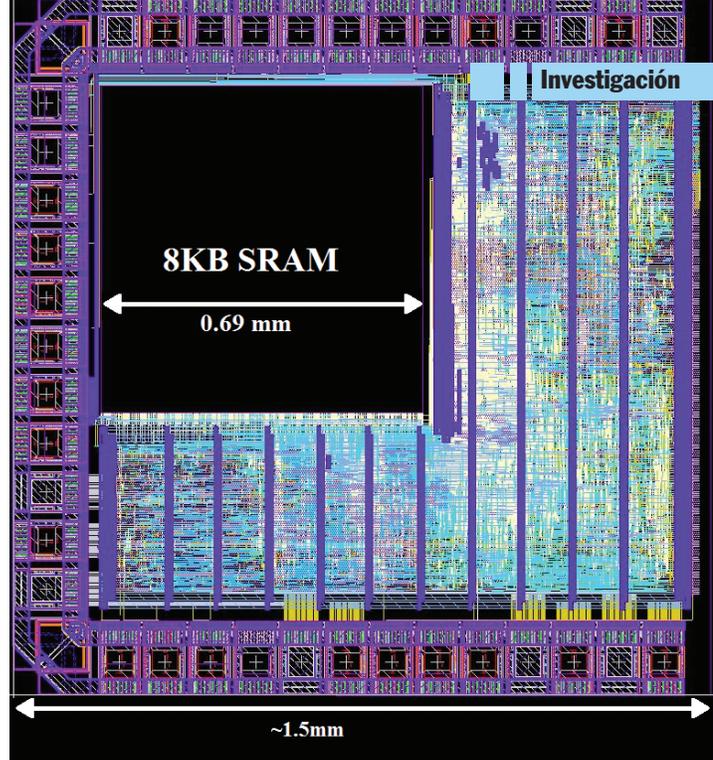


# C

## on desarrollo de primer micro-controlador, se abren importantes oportunidades para el TEC

Marcela Guzmán O., editora  
maguzman@itcr.ac.cr



Trazado físico del microcontrolador, listo para ser enviado a fabricación.

- Al llevar este proyecto hasta el silicio se cerró el ciclo completo de diseño de un circuito integrado
- TEC podrá hacer sus propias computadoras, celulares o marcapasos y eventualmente crear pequeñas y medianas empresas muy especializadas

Construir microcontroladores electrónicos es algo que hacen regularmente las grandes empresas transnacionales de alta tecnología, incluyendo gigantes como Google, Microsoft y Facebook, que generalmente se cree que solo hacen software. Diseñarlos y desarrollarlos en un país como el nuestro se convierte en todo un reto, en un paso gigantesco; y esto es precisamente lo que ha logrado el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) con el desarrollo del microcontrolador *SIWA* (sabiduría ancestral, en lengua cabécar).

El microcontrolador nacional está diseñado con base en una arquitectura denominada RISC-V de 32 bits, similar a la que utilizan los teléfonos celulares inteligentes y que puede usarse para otras funciones. En este caso, se utilizará en aplicaciones médicas, por ejemplo en un estimulador cardiaco. Pero igual se puede emplear en automatización industrial, monitoreo de variables, procesamiento de imágenes...

La primera iteración o versión está pensada para ser usada en un pequeño sistema electrónico que monitorea la actividad

cardiaca y aplica estímulos eléctricos al tejido cardiaco, según el tipo de tratamiento que un médico considere conveniente para un paciente con una cardiopatía.

Por ejemplo, el microcontrolador monitorea la actividad del corazón y de otras partes del cuerpo. Si esta se sale de determinados parámetros, por ejemplo el ritmo se vuelve irregular (arritmia), el microcontrolador ordena al estimulador inyectar una corriente proporcional de estímulo, para tratar de recuperar el ritmo adecuado del corazón. Hay varias otras funciones: si se detecta que el paciente está haciendo un esfuerzo (subiendo una escalera), entonces el microcontrolador se asegura de que aumente el ritmo cardiaco, dándole la orden al estimulador de que le inyecte pulsos, ya sea de corriente o de voltaje más rápidos al tejido cardiaco para que el corazón lata de manera adecuada.

Estas son todas funciones típicas de un marcapasos, pero con un microcontrolador, o *micro*, ahora es posible no solo ejercer este tipo de control, sino guardar datos de la actividad del corazón para que luego el médico en una cita los extraiga y los pueda analizar; es decir, se puede crear un historial de la actividad del paciente.

### Cerebro

“Un microcontrolador es el cerebro de cualquier sistema inteligente. Por

ejemplo, ahora que se habla de *Internet de las Cosas* (IoT), todo mundo piensa que lo más importante es Internet. Pero no: lo fundamental es que los dispositivos involucrados sean suficientemente inteligentes para poder conectarse a Internet y para eso se requiere un microcontrolador como el que hemos desarrollado”, dice el líder del proyecto Alfonso Chacón Rodríguez, doctor en microelectrónica e investigador del Laboratorio de Diseño de Circuitos Integrados (DCI Lab) de la Escuela de Ingeniería Electrónica del TEC. Y agrega: “El microcontrolador es una unidad de procesamiento de datos basada en un microprocesador, periféricos (lo que lo conecta con el mundo exterior y con los usuarios) y memoria; o sea, es un microchip muy complejo”.

El investigador explica que “al llevar este proyecto hasta el silicio (material semiconductor con el que está construido el microcontrolador) se cerró el ciclo completo de diseño de un circuito integrado”, que podría resumirse en estas etapas:

- *Especificación*, definición de los detalles de lo que se quiere que contenga el circuito integrado.
- *Diseño lógico y verificación*, construcción de la estructura lógica del circuito, mediante herramientas de codificación, simulación síntesis y verificación

temporal que nos aseguran que se cumplen los requisitos funcionales del circuito integrado.

- *Diseño físico*, diseño de las estructuras que implementan la estructura lógica propuesta en la etapa anterior, pero a nivel ya de micro-circuitos en una tecnología CMOS (tecnología basada en silicio dopado para producir transistores complementarios de efecto de campo, con los que se fabrican todos los chips modernos presentes en los dispositivos electrónicos y computacionales, tales como *tablets*, servidores, celulares, etc.). Esta etapa incluye una verificación más exhaustiva tanto funcional, como de las reglas físicas y eléctricas exigidas por el proceso CMOS de fabricación, que aseguran que al fabricarse el chip será funcional.
- Y finalmente la *fabricación*, cuando el circuito mismo es ya producido en una “*foundry*” comercial (en este caso, XFAB, <https://www.xfab.com/>, que produce circuitos integrados para clientes en todo el mundo. Ellos reciben nuestro diseño y usan sus sistemas y maquinaria para trasladarlo a silicio, devolviendo para pruebas y comercialización el chip real).

### Relevancia

El desarrollo de este dispositivo abre la puerta al TEC para incursionar en el desarrollo de sus propias computadoras (tan complejas como un teléfono inteligente, o tan sencillas como el control de un marcapasos), y eventualmente crear pequeñas y medianas empresas muy especializadas, de desarrollo electrónico de aplicaciones biomédicas o de IoT, propiedad de estudiantes y profesores, que puedan ofrecer servicios a empresas más grandes.

La ventaja del microcontrolador es que es totalmente flexible, explica Alfonso Chacón. Entonces, si por ejemplo una compañía necesita un sensor para monitorear alguna variable física importante (las vibraciones en un puente o el contenido de oxígeno y el pH en un tanque de cultivo de peces, por mencionar dos ejemplos), el microcontrolador puede programarse para controlar dicho sensor y guardar o transmitir la información para su recolección, pues el micro posee una interfaz que incluso le permite conectarse con

Internet. Es decir, que el microcontrolador no está limitado a aplicaciones biomédicas, sino que puede adaptarse rápidamente a otras necesidades inmediatas en el país (como el uso de sensores para agricultura inteligente o el monitoreo o control del tránsito vehicular).

### El equipo

Junto al doctor Chacón, otros integrantes del equipo que llevó a cabo la investigación que culminó con el desarrollo del microcontrolador fueron el doctor Renato Rímolo y los candidatos a doctor Ronny García y Roberto Molina. Pero además, son parte de este logro del TEC 20 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica, que trabajaron como asistentes de investigación; cinco estudiantes de la maestría en electrónica becados por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y por la Dirección de Posgrado; y los estudiantes del doctorado en ingeniería ya mencionados.

Por otra parte, la fabricación de los circuitos es financiada por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay, ya que el equipo costarricense trabaja en colaboración con el grupo de desarrollo de circuitos biomédicos que coordina el Dr. Alfredo Arnaud, profesor de la Universidad Católica del Uruguay.

El equipo de la universidad uruguaya ha desarrollado aplicaciones de este estilo, pero no poseían la capacidad de diseño digital necesaria para integrar un microcontrolador avanzado que supliera funciones programables a sus dispositivos. Ahí es donde el equipo del TEC aporta con el desarrollo de SIWA.

### ¿Cómo lo han hecho?

Alfonso Chacón explicó que este ha sido un largo proceso, que arranca con la creación de la Escuela de Ingeniería en Electrónica, en 1975. Con el tiempo, se dio el desarrollo de investigación que vino a complementar la preparación de profesionales con la creación de nuevos dispositivos electrónicos.

En el 2003 llegaron a trabajar al TEC Alfonso Chacón y Roberto Pereira, con el objetivo de desarrollar el área de microelectrónica. Al mismo tiempo empresas como Intel, primero, y Teradyne después, querían que en Costa Rica se pudieran hacer proyectos de este tipo. “Se dio entonces una sinergia

que permitió el desarrollo del equipo, lo que ocurre solo cuando las cosas se dan juntas”, dice Chacón. “Era necesario el concurso de la academia, de personas con experiencia de trabajo en la industria, de las empresas, de estudios, investigaciones, herramientas...”

Posteriormente, en 2013, la Escuela de Ingeniería Electrónica abre el programa de maestría en electrónica y desde afuera, las empresas ejercen presión para que se formaran personas con más conocimientos y herramientas en el área de la microelectrónica. “Quizás para mucha gente no es obvio, pero hacer un circuito integrado tan completo como un microcontrolador es un paso gigantesco. Ahora ya tenemos el *know-how* completo y el *expertise* para empezar a hacer nuestros propios dispositivos.

Adicionalmente, el TEC hizo un esfuerzo económico importante para la adquisición de equipo y licencias, un bloque de memoria y la fabricación del microcontrolador. En general, se invirtieron en esto alrededor de 150 mil dólares, que hoy también están al servicio de la docencia y la investigación.

### Clave del crecimiento

Poseer el conocimiento tecnológico para construir sus propios microcircuitos ha sido la clave del crecimiento económico de los tigres asiáticos (Corea, Taiwán, Singapur). El valor agregado por la venta o licenciamiento de un circuito microelectrónico es de 60 a 70% del total invertido. Esta es la tasa típica de retorno de una compañía que hace microcircuitos: es una de las tasas de retorno de inversión más altas que existen en la industria.

El doctor Chacón explica que una pyme nacional que desarrollara este tipo de microprocesadores integrados podría ofertar también su *expertise* para diseños contratados, que normalmente se cotizan en el mercado microelectrónico entre medio millón y un millón de dólares, para circuitos que requieren un equipo de cinco a diez personas. Esta es una actividad muy lucrativa, que generaría muchos ingresos al país (y que se vuelve un círculo virtuoso, pues al irse posicionando en el mercado y ganando experiencia, se genera un aumento en las capacidades técnicas de estas empresas que las vuelven atractivas ya para diseños en que podrían hasta trabajar como socias con

empresas más grandes como Intel, Samsung, HPe y Apple).

Ahora el TEC también se puede posicionar como un consultor mediante la oferta a las grandes empresas mencionadas de servicios de apoyo en entrenamiento de personal altamente calificado, e incluso en diseño e investigación, en un modelo que ya existe en otros lugares con muchas universidades; así, si se tiene una necesidad particular de mejorar algún circuito o parte del flujo de diseño (como las mismas herramientas que se usan para fabricarlos), ya Intel o HPe en Costa Rica, por ejemplo, puede comisionar al TEC para apoyarlas (en vez de llevarse el problema a EEUU, Israel, Japón o Europa), lo que significaría altos ingresos limpios para el TEC, además de prestigio.

### Características de SIWA

SIWA es un dispositivo electrónico integrado en una tecnología CMOS de 180 nanómetros de alto voltaje. En general ofrece:

- 1. Flexibilidad:** Contiene un núcleo de procesamiento RISC, capaz de ejecutar programas (software) hechos a la medida para diferentes aplicaciones. Es decir, un solo dispositivo puede personalizarse según las necesidades específicas de muchos usuarios.
- 2. Integración:** Junto con el núcleo de procesamiento, SIWA contiene suficientes interfaces para monitorear y hasta actuar sobre el sistema cardiovascular de un paciente, sin requerir de mayor cantidad de componentes externos.
- 3. Versatilidad:** El diseño de SIWA permite cambiar con relativa facilidad el entorno del núcleo de procesamiento y adaptarlo para otras aplicaciones, tanto en medicina como en otras áreas de la industria.
- 4. Innovación:** Además de ser el primer microcontrolador diseñado por completo en Costa Rica,

esta primera versión de SIWA es totalmente integrada, lo que aumenta la confiabilidad como dispositivo médico (comparado con soluciones comerciales que usan componentes discretos) y reduce significativamente el consumo de potencia del sistema (lo que se traduce en mejores condiciones para implantarse en humanos).

Un microcontrolador es en realidad un microprocesador que posee, además de sus unidades de procesamiento, interfaces de entrada y salida para realizar funciones específicas. El núcleo de SIWA está basado en una arquitectura RISC-V de 32-bits y este núcleo se puede complementar con diferentes interfaces para diferentes aplicaciones. ■

### Ciclo de diseño de un circuito integrado

