



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y construcción de un módulo de
comunicación Wi-Fi y Bluetooth para un
sistema controlador de accesos**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Marcos Eduardo Chávez Mañón

ASESOR DE INFORME

Dr. José Ismael Martínez López



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Resumen

En el siguiente documento describiré el proceso de análisis, diseño y construcción de un módulo que permite la comunicación Wi-Fi y Bluetooth. Dicho módulo está destinado para la comunicación de un usuario con un sistema controlador de accesos (SCA). Estoy partiendo de un sistema controlador de accesos desarrollado por una empresa. Estudio sus procesos de manufactura y pruebas. Describo los sistemas de gestión de información empleados. Estudio el módulo Wi-Fi / Bluetooth (WB) como sistema para conocer entradas, salidas y procesos del mismo. Parto un hardware base (chip Espressif) para empezar el desarrollo. Describo el proceso de diseño. Realizo una prueba para asegurarme que los módulos funcionan. Finalmente, doy conclusiones y resultados.

Objetivo

Diseñar y construir un módulo funcional para la comunicación Wi-Fi y Bluetooth de un sistema controlador de accesos (SCA).

Índice

1. Introducción	2
2. Antecedentes del proyecto	2
3. Definición del problema	3
4. Marco teórico	3
4.1. Sistemas de control de acceso (SCA)	3
4.2. Circuito integrado Espressif	4
4.3. Comunicaciones	5
4.3.1. UART	5
4.3.2. JTAG	6
4.3.3. I2C	6
4.3.4. QSPI	7
4.4. Filtrado de fuentes de tensión	8
4.5. Cristal	9
4.6. Memoria Flash	10
5. Metodología utilizada	10
6. Participación profesional	11
6.1. El papel del módulo WB	11
6.2. Análisis del sistema	12
6.3. Puntos de prueba	16
6.4. Programación JTAG	17
6.5. PCB	17
6.6. Ahorros	19
6.7. Revisión de proyecto	19
6.8. Prototipo final	20
6.9. Prueba funcional	20
7. Resultados y aportaciones	21
8. Conclusiones	21
9. Bibliografía	22
10. Glosario	22
11. Notas finales del autor	23

1. Introducción

Estamos viviendo en total cercanía con dispositivos electrónicos conectados a internet. Gran parte de los dispositivos de uso diario requieren de conexión a la nube para poder funcionar. Están como ejemplo las aplicaciones de celular, las computadoras, servicios de banco, servicios de transporte, etc. Cada uno de los dispositivos empleados es un nodo capaz de brindar y recibir información de la nube.

El internet de las cosas, IoT por sus siglas en inglés, es una tecnología que permite conectar nodos a través de internet para la recolección de datos específicos de una situación. Dichos datos son utilizados por un software o una persona para tomar una decisión acerca de la situación.

IoT es utilizado por las empresas para la conexión de sus productos a la nube. De esta forma, un cliente puede tener un control de sus dispositivos. Además, se pueden realizar actualizaciones de firmware y corrección de problemas de manera remota. Esto hace que las empresas quieran incorporar esta tecnología a cada uno de sus productos. Para poder incluir IoT en un producto, se requiere de un sistema que permita la implementación de protocolos Wi-Fi. Existen empresas que se dedican exclusivamente al diseño de dichos sistemas, una de ellas es Espressif.

Espressif está enfocada en el desarrollo de hardware para IoT. Durante años, esta empresa ha generado circuitos integrados de muy bajo costo que permiten la comunicación Wi-Fi. Los requerimientos adicionales de hardware son casi nulos y hacen que esta opción sea muy atractiva para diversas empresas. Cabe destacar que Espressif no ha tenido un gran desarrollo de software, en cambio esta compañía utiliza software libre. El desarrollo de código se ha dado a través de la comunidad global. El funcionamiento del hardware está basado en bibliotecas y funciones liberadas en la nube.

En lo consecuente, describiré el hardware de un módulo de Wi-Fi/Bluetooth (módulo WB) basado en un circuito integrado de Espressif. Este módulo está destinado para comunicar a un sistema controlador de accesos (SCA) diseñado por una empresa particular.

2. Antecedentes del proyecto

La empresa utiliza módulos Wi-Fi para la conexión de sistemas controladores de accesos (SCA) a través de la nube. Durante años la empresa estuvo trabajando plataformas Wi-Fi con módulos comprados. Actualmente la empresa cuenta con un módulo de Wi-Fi diseñado internamente y liberado hace unos cuantos años. Ahora la empresa tiene la infraestructura necesaria para manufacturar y probar este sistema. La empresa tomó la decisión de rediseñar este módulo utilizando una nueva arquitectura basada en el hardware que ofrece Espressif. Por lo que todo el desarrollo de la tercera generación del módulo será delimitado por los requerimientos del circuito integrado Espressif. Cabe destacar que esta tercera generación incluirá la posibilidad de comunicación Bluetooth por lo que la conoceremos como módulos WB.

Una de las preocupaciones principales cuando se empieza un proyecto de rediseño es conservar la calidad y funcionalidad del producto. El módulo actual ha dado muy buenos resultados a la empresa ya que ha mostrado un muy buen desempeño y el agrado de los usuarios. Por otra parte, se deben considerar las capacidades de manufactura y pruebas que posee la empresa para poder ajustarse a ellas.

Existe un tablero electrónico que maneja la lógica de control para los SCA conocido como tablero lógico (TL). Este tablero cuenta con un hardware establecido para interactuar con el módulo WB. Es un requisito de diseño que dicho hardware no se vea modificado.

Los sistemas que se requieren en el diseño del módulo WB son:

- Comunicación UART
- Comunicación JTAG
- Comunicación I2C
- Puertos digitales de propósito general
- Antena para transmisión y recepción
- Memoria para el almacenamiento de firmware

Además, se debe considerar que se dispone de un regulador lineal a 3.3V para la alimentación del módulo. Dicho regulador se encuentra en TL, por lo que no se podrá modificar. Sin embargo, puede utilizarse cualquier tipo de hardware para controlar las variaciones de tensión internas al módulo.

3. Definición del problema

Existe la necesidad de diseñar y construir un módulo WB basado en un chip Espressif compatible con un SCA existente. Este módulo tiene como objetivo principal la reducción de costos, conservando la misma calidad del producto. Deben conservarse todas las funciones con las que se cuenta actualmente y su diseño debe dar a la empresa absoluto control sobre el hardware obtenido. Por último, el diseño debe tomar en cuenta las reglas establecidas por manufactura y pruebas. Dichas reglas están basadas en las capacidades de los equipos con los que cuenta la empresa y están documentadas en los archivos: DPM (Diseño para manufactura) y DPP (Diseño para pruebas).

4. Marco Teórico

4.1 Sistemas de control de acceso SCA

Un SCA es un sistema electromecánico que incorpora interfaces de usuario, sensores, lógica de control y actuadores. Tiene como objetivo controlar la apertura o cierre de accesos a vehículos, tales como garajes, cortinas comerciales, accesos residenciales, etc. Los SCA son operados desde dispositivos remotos, los cuales pueden utilizar diferentes tipos de comunicación, como lo son: señales moduladas y encriptadas a distintas frecuencias y comunicación Wi-Fi, comunicación Bluetooth.

A su vez, los SCA incorporan mecanismos de seguridad para el usuario. Los sistemas más empleados son los sensores infrarrojos, que se utilizan para la detección de personas. Gracias a estos sistemas, el SCA puede tomar distintas decisiones basado en las acciones que estaba ejecutando. Por ejemplo, si el SCA está cerrando, se tiene que detener el proceso y regresar el viaje inmediatamente. También, se puede presentar una obstrucción al sistema; en este caso, se tiene que sensar la fuerza de oposición y determinar rápidamente si tiene que regresar o puede continuar. Existen especificaciones y regulaciones que debe cumplir un SCA antes de que llegue a un usuario. Estas especificaciones se encuentran delimitadas por las normas y leyes que tiene cada país en el que el SCA será utilizado.

Generalmente, se utiliza un control remoto para la operación de un SCA. Éste puede ser instalado en un vehículo y cuenta con un rango suficiente para accionar el SCA desde unas cuerdas de distancia. Además, se cuentan con aplicaciones para celular en las que se controlan accesos, registro de entradas, luz del garaje y la

configuración de funcionamiento de un SCA. En suma, se cuentan con distintos accesorios como paneles de control en paredes, teléfonos para la apertura de sistemas residenciales, etc.

La comunicación Wi-Fi y Bluetooth se dan a través un módulo que es parte del SCA. Dicho módulo es fabricado por la empresa y su construcción está sujeta a sus procesos de manufactura. Este módulo se instala dentro de un tablero lógico (TL) y sirve como medio de comunicación hacia la nube. El TL controla todas las funciones del SCA

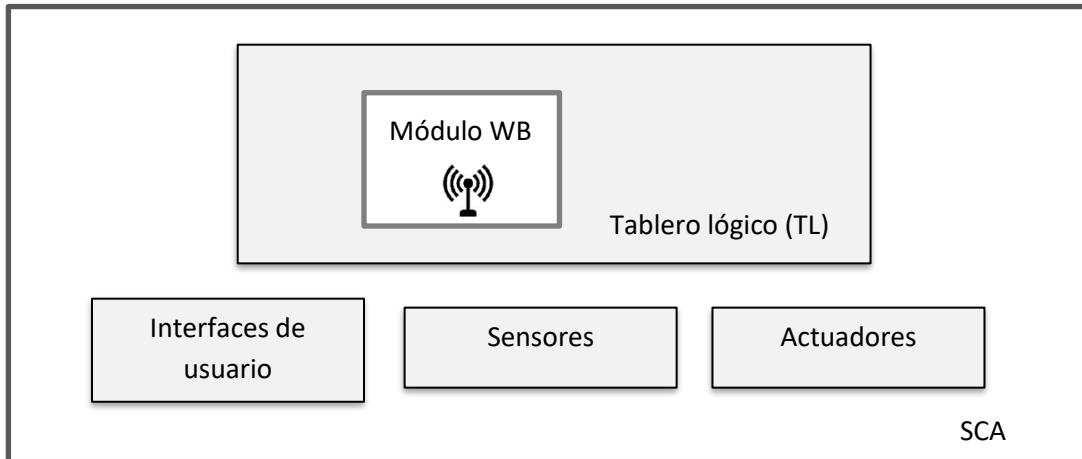


Figura 1. Estructura de un SCA

La interacción entre el módulo y el SCA se da a través de distintos tipos de comunicación, cada una con funciones en específico. Gracias a esto, se pueden establecer actualizaciones de firmware, acceso al control del SCA, revisión de estado de la unidad y activación de periféricos a través de internet o bluetooth.

4.2 Circuito integrado Espressif

Se trata de un CI que implementa los protocolos de comunicación Wi-Fi y Bluetooth. Espressif es una empresa especializada en la tecnología IoT (Internet de las cosas).

Espressif es una compañía enfocada en el desarrollo de hardware. Ha enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de tecnologías IoT de bajo costo. Con respecto a la programación, Espressif no ha desarrollado plataformas de desarrollo que den soporte a la creación de firmware. Por otro lado, ha buscado el desarrollo de IoT a través de software libre, por lo que el avance en desarrollo de software se ha dado por las aportaciones de toda la comunidad en internet. Lo anterior tiene como ventaja que se puede utilizar código liberado para el desarrollo de aplicaciones complejas, todo esto en un tiempo relativamente corto. Sin embargo, una de las desventajas es que no se tiene un control absoluto del código liberado en las bibliotecas comunes. Esto puede generar problemas para aplicaciones específicas.

El sector industrial se ha inclinado por la utilización de hardware de Espressif debido al bajo costo y diversas funcionalidades. El circuito integrado empleado se describe con el diagrama a bloques de la figura dos.

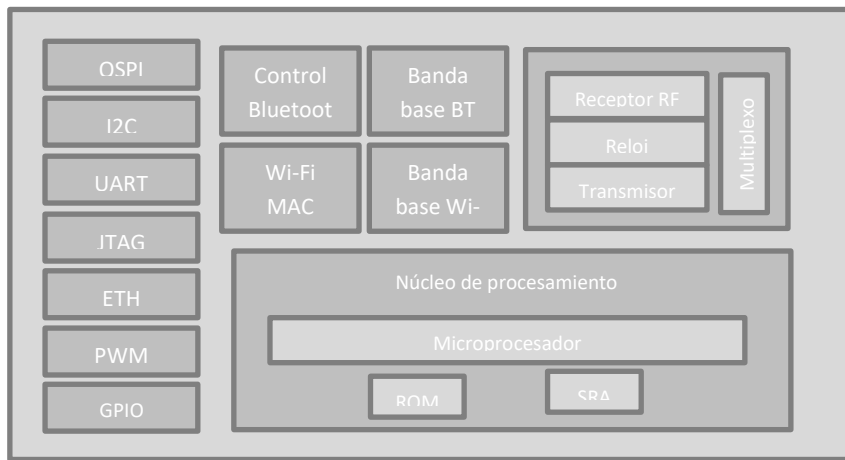


Figura 2. Estructura del CI Espressif

Este integrado no solo soporta los protocolos de comunicación Wi-Fi y Bluetooth, también ofrece puertos digitales de propósito general, comunicaciones I2C, UART, JTAG, SPI, etc. Esto hace versátil al dispositivo.

4.3 Comunicaciones

4.3.1 UART

UART es un protocolo digital de comunicación serial. Es un acrónimo en inglés para el nombre: Transmisor-receptor universal asíncrono. Este protocolo comunica bidireccionalmente a dos dispositivos.

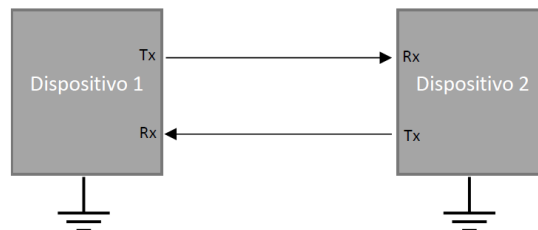


Figura 3. Comunicación UART

Entre sus principales ventajas está la simplicidad del hardware requerido. Se necesitan dos líneas para transmisión y recepción entre dos dispositivos y una tierra común. Se dice que la comunicación es asíncrona porque no se cuenta con un reloj común que coordine la comunicación. Cada dispositivo debe contar con un reloj interno. Para lograr la coordinación, se debe decidir una velocidad de transmisión y recepción de datos.

Los datos se mandan y reciben bit a bit de forma serial. Se requiere de un bit de inicio y de término para indicar los límites de la palabra enviada.

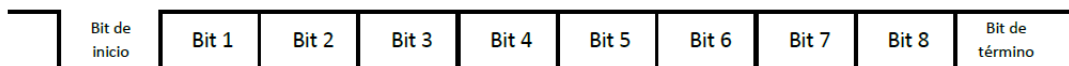


Figura 4. Serie de bits en comunicación UART

4.3.2 JTAG

JTAG es el acrónimo en inglés de Grupo de Acción de Prueba en conjunto. Es una institución dedicada a la prueba de ensamblajes de tableros electrónicos al ser manufacturados. Esta institución optó por crear un hardware estándar, dentro de los circuitos integrados, con la finalidad de acceder a cada pin del CI dentro de un circuito impreso.

El hardware implica un escaneo en los límites del circuito integrado que no altera su funcionalidad. Esto sirve para leer y escribir todos los pines de un CI. Además, JTAG tiene la capacidad de leer y escribir en la memoria de programa. Esto hace que JTAG sea ampliamente utilizado para la programación de circuitos integrados. En suma, se puede realizar una depuración del CI utilizando JTAG. Todo lo anterior se puede realizar con el circuito integrado dentro de un tablero electrónico. Inclusive, pueden comunicarse varios dispositivos con JTAG de forma serial para poder acceder a cada uno desde un dispositivo maestro.

La información es obtenida de forma serial a través del escaneo de límites. Esto hace que se requieran únicamente dos líneas para datos de salida y entrada.

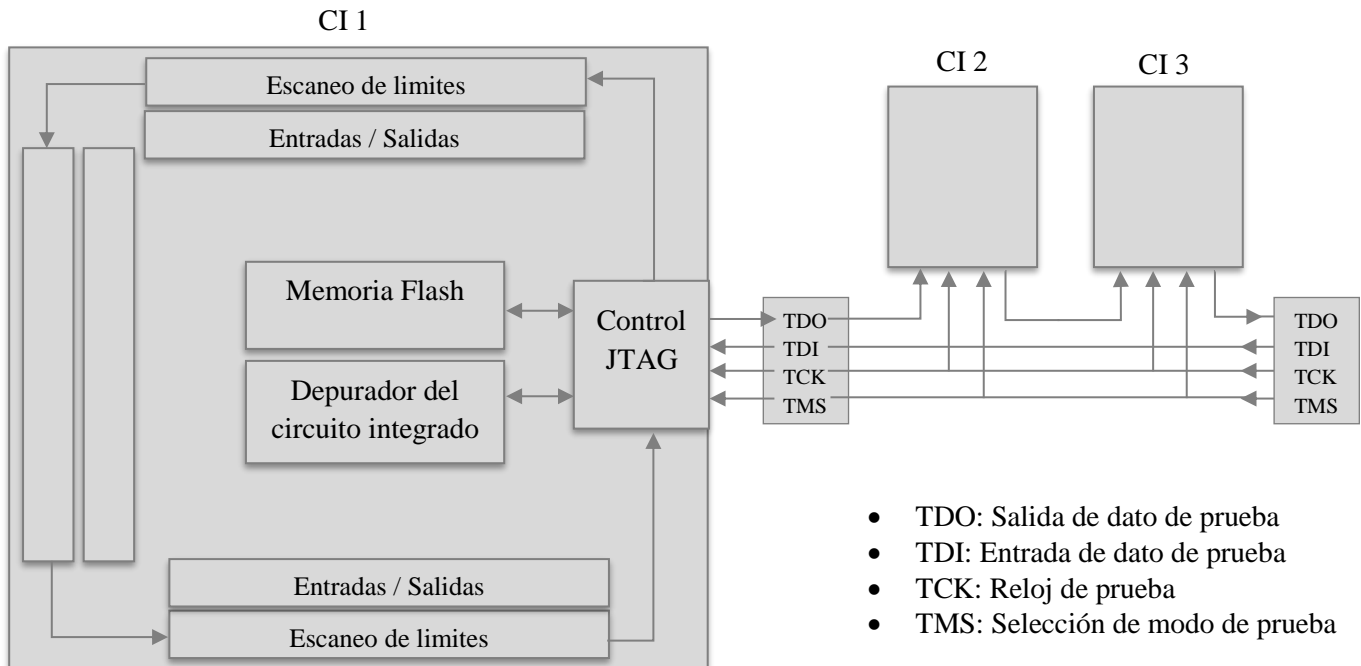


Figura 5. Comunicación JTAG

4.3.3 I2C

La comunicación I2C es una comunicación serial síncrona que tiene la capacidad de comunicar a varios dispositivos con un hardware simple. Es ampliamente utilizada para comunicar dispositivos periféricos hacia un dispositivo maestro. Además, puede configurarse para conectar al bus más de un dispositivo maestro.

El hardware requerido consta de un bus de dos líneas: SDA (transmisión de datos) y SCL (reloj de sincronización). Todos los dispositivos se conectan a este bus y la comunicación se da de forma ordenada, transmitiendo datos de un solo dispositivo.

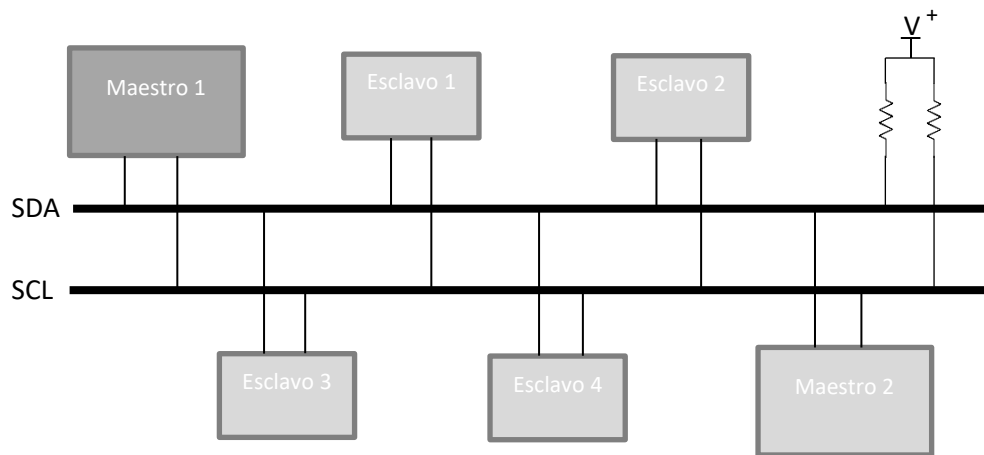


Figura 6. Comunicación I2C

El protocolo utilizado en esta comunicación requiere que las señales SDA y SCL se mantengan en un lógico cuando no hay actividad en el bus. Los dispositivos que tienen soporte en I2C utilizan pines ‘Open drain’ para las señales SDA y SCL. Por lo que se requieren de dos resistencias ‘pull up’ para asegurar el estado alto del bus.

4.3.4 QSPI

QSPI es un tipo de comunicación serial que soporta muy altas frecuencias de comunicación (>100 MHz). El hardware consta de cuatro líneas bidireccionales de comunicación serial, una línea para el reloj de sincronización y una línea para habilitar la comunicación. Es ampliamente utilizada para la comunicación entre un microcontrolador y una memoria de programa.

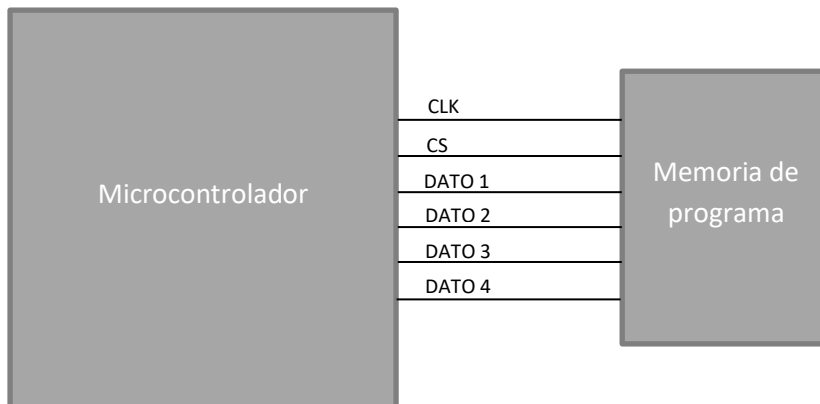


Figure 7. Señales de la comunicación QSPI

Esta comunicación permite la entrada y salida de datos por 4 líneas simultáneamente. Cada una de estas líneas transmite de modo serial, a diferencia de comunicaciones exclusivamente paralelas. Las memorias Flash configuradas en QSPI suelen ser de menor tamaño a las que utilizan comunicación paralela. Esto es una gran ventaja para poder generar diseños de PCB más pequeños.

4.4 Filtrado de fuentes de tensión de corriente directa

La regulación de tensión de corriente directa (DC por sus siglas en inglés) para la alimentación de un circuito integrado es de gran importancia para asegurar su correcto funcionamiento. El proveedor de cada circuito integrado especifica las tolerancias de variación de la tensión. Es por ello que deben eliminarse las variaciones de tensión utilizando filtros.

Las variaciones de tensión en la alimentación se producen debido a variaciones en la carga que se conecta. Al variar la carga, la demanda de corriente varía provocando que la tensión se modifique. Esto puede ser producido por circuitos de conmutación dentro del integrado, el inicio de una transmisión, la activación de un actuador, etc. En otras palabras, las aplicaciones definirán el tipo de variaciones que se tienen en la alimentación. El objetivo del filtrado es eliminar las variaciones de tensión para todas las frecuencias que se presenten.

Dado que la frecuencia de interés para mantener una señal de DC es 0Hz, se utilizan filtros paso bajas. Generalmente, se usan capacitores en paralelo a la fuente de alimentación, conocidos como capacitores *bypass*. Si consideramos el modelo ideal de un capacitor, solo se necesitaría un capacitor (del orden de los micro faradios) con una frecuencia de corte baja (del orden de las decenas de Hertz) para filtrar todas las altas frecuencias. Sin embargo, un modelo más aproximado al comportamiento de un capacitor *bypass* considera una resistencia y una inductancia en serie con el capacitor.

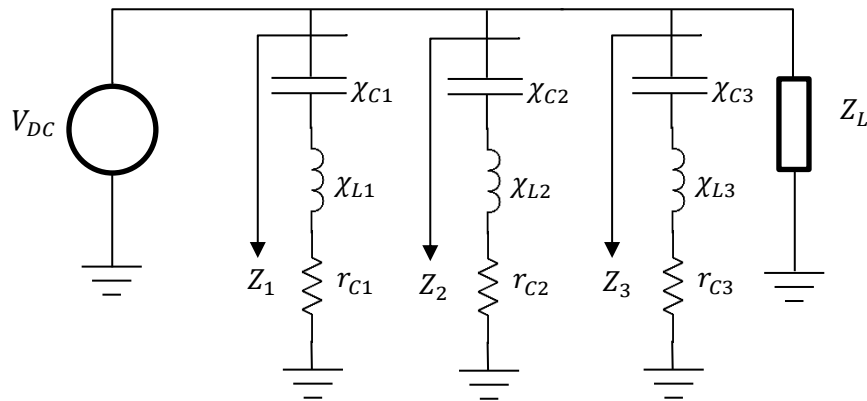


Figura 8. Impedancia de capacitores *bypass* en paralelo

De esta forma podemos establecer que la impedancia en una de las ramas está dada por:

$$Z_n = r_{Cn} + \chi_{Cn} + \chi_{Ln}$$

Sea f_{0n} la frecuencia de resonancia de una rama Z_n , entonces:

- Para DC: $\chi_{Cn} \rightarrow \infty \therefore Z_n \rightarrow \infty$ (Circuito abierto)
- Para f_{0n} : $|\chi_{Cn}| = |\chi_{Ln}| \therefore Z_n = r_C$ (Baja impedancia)
- Para $f \gg f_0$: $\chi_L \rightarrow \infty \therefore Z_n \rightarrow \infty$ (Circuito abierto)

Por lo que cada rama tiene un comportamiento en frecuencia tal como se muestra en la figura nueve.

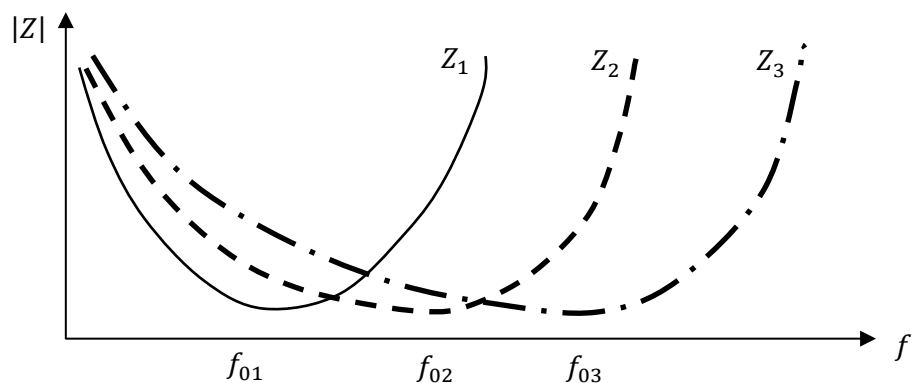


Figura 9. Magnitud de la impedancia de las ramas del circuito con capacitores *bypass* con respecto a la frecuencia.

La respuesta combinada de cada capacitor logra filtrar todos los rangos de frecuencia de interés.

4.5 Cristal

Un cristal es un dispositivo constituido con un material piezoeléctrico. Al excitar con una diferencia de potencial a un material piezoeléctrico se producirá un movimiento mecánico en su estructura. De manera recíproca, la vibración mecánica producirá una variación de tensión, formándose así una oscilación.

Las dimensiones del cristal y las propiedades del material con el que está construido hacen que la amplitud de las vibraciones sea más grande para algunas frecuencias que para otras. La frecuencia natural de resonancia se da cuando la amplitud de la oscilación alcanza un máximo. Los cristales pueden ser modelados como circuitos RLC sintonizados a la frecuencia de resonancia. Esto puede facilitar su análisis dentro de un circuito electrónico.

Dado que inherentemente existe una resistencia interna al cristal, se tiene una pérdida en la amplitud de la oscilación. Para que el sistema pueda oscilar continuamente se tiene que suministrar energía al sistema. Para esto se utiliza un amplificador en serie con el cristal. La energía suministrada deberá ser proporcionada en fase a la oscilación y deberá regularse dependiendo de la salida del amplificador para evitar la inestabilidad. Para ello, se emplea una red de realimentación dependiente de la amplitud.

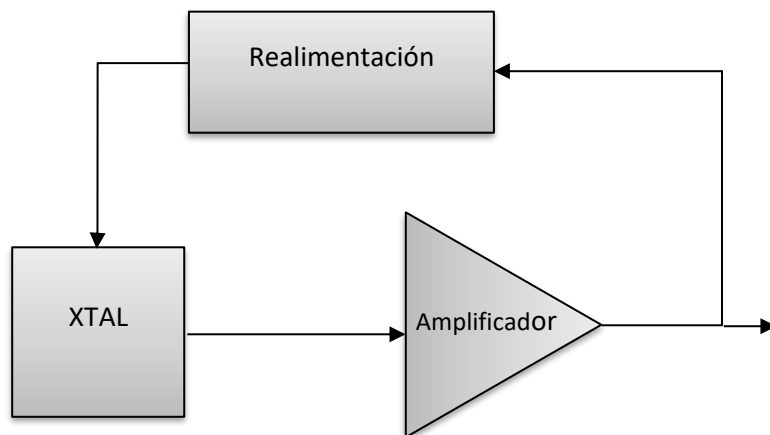


Figura 10. Diagrama básico para generar oscilación

Los parámetros importantes a considerar en un oscilador son:

- Frecuencia de oscilación.
- Amplitud de oscilación estable: la señal de salida debe ser retenida para que la tensión no caiga a cero o, por el contrario, entre en inestabilidad el sistema.
- Alimentación DC regulada: Para poder generar una correcta amplificación y realimentación del sistema, las variaciones en la alimentación de DC deben ser minimizadas.
- Estabilidad: La estabilidad de un cristal nos dice las variaciones máximas de frecuencia que el dispositivo puede tener. Generalmente se especifica en partes por millón o ppm.
- Variación con respecto a la temperatura.

El cristal es un dispositivo que juega un papel clave en el funcionamiento del sistema, ya que provee una señal de reloj al microcontrolador. Internamente el microcontrolador hace uso de una malla de fase encadenada (PLL por sus siglas en inglés) para escalar la frecuencia base del oscilador y de esta manera generar las frecuencias necesarias para su funcionamiento.

4.6 Memoria Flash

Memoria no volátil ampliamente utilizada para el almacenamiento de programas ejecutados por un microcontrolador. En aplicaciones enfocadas a productos, se selecciona su capacidad para poder almacenar dos programas que el microcontrolador puede ejecutar. Uno de los programas verifica las opciones de inicio, verifica que la versión de firmware sea la adecuada y tiene la capacidad de acceder a la nube para modificar el segundo programa, a este proceso se le conoce como bootloading. El segundo programa es utilizado por el microcontrolador para ejecutar las funciones normales.

5. Metodología utilizada

Utilicé el método de análisis-síntesis para la realización de este proyecto.

- Observación:
 - Existe un módulo que permite la comunicación Wi-Fi / Bluetooth para un SCA.
 - Existe un proceso de manufactura y pruebas para este módulo.
 - Existe un sistema de gestión de datos para los diseños de la empresa.
 - Existe un software de diseño de PCB con el que cuenta la empresa
- Descripción:
 - El módulo WB cuenta con 7 sistemas principales.
 - Existen reglas de diseño establecidas por manufactura y pruebas. Dichas reglas se establecen en procesos: diseño para manufactura (DPM) y diseño para pruebas (DPP).
 - Se utilizan dos softwares para la gestión de datos: PTC Windchill y SAP.
 - Se utiliza el software 'Altium designer' como herramienta para el diseño de PCB.
- Examen crítico:
 - Estudio aislado de cada uno de los sistemas involucrados en el módulo WB.
 - Estudio de los procesos DPM y DPP
 - Estudio de PTC Windchill y SAP
 - Estudio de Altium designer
- Enumeración:
 - Estudio de la interacción entre sistemas que conforman al módulo WB, así como la interacción con el control del SCA

- Ordenación y clasificación:
 - Integración de los sistemas para conformar el diseño de un nuevo módulo WB
 - Validación del módulo WB por manufactura y pruebas
 - Documentación del proyecto en las plataformas PTC Windchill y SAP
 - Los archivos generados de Altium se utilizaron para manufacturar módulos funcionales
- Conclusión

6. Participación profesional

6.1 El papel del módulo WB en un SCA

Inicialmente mi tarea consistió en entender y conocer el hardware actual con el que cuenta la empresa, así como los procesos de producción que están involucrados en la construcción de este módulo. Para ello fue necesario que realizara las siguientes acciones:

- Estudié el funcionamiento de un SCA a nivel usuario.

Instalé un SCA para controlar el acceso de un garaje. Comprobé el control de los sistemas que incorpora a través de un panel en la pared y a través de un control remoto. La empresa cuenta con una interfaz gráfica para facilitar la conexión de un SCA a internet. Esta interfaz está destinada a usuarios. Utilicé y me vi ampliamente familiarizado con dicha interfaz. Conocí los diferentes tipos de transmisores que puede tener un usuario y de qué formas puede acceder al control de un SCA.

- Entendí la función del módulo WB en la interfaz al usuario que posee la empresa
La interfaz con el usuario es una aplicación para celular desarrollada por la empresa. En dicha aplicación se genera un usuario para controlar un número limitado de SCA. Por cada SCA se tiene que hacer un apareamiento de la cuenta con el módulo WB.

El módulo WB permite que un SCA tenga una dirección MAC única a nivel global que provee la IEEE. De esta forma, los SCA se pueden conectar al modem de un usuario y acceder a la red. Dada esta conexión, el usuario tiene que seguir un sencillo proceso para lograr el vínculo de su SCA con su cuenta en internet.

- Conocí la forma en que se gestionan los datos dentro de la empresa

La empresa cuenta con dos programas para la gestión de información: PTC Windchill y SAP.

SAP se utiliza principalmente para la gestión de materiales en el proceso de manufactura. Esto implica una descripción de todos los materiales que conforman una unidad final. Esto se especifica en un listado de materiales (LM). Además, se cuentan con documentos (Instrucciones de Manufactura) que especifican claramente cómo deben ser los procesos de manufactura. Por otra parte, SAP sirve a distintas áreas además de ingeniería, como lo es compras y calidad. Compras utiliza este sistema para costear todas las partes. Calidad tiene que asegurarse que efectivamente se construya un producto de acuerdo al LM.

En Windchill se encuentra la toda la información de la planta: procesos, dibujos, diseños, sistemas y partes utilizados en la planta. Además, tiene la función de gestionar los cambios de ingeniería.

- Conocí el proceso que implica una notificación de cambio de ingeniería NCI

Un NCI es un proceso por el cual la ingeniería de producto notifica a la empresa que se modificara algo en un producto. Este cambio puede ser originado por:

- ❖ Reemplazo de una parte para mejora de calidad
- ❖ Alguna parte ya no estará más a la venta
- ❖ El proveedor de una parte notifica algún cambio en su producto
- ❖ Existe una queja de cliente que se tiene que corregir
- ❖ Existe un ahorro
- ❖ Estandarización del sistema, etc.

El cambio es analizado por todas las áreas funcionales a las que pueda afectar. Las áreas funcionales tienen obligación de analizar el impacto que tiene el cambio para su área. Entre ellas están:

- ❖ Departamento de regulación
- ❖ Gerencia de ingeniería
- ❖ Finanzas
- ❖ Nuevos productos
- ❖ Servicios de campo
- ❖ Manufactura
- ❖ Sourcing
- ❖ Compras

Una vez que el NCI es aprobado, se genera una nueva revisión del producto o la parte afectada. A su vez, es posible que se tengan que modificar especificaciones, dibujos o LM.

- Conocí el hardware que constituye el módulo WB, así como los procesos de manufactura y prueba que se utilizan para su construcción.

El módulo WB es un tablero electrónico construido con componentes de montaje superficial. Tiene dimensiones comparables con una estampilla de correo. Está destinado para ser integrado dentro del tablero lógico (TL) de un SCA. Este módulo es fabricado por la empresa y se cuenta con el equipo necesario para optimizarlo. El módulo se somete a pruebas para validar su funcionamiento a nivel individual y a nivel sistema integrado en el TL. El módulo es programado dentro del proceso de manufactura y pruebas. El programa hace posible que las comunicaciones con el TL se lleven a cabo.

6.2 Análisis del módulo WB como sistema

El sistema WB está basado en un chip Espressif que implementa los protocolos de comunicación Wi-Fi y Bluetooth. El diagrama a bloques del módulo WB está descrito en la figura once.

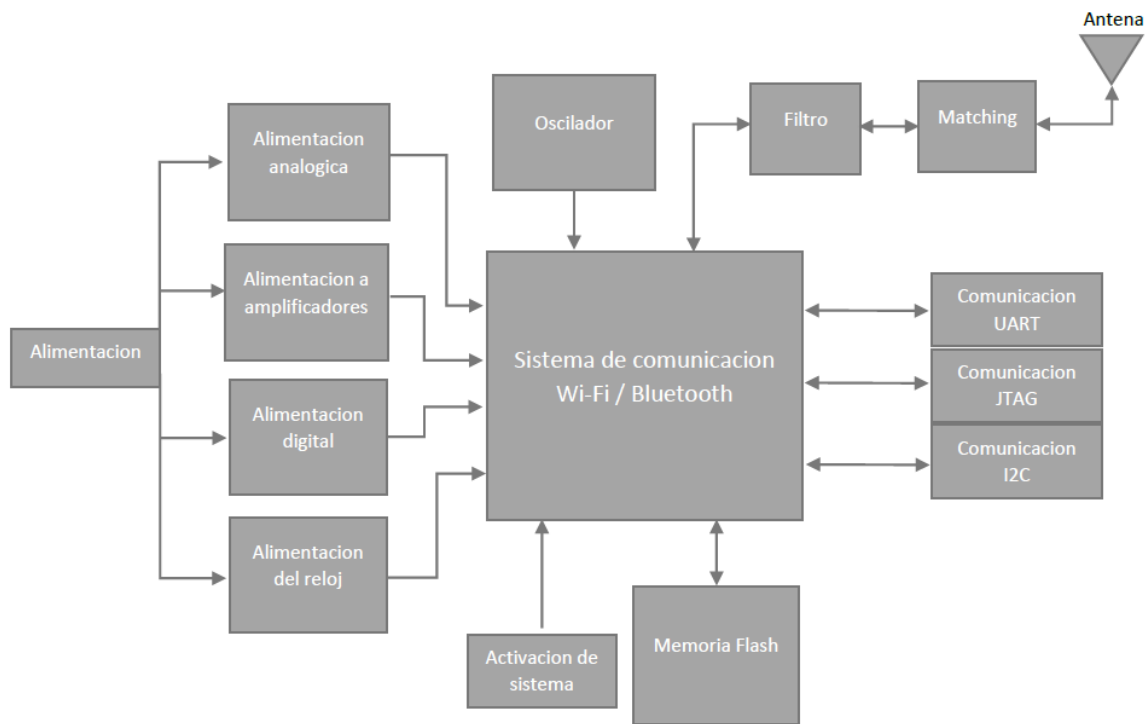


Figura 11. Diagrama a bloques del módulo WB

- Alimentación:

Un SCA está conectado a la red doméstica de tensión alterna. El TL cuenta con una fuente de tensión DC y posteriormente llega a reguladores de tensión lineales. Uno de los reguladores entrega 3.3V al módulo WB cuando éste sea posicionado en el TL.

El CI Espressif cuenta con varias entradas de alimentación. Cada una de ellas está enfocada a un subsistema en específico: alimentación analógica, alimentación a amplificadores, alimentación digital y alimentación a reloj. Todos estos subsistemas son alimentados con la misma tensión entregada por el TL. Sin embargo, dentro del módulo se tienen capacitores para filtrar la alimentación de cada subsistema

El filtrado para la alimentación de amplificadores requiere de especial atención. Los amplificadores serán los encargados de realizar transmisiones y amplificarán las señales recibidas. La estabilidad de un amplificador depende drásticamente de la estabilidad de la fuente de alimentación del mismo. Es por ello que se utilizan diversos capacitores en paralelo para poder tener el mínimo de variaciones en esta tensión.

Comunicaciones:

- UART

El módulo WB cuenta con 2 canales para comunicación UART. El primer canal es utilizado para la comunicación directa con el control del SCA. Esta permite la transmisión de comandos desde el microcontrolador del SCA hacia el circuito integrado Espressif.

El segundo canal se utiliza para realizar pruebas con el módulo. Se utiliza un sistema de pruebas desarrollado por la empresa. Se mandan comandos para poner al módulo en modo de transmisión. Se prueba que la potencia de transmisión sea la adecuada. Además, se configura al módulo para transmitir por distintos canales y diferentes velocidades de transmisión. Todo esto valida el funcionamiento del módulo en el proceso de manufactura.

Se cuenta con una tercera comunicación serial, esta utiliza también dos líneas para transmisión y recepción. Sin embargo, el protocolo que implementa esta comunicación es desarrollado por la empresa. Sirve para establecer opciones de inicio y es el canal por el cual se generan las actualizaciones de firmware.

- JTAG

El puerto JTAG es utilizado para programar el módulo WB. A diferencia del firmware de prueba, el firmware cargado a través de JTAG permite la funcionalidad normal del módulo. Recordemos que el módulo está destinado a trabajar en conjunto con la lógica de un SCA. La programación del módulo a través de JTAG se da cuando éste se encuentra dentro del tablero del SCA.

Posteriormente, el módulo como parte de un SCA se somete a una prueba funcional, en la cual se comprueba la posibilidad de establecer una dirección MAC. Con esto se valida que el hardware y firmware funcionan de forma adecuada.

- I2C

La comunicación I2C se utiliza para la comunicación con un dispositivo periférico. Este dispositivo se utiliza para limitar o permitir accesos y se encuentra integrado en el TL. A pesar de que este dispositivo sea externo al módulo, se debe contar con el hardware adecuado para la comunicación I2C, por lo que se disponen de dos resistencias pull-up en las líneas SCA y SCL dentro del módulo WB.

- Memoria Flash

Se trata de una memoria de 32 Mbits con capacidad de comunicación QSPI. Las líneas de datos de esta comunicación contienen señales diferenciales, lo que quiere decir que la señal que viaja por una línea no está referenciadas a tierra, sino a otra de las líneas de comunicación. El trabajar con señales diferenciales se reduce el ruido común en ambas señales.

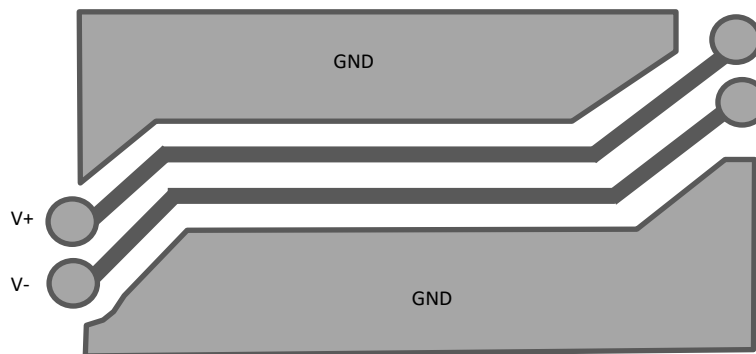


Figura 12. Ruteo de pares diferenciales

En la figura doce se muestra un ruteo de pares diferenciales. Consta de dos trazos paralelos rodeados de planos de tierra. Estos planos impedirán que el par diferencial tenga interacción con cualquier otra señal en

el tablero. Para diseños con más de una capa, es necesario considerar planos de tierra por debajo y encima de estos trazos, buscando el mismo efecto. Además, es importante considerar que la longitud total de cada trazo debe ser igual. Esto se busca como buena práctica de ruteo, sin embargo, existen softwares de simulación para las condiciones exactas de cada par diferencial

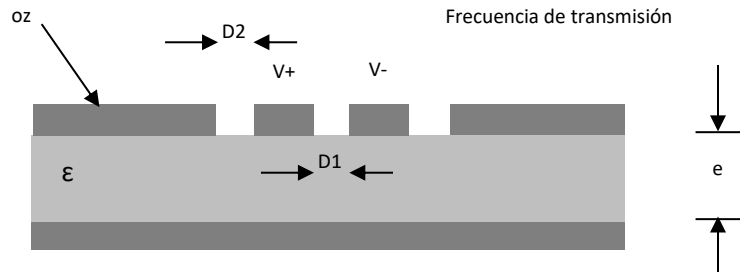


Figura 13. Vista transversal un circuito impreso de dos caras que contiene el ruteo de un par diferencial

En estas simulaciones se consideran:

- ❖ Espesor de dieléctrico
- ❖ Permitividad del dieléctrico
- ❖ Espesor del cobre, generalmente especificado en onzas
- ❖ Distancia entre pares diferenciales
- ❖ Distancia con planos de tierra
- ❖ Frecuencia de transmisión
- ❖ Geometría de los trazos

Estos pares diferenciales deben estudiarse como líneas de transmisión que deben estar correctamente acopladas. Por ello es importante modificar la geometría de los pares diferenciales para obtener la impedancia característica deseada.

- Antena de transmisión y recepción

Esta antena fue diseñada por la empresa. Para ello se utilizaron softwares de simulación, cámaras anecóicas para pruebas de emisiones, se tiene un patrón de radiación, se tiene una caracterización de la antena para diferentes medios, se cuenta con la respuesta al ser excitada a frecuencias cercanas a 2.4 GHz, se construyó de tal forma que la impedancia característica es 50 Ohms.

Estuve involucrado en las pruebas de radiación del módulo actual. Tuve la tarea de verificar que las emisiones del módulo no sobrepasen los límites establecidos según las normas aplicables. Para ello, puse al módulo a emitir una señal y medí la potencia de dicha señal con la ayuda de otra antena. Realice estas pruebas haciendo rotar el módulo 360 grados y para distintas alturas. Con ello, pudimos obtener resultados previos a las pruebas de certificación FCC.

- Acoplamiento

Para la realización del acoplamiento se cuenta con una red pi. El acoplamiento de impedancias se realiza con la ayuda de un analizador de redes.

- ❖ Se posiciona la antena (el módulo y la antena) en la posición que está destinada. (Dentro del TL)
- ❖ Todas las tierras que estén alrededor del inicio de la antena son importantes
- ❖ Se caracteriza una punta de prueba para saber que tiene una impedancia de 50 ohms. A la mitad de la carta Smith.
- ❖ Se suelda la tierra de la punta de prueba a la tierra más cercana al inicio de la antena
- ❖ Se suelda la punta de prueba al inicio de la antena.
- ❖ Se observa el comportamiento de la antena en el analizador de redes.
- ❖ Se utiliza la carta Smith para llevar el comportamiento de la antena hacia 50 ohms

6.3 Puntos de prueba

En un proceso de manufactura, el tiempo que tarda un proceso es muy importante para la coordinación de todas las etapas. Es por ello que el proceso de prueba y programación del producto debe realizarse de una forma rápida y de forma automática o semiautomática. Para ello, se utilizan un mecanismo que incluye puntas de prueba. Se posiciona un tablero electrónico sobre una cama de puntas de prueba (CPP), se energiza el tablero para activar los sistemas y probar si el hardware realiza las acciones correctas. Además, este sistema sirve para la programación de tableros a través de puertos de comunicación, como lo son UART y JTAG.

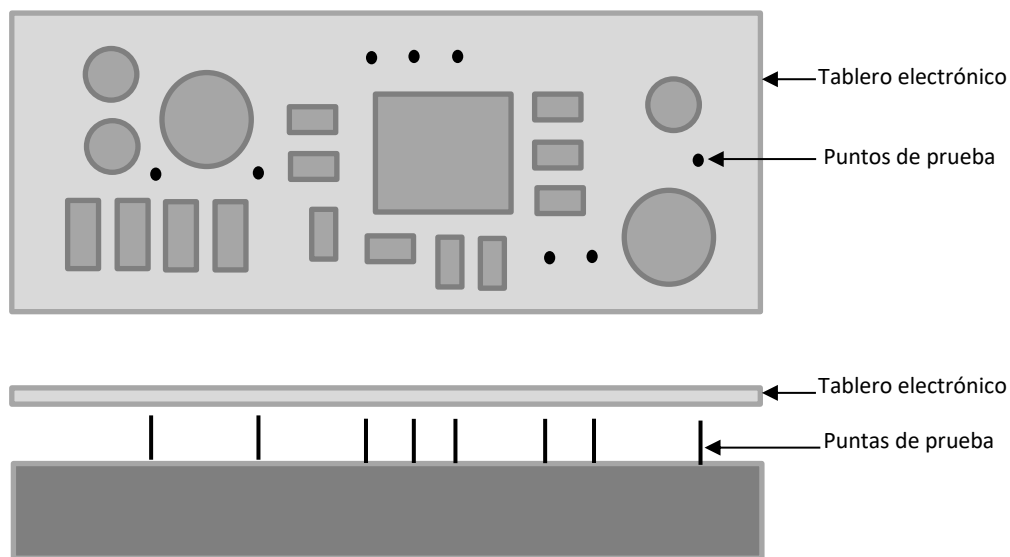


Figura 14. Cama de puntas de prueba (CPP) como método para prueba y programación de tableros electrónicos.

La cama de puntas de prueba debe seguir una posición en específico y cada punta debe hacer contacto directo con puntos en el tablero electrónico. A dichos puntos se les conoce como puntos de prueba y se selecciona su posición desde la etapa de diseño. Los puntos de prueba deben tener un diámetro mínimo para asegurar un buen contacto con las puntas de prueba.

Referente al módulo WB, los puntos de prueba requerían de un espacio relativamente grande comparado con las dimensiones del PCB. Además, los trazos que comunicaban a estos puntos de prueba eran muy largos e interferían con gran parte del ruteo, ocasionando acoplamiento de las señales. Por ello, se optó por utilizar puntos de prueba disponibles en el tablero lógico del SCA. Dichos puntos de prueba se encuentran en las cercanías del módulo, y es hardware actualmente existente en el TL, por lo que no se modifica nada del PCB actual.

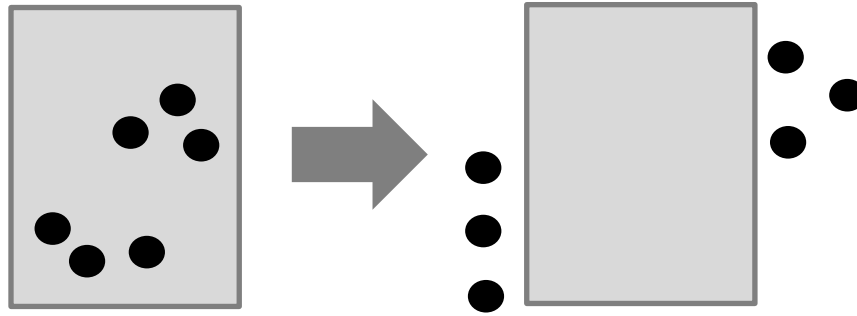


Figura 15. Puntos de prueba en el módulo WB transportados al tablero lógico (TL).

6.4 Programación JTAG

La programación funcional del tablero se realiza por medio de comunicación JTAG y se utiliza una cama de puntas de prueba (CPP) similar a la anterior para programar de forma rápida.

De acuerdo con lo mencionado, no es factible colocar puntos de prueba dentro del módulo WB, por ello fue necesario utilizar todo el hardware disponible en el tablero lógico (TL). Se cuenta con un puerto de seis posiciones en el TL que se comunica directamente con el módulo WB. Se utiliza dicho puerto como puntos de prueba para la comunicación JTAG. Esto implica que la programación deberá ser efectuada con el módulo integrado en el TL, a este tipo de programación se le conoce como ICSP (Programación serial dentro de un circuito, por sus siglas en inglés)

6.5 PCB

Los requerimientos del módulo de WiFi son los siguientes:

1. La construcción del tablero sea más barata que el actual.
2. El tablero cumpla con las mismas funciones que el actual.
3. El tablero cuente con las mismas dimensiones que el actual.
4. El tablero sea compatible pin a pin con el módulo actual.
5. El módulo pueda ser manufacturado en la planta de la empresa
6. El módulo pueda ser programado por puntos de prueba, vía JTAG
7. El módulo pueda ser probado por puntos de prueba, vía UART

En la planta pueden ensamblarse tableros de montaje superficial y componentes con terminales a través de orificios. La empresa adquiere PCB sin popular y los componentes necesarios para la construcción del tablero. Además, dispone de las herramientas de programación y ensamblaje de los tableros. La empresa diseña los PCB que compra. Lo que le da gran control acerca de su producto.

Referente a los PCB del módulo WB, las dimensiones del tablero son pequeñas, alrededor de dos por tres centímetros. Los proveedores de PCB, cuentan con medidas estándar de los pliegues de substrato en los que son fabricados los tableros. Es más conveniente para el proveedor, y por lo tanto sus precios disminuyen, si las dimensiones del tablero pedido se ajustan a su tamaño estándar. Esto hace que la compra de tableros individualmente sea muy cara. Para ello, se organizan arreglos varios módulos buscando acercarse a las dimensiones estándar.

Por otra parte, cortar los arreglos para obtener tableros individuales genera un proceso extra a la manufactura de la empresa. Es un asunto de optimización de recursos y atarse a las capacidades de manufactura.

La definición de dimensiones de paneles tiene otro punto muy importante por tratar. El corte de los arreglos puede realizarse utilizando desde una guillotina, hasta una cortadora láser. De cualquier forma, debe cuidarse que no se invada de ninguna forma el área designada al tablero.

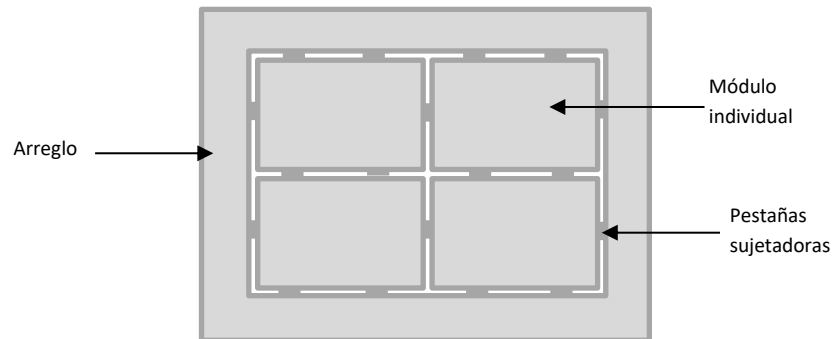


Figura 16. Arreglo de tableros electrónicos en un panel.

En el proceso de corte por láser quema las pestañas sujetadoras para poder liberar los módulos individuales. Es importante considerar la precisión del corte y dejar un espacio libre como tolerancia para no afectar ningún ruteo interno del tablero. Durante mi proceso de análisis, surgió un problema con la funcionalidad de un prototipo del módulo difícil de detectar. La cortadora láser quemaba el borde del tablero, generando una baja impedancia (no nula) entre la alimentación y tierra.

Altium designer es un software para el diseño de tableros de circuito impreso (PCB). Este software permite la organización de diseños por proyectos. Un proyecto cuenta con una o más hojas de esquemático, uno o más documentos que contienen la información del PCB, archivos para generación automática de documentos de salida y un archivo que cuenta las especificaciones del arreglo para proveedor como son:

1. Archivos Gerber.
2. Posición de perforaciones.
3. Especificación de vías.
4. Especificación de normas y estándares con los que debe cumplir.
5. Especificación de límites de tensión.
6. Especificaciones de envío.
7. El material del substrato (FR4, CEM, IT-180).
8. El número de capas y el grosor del cobre en cada una.
9. Especificaciones de las posiciones de los componentes.
10. Identificación adecuada de componentes y tablero.

El grupo de ingeniería cuenta con librerías y reglas propias para el desarrollo de tableros. Estas reglas se establecen considerando las capacidades de manufactura y prueba en el software y no deben ser cambiadas al diseñar.

El PCB diseñado cuenta con cuatro capas, todos los componentes empleados son de montaje superficial.

En la comunicación QSPI, se manejan frecuencias de transmisión mayores a los 10 MHz. Esta comunicación requiere de ruteo con pares diferenciales. Los pares diferenciales tienen una impedancia específica, para calcular esa impedancia hice uso de la herramienta Saturno. En esta herramienta se utilizan los parámetros de construcción del tablero y las dimensiones de los trazos para el cálculo de la impedancia

6.6 Ahorros

Las consideraciones tomadas para la reducción de costos son incluyeron:

- Utilización de un chip Espressif de bajo costo con funcionalidades Wi-Fi y Bluetooth.
- Implementación del módulo en un tablero de cuatro capas. El modulo actual consta de seis.
- Utilización de únicamente dos pares de vías para la conexión de capas.
- Reducción de numero componentes
- Reducción de espacio de almacenamiento de memoria flash
- Reducción del costo en el oscilador debido al empaquetado
- Eliminación de sistemas internos en el módulo no requeridos con el nuevo hardware

En el sector industrial, la producción masiva de unidades hace que un ahorro en centavos por unidad se vea reflejado como miles o millones de dólares en ahorros. Es por eso la importancia de la selección de componentes adecuados. Es importante conocer las tolerancias máximas que pueden ser permitidas en los componentes, la máxima corriente, voltaje y potencia que pueden soportar, así como los recursos en memoria necesarios.

6.7 Revisión de proyecto

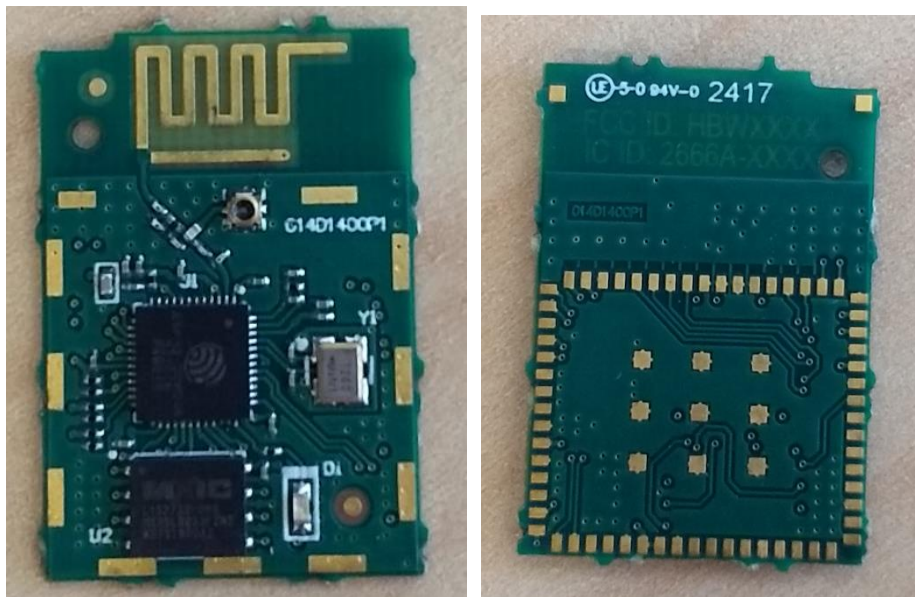
La empresa cuenta con sistema para la gestión de diseño de proyectos. Esto implica un proceso interno que tiene que hacerse para poder validar un tablero.

- Se hace uso de la plataforma Windchill para el almacenamiento de un proyecto en la nube. De esta forma, todo el equipo de diseño puede tener acceso a los archivos fuente.
- En Windchill, se hace un control de las versiones de un proyecto. Cada nueva actualización se identifica de forma adecuada y se almacena la historia del proyecto.
- Se genera un archivo de Altium que indica que el proyecto cumple con todas las reglas definidas.
- Tiene que llenarse una lista de revisión en la que se indican los aspectos que el diseñador tiene que considerar para la liberación de su tablero electrónico.
- Se tiene que someter el diseño a una evaluación por parte del equipo de manufactura y pruebas de acuerdo con los documentos DPM y DPP.
- Se revisa el proyecto por un equipo de diseño cuantas veces sea necesario para aprobar que se construyan prototipos. En cada revisión se tienen que cumplir todos los pasos anteriores.
- Se realiza una corrida controlada en las líneas de producción de la empresa para validar los procesos de manufactura y pruebas.

- Al tener tableros en mano, se pueden continuar con el desarrollo. Cada grupo puede obtener muestras para mejorar el proceso de producción. Y por parte de diseño, se pueden generar cambios en el tablero para mejorar el desempeño o buscar ahorros.
- Se realizan las corridas controladas necesarias y, por último, se realiza una corrida igual al proceso final de producción. Cada uno de estos pasos requiere de la aprobación del comité de diseño y, por lo tanto, debe cumplir con todos los requerimientos antes mencionados.

6.8 Prototipo final

Se utilizaron los archivos de salida de Altium para poder fabricar el tablero. Se requirió los servicios de ensamblaje de un tercero para poder conseguir el siguiente módulo:



6.9 Prueba funcional

Para poder validar el funcionamiento del hardware se utilizaron dos programas desarrollados por mi compañero de proyecto: Eduardo Campos. Uno de los programas enciende el módulo y comienza una transmisión de datos vía Wi-Fi. La señal es transmitida por el módulo y puede ser observada por un celular o una computadora. La señal despliega una página web que incluye texto. El segundo programa genera una transmisión Bluetooth.

Con esto se puede validar que el hardware requerido funciona de forma adecuada. Además, el proceso de programación se realizó por el puerto UART, tal como el proceso de la planta lo requiere.

Se requiere de un proceso de implementación de proyecto para poder evaluar todas las funciones del módulo en la línea de producción del de la empresa

7. Resultados y aportaciones

Resultados:

- Analicé el sistema módulo WB inmerso en un SCA.
- Entendí los procesos de manufactura y pruebas específicos de la empresa
- Diseñé el hardware de una nueva versión del módulo WB basado en el hardware de Espressif.
- Se construyó el módulo WB diseñado.
- El equipo utilizó un programa de prueba para asegurar que el hardware realiza las funciones requeridas
- El diseño es compatible con el proceso de manufactura y pruebas de la empresa

Aportaciones:

- En el análisis del módulo WB, hice uso de mis conocimientos previos en filtros pasivos, acoplamiento de impedancias, diseño digital y telecomunicaciones para sentar bases del funcionamiento. Además, fueron necesarias varias horas de estudio acerca de los temas mencionados para profundizar en las aplicaciones específicas del módulo WB.
- El módulo actual de Wi-Fi de la empresa fue implementado de forma paralela al inicio de mi análisis del sistema. Mi equipo de trabajo se vio ampliamente involucrado en esta implementación. Durante este proceso surgieron problemas relacionados con el módulo en cuestión de manufactura y funcionalidad. Jugué un papel importante en el diagnóstico y resolución de los problemas encontrados.
- Cualquier producto que genere transmisiones EM debe cumplir con normas específicas de cada país. La señal de Wi-Fi (2.4GHz) debe restringirse a un ancho de banda específico dependiendo del canal en el que se transmita. Para poder cumplir con esto, trabajé en pruebas de emisiones radiadas por el módulo. Estas pruebas fueron de carácter interno, y sirvieron de parteaguas para después verificar las mismas pruebas en un laboratorio externo.
- Tuve la tarea de entender los procesos internos de diseño, construcción y pruebas de un tablero. Fue necesario adquirir conocimientos de Altium designer y de los sistemas de gestión de información internos. Además, fue necesario pasar por un proceso de aprobación para poder liberar el diseño. Mi participación en la realización de este proyecto fue necesaria para completar su objetivo, ya que fui el responsable de terminar el diseño del tablero para poder ser construido.

8. Conclusiones

Un diseño que será destinado a la producción en masa debe requerir especial atención en lo siguiente:

- La calidad del producto: Lo cual implica que el producto efectivamente haga lo que dice hacer. Esto genera una satisfacción del cliente y, por ende, más ventas. La calidad puede cuidarse de diferentes puntos: un diseño robusto, un proceso de manufactura confiable, personal entrenado, entre otros.
- Capacidad de manufactura: Un diseño debe estar sujeto a los recursos y procesos disponibles en una planta de manufactura. Es por ello que debe existir una cercana colaboración de ingeniería de diseño con la de ingeniería de procesos. Además, deben generarse procesos para la validación de un diseño, como lo son los análisis DPM y DPP.

- Costo: La producción en masa implica volúmenes de miles o millones de unidades por año. Al modificar el costo de un producto en centavos generara un ahorro considerable por año. Es por ello que es muy importante para una empresa generar proyecto de productividad que reduzcan costos sin alterar la calidad del producto.

Un diseño de hardware es un proceso que implica la colaboración de varias áreas funcionales dentro de una empresa. En primera instancia, debe existir un líder de proyecto que controla el flujo del proyecto, se establecen un calendario de entregas y es encargado de la presentación de resultados. Por otra parte, deben destinarse los recursos de ingeniería necesarios para el análisis y diseño del sistema. Este equipo tiene la responsabilidad de generar prototipos. Además, trabaja mano a mano con sourcing para definir los componentes que utilizara el sistema. En este proceso se debe tener siempre en mente el costo del producto. Posteriormente, los prototipos deben ser corridos por el proceso de manufactura y pruebas. Ambos equipos tienen la tarea de observar fallas y dar opciones de mejora. Inclusive, tienen la facultad de rechazar diseños que no se adapten a los procesos establecidos o que se planeen tener. Otro de los puntos de gran relevancia, es la aprobación del equipo de diseño. Esto implica la presentación de prototipos, mediciones, pruebas, estadísticas, etc. Todo con el fin de demostrar que el proyecto funciona y se conocen los sistemas internos.

Es importante tener en cuenta que las decisiones de lanzamientos de proyectos vienen desde niveles directivos. Es por ello que debe realizarse una presentación adecuada del sistema a nivel conceptual. Esto implica la presentación de un sistema integrado a las áreas funcionales fuera de la ingeniería.

9. Bibliografía

- <https://www.espressif.com/>
- <https://www.keysight.com/us/en/home.html>
- http://profesores.fi-b.unam.mx/jlfl/Seminario_IEE/Metodologia_de_la_Inv.pdf
- <http://www.ti.com/lit/an/spraar7g/spraar7g.pdf>
- <https://www.marvell.com/microcontrollers/88mw30x/>

10. Glosario

- SCA – Sistema controlador de accesos
- Módulo WB – Módulo Wi-Fi / Bluetooth
- NCI – Notificación de Cambio de Ingeniería
- DPM – Diseño para manufactura
Análisis realizado por ingeniería de manufactura para la validación de un diseño. Al aceptarse el diseño se está diciendo que puede ser manufacturado en la planta.
- DPP – Diseño para pruebas
Análisis realizado por ingeniería de pruebas para la validación de un diseño. Al aceptarse el diseño se está diciendo que pueden probarse las funcionalidades de un producto en serie con el proceso de manufactura.
- LM – Listado de materiales
- TL – Tablero lógico
- EM – Electromagneticas

11. Notas finales del autor

Existen muchos procesos que deben ser seguidos antes de soltar el diseño de un producto. Se tiene que pensar en las capacidades de manufactura, en los tiempos de ensamble, en los posibles fallos que pueda tener al ser operado o al ser producido, en el costo de las partes que lo conforman, en las dificultades de obtener partes, en la consolidación de proveedores, en la competencia, en los requerimientos legales, en las cuestiones de seguridad, en las dificultades que puedan tener los ensambladores, en la protección contra descargas electrostáticas, en las pruebas que deben realizarse, en la aceptación de los directivos, y sobre todo, la aceptación del producto con los clientes. Cada uno de estos puntos está controlado por algún documento o proceso. Todo documentado en una base de datos y expuesto. Éstas son prácticas de diseño difícil de aprender fuera del ambiente laboral.

Debo reconocer la gran diferencia de formular diseños enfocados a usuarios en masa contra un diseño único. La interacción con las personas es necesaria para llevar a cabo el proyecto. Se debe pensar desde la cabeza de cada área funcional y del usuario para poder tener un producto 100% aceptado.

Tengo una muy buena experiencia al trabajar con esta empresa y he encontrado amplios conocimientos en el diseño y soporte de productos.