posible a las diferentes tarjetas electrónicas en las que se quiera aplicar la verificación automática.

#### 4.- ESTRUCTURAS DEL VERIFICADOR AUTOMÁTICO

Se pueden definir dos tipos de verificador automático en función de la estructura utilizada para llevar a cabo el test de verificación. Estas estructuras son las siguientes:

- Tarjetas que incluyen microcontroladores (auto-verificación)
- Tarjetas que no incluyen microcontroladores (estructura automática)

· **Tarjetas que incluyen microcontroladores (Estructura auto-verificación):** Esta estructura es la más sencilla de implementar, ya que casi no requiere de circuitería adicional para implementar el sistema. Esto es debido a que si la tarjeta electrónica que quieres verificar dispone de un microcontrolador, este ya sirve como esclavo del secuenciador de test y con poca circuitería auxiliar externa se puede realizar una auto-verificación.

No obstante, y aquí el punto fuerte de este sistema, es que si el diseño del firmware del producto está basado en una ESSA, no hace falta reprogramar el microcontrolador con un software especial para hacer el test de auto-verificación ya que la ESSA, como se ha explicado anteriormente, permite la abstracción del hardware del microcontrolador y la desconexión de las capas superiores o tareas, dejando libre al control externo del hardware. Así, haciendo uso de la abstracción, el secuenciador de test utiliza el microcontrolador como esclavo y ejecutor de las acciones necesarias para llevar a cabo el proceso de auto-verificación.

Otro punto a favor, es que habitualmente los productos están formados por un conjunto de tarjetas electrónicas, de las cuales una de ellas suele ser el control, que incorpora un microcontrolador, y un conjunto de tarjetas complementarias tales como drivers, pantallas, interfaces, etc. Casi todas las tarjetas complementarias están conectadas directamente a la tarjeta de control, por lo tanto aprovechando estas conexiones también se puede realizar una verificación automática de cualquier tarjeta electrónica que complemente a la tarjeta de control.

En la Fig. 3 se puede observar lo que podría ser la estructura para comprobar diferentes tarjetas electrónicas de un mismo producto (2, 3) a través de una de las tarjetas electrónicas de ese mismo producto que monta un microcontrolador (1) con una estructura de software ESSA.

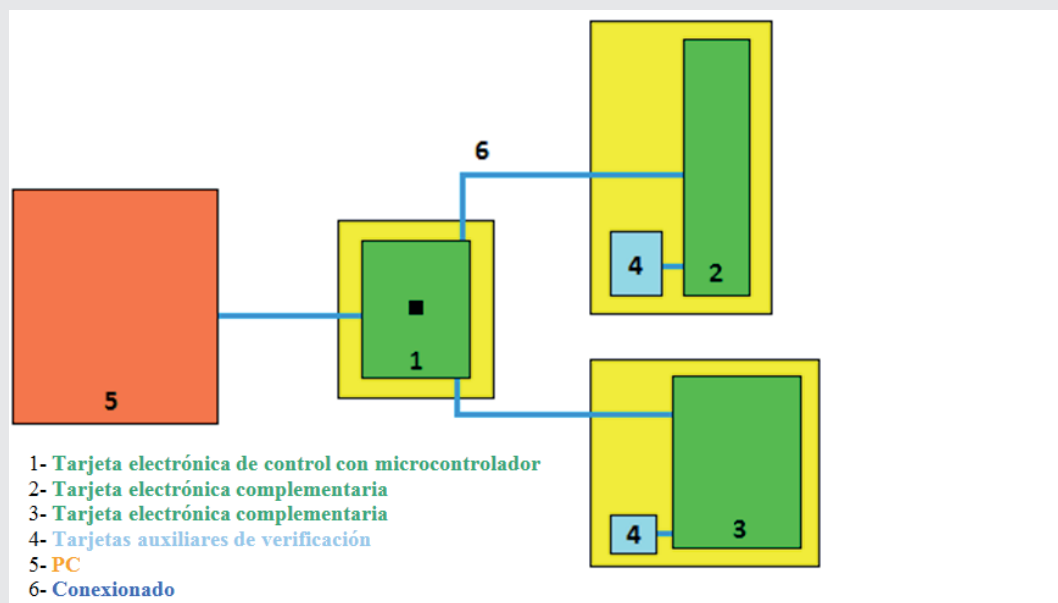


Fig.3 Esquema de conexión

· **Tarjetas que no incluyen microcontroladores (Estructura automática):** Esta estructura es más compleja que la anterior, pero por otro lado es más potente y versátil. A grandes rasgos, consiste en crear una estructura simplificada de un autómata, que este formada por un módulo CPU (Unidad de Procesamiento Central), módulos de acondicionamiento de señales de entrada y módulos de acondicionamiento de señales de salida.

El secuenciador de test envía las órdenes al módulo CPU y este, a través de los módulos de entrada y salida ejecuta el proceso de verificación sobre las tarjetas en disposición de ser verificadas.

En la Fig. 4 se puede observar un ejemplo de estructura para comprobar diferentes tarjetas electrónicas de un producto (2, 3), a través de una estructura tipo automática (1, 4).

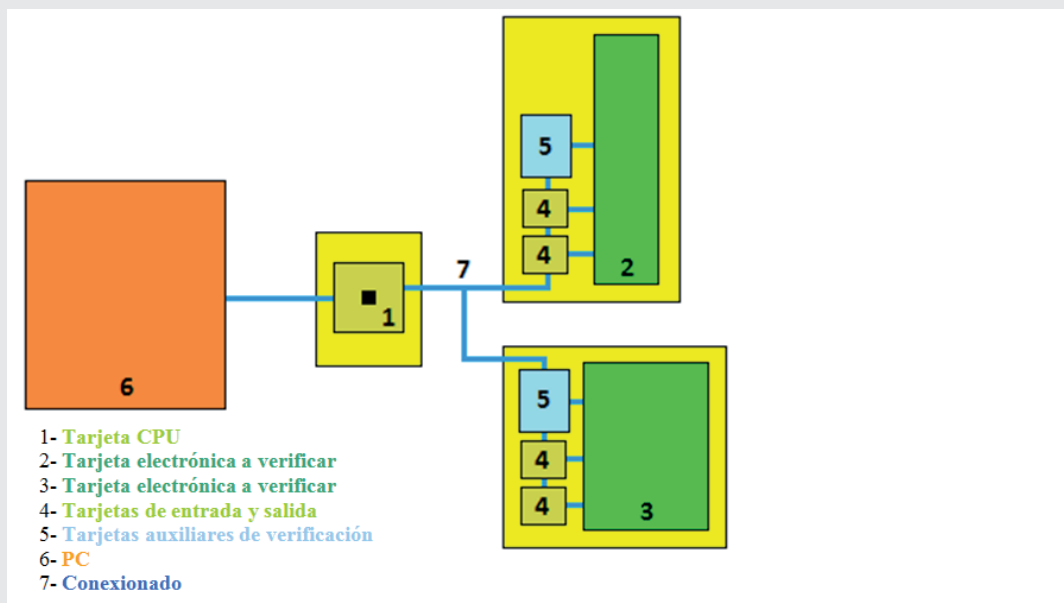


Fig.4 Esquema de conexión