



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño e implementación de tablero
de comunicación para codificador
de posición absoluta**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniera Eléctrica Electrónica

P R E S E N T A

Yasinthe Oseguera Mendivil

ASESOR DE INFORME

M.I. Daniel Martínez Gutiérrez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo.....	2
3. Descripción de la empresa	2
3.1 La empresa.....	2
3.2 Descripción del puesto de trabajo.....	2
4. Marco Teórico.....	3
4.1 Absolute Position Encoder	3
4.2 Estándar RS-485	4
4.3 Protocolo Controller Area Network	5
4.3.1 Generalidades del protocolo CAN.....	5
4.3.2 El mensaje transmitido.....	6
4.3.3 Terminación de un bus CAN.....	7
4.4 UART.....	8
4.5 I ² C	9
5. Antecedentes del proyecto	9
5.1 Funcionamiento de un automatismo de apertura.....	9
5.2 La importancia de la posición de la puerta	10
6. Definición del problema o contexto de la participación profesional.....	10
7. Metodología utilizada.....	12
7.1 Etapa inicial del proyecto: definición e investigación	12
7.2 Diseño.....	13
7.3 Construcción.....	14
7.4 Validación	14
7.5 Documentación en cada etapa.....	15
7.6 Presentación.....	15
8. Participación profesional.....	16
8.1 Participación en el diseño	16
8.2 Participación en la construcción	18
9. Resultados y aportaciones.....	21
10. Conclusiones	22
11. Bibliografía.....	22
12. Glosario	23

1. Introducción

Nuestra vida actual está llena de comodidades que hemos construido, poco a poco, en el transcurso del tiempo. Con frecuencia reflexionamos sobre las implicaciones que esto tiene en nuestra vida y nos sentimos orgullosos de lo que hemos desarrollado y de la calidad de vida que podemos llevar gracias a ello; pero también deseamos utilizar en nuestras actividades cotidianas productos que sean seguros y confiables

Por esta razón, los detalles no deben descuidarse en el diseño y desarrollo de un producto. La impresión que el producto causa en el consumidor es valiosa para que la experiencia con su uso sea positiva y haga sentir al usuario tranquilo y cómodo al incluir nuevos productos en su estilo de vida.

Es importante cuando un ingeniero sabe, con fundamentos técnicos y pruebas de laboratorio, que un equipo es seguro y fiable, sin embargo, cuando se trata del ámbito comercial, esto no es suficiente, también debe perseguirse el objetivo de que el cliente, al ver la operación y funcionamiento del equipo, considere que tiene ante sus ojos algo elaborado con mucha calidad.

Parte de esa impresión de calidad puede lograrse en la manufactura del producto utilizando procesos y materiales adecuados; pero los puntos más cruciales se abordan en el diseño, con la utilización de herramientas que la ingeniería proporciona. Un ejemplo de ello es el proyecto que se presenta en este documento. Adicionalmente a los aspectos de ingeniería, el principal impacto del cambio realizado fue lograr que un automatismo para abrir puertas pueda recuperar o identificar la posición de la puerta en todo momento, sin necesidad de accionar el motor, e incluso después de haber ocurrido una interrupción temporal en el suministro de energía eléctrica. Este cambio, aunque puede parecer muy pequeño, causa un impacto positivo en el cliente al observar la operación del automatismo en su propio garaje.

Con ésta y otras mejoras en el automatismo, se logra ofrecer un producto que obtenga el reconocimiento del cliente y nos permita sentirnos satisfechos del trabajo hecho.

2. Objetivo

Diseñar, construir y validar un tablero electrónico que permita a un codificador de posición angular absoluta integrarse a un bus CAN.

Además, incluir la compatibilidad con otros protocolos de comunicación, utilizados en otro proyecto de la empresa y con una interfaz gráfica.

3. Descripción de la empresa

3.1 La empresa.

La empresa es líder mundial en soluciones de acceso. Se dedica al diseño y fabricación de automatismos de apertura de puertas para uso residencial, comercial y perimetral.

Los valores con los que la empresa se identifica y algunas de las principales metas que persigue son:

- Un mejoramiento continuo en la calidad de todos los productos para brindar el mejor de los servicios.
- Compromiso en mantener espacios de trabajo seguros y proteger el medio ambiente, así como contribución a la mejora social y comunitaria en las ciudades donde tiene presencia.
- Buscar crecimiento y rentabilidad a largo plazo para la compañía.
- Ser líderes de mercado, siempre con soluciones innovadoras.
- Siempre satisfacer las necesidades de los clientes.
- Manejarse con ética, honestidad y honradez en todo momento.
- Crear un ambiente propicio para que todos los empleados se sientan motivados, sus habilidades y fortalezas sean aprovechadas y valoradas, y puedan tener un crecimiento personal y profesional junto con la empresa.

3.2 Descripción del puesto de trabajo.

Las actividades desarrolladas durante el periodo de trabajo fueron:

- Desarrollo de proyecto (tablero de comunicación para el codificador de posición absoluta).
- Identificación y resolución de problemas en tableros electrónicos.
- Validación de componentes para su uso en producción.

4. Marco Teórico

4.1 Absolute Position Encoder

Un codificador de posición absoluta (*Absolute Position Encoder*, *APE* por sus siglas en inglés) es un dispositivo diseñado para conocer la posición angular del rotor de un motor, ya sea a lo largo de una sola vuelta o en varias de éstas.

Este dispositivo se acopla a la flecha externa del motor cuya posición es de interés y, mediante un arreglo mecánico-electrónico interno, el APE es capaz de diferenciar cada posición (grados de giro) con cierta sensibilidad.

En la figura 1 se muestra un ejemplo de acoplamiento mecánico para un APE y una vista ampliada de como luciría el disco que, junto con un lector óptico-electrónico, permite generar un código único para cada posición.

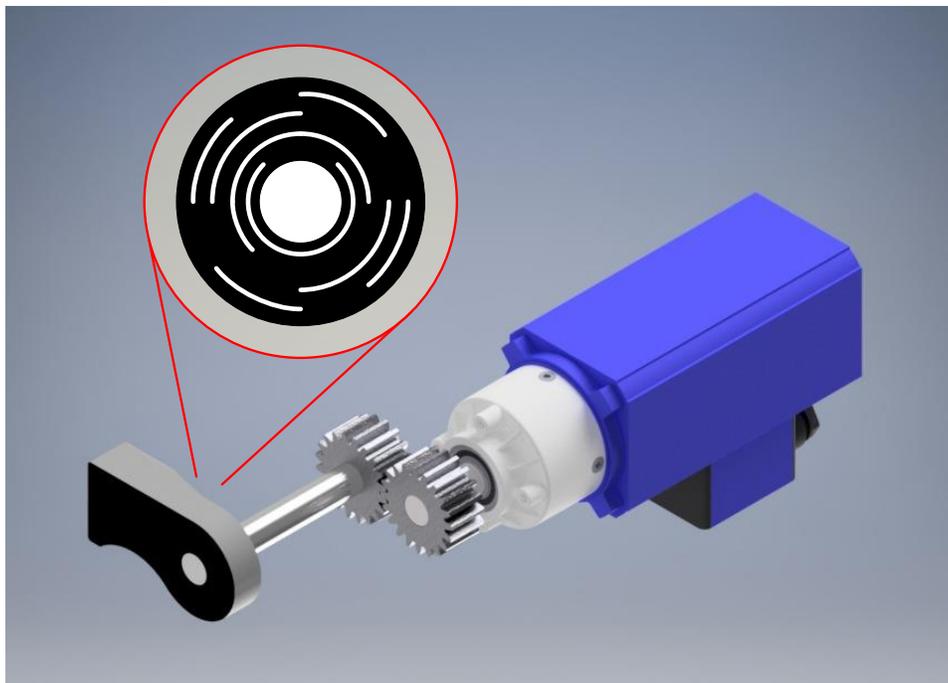


Fig. 1 Ejemplo de acoplamiento mecánico para un APE

Cada grado de desplazamiento angular en el motor, representa un desplazamiento lineal en la puerta acoplada a éste; por tanto, a partir de la posición angular de la flecha del motor se puede determinar la posición de la puerta en operación dentro de un recorrido lineal.

Los datos que se obtienen del codificador están en una señal eléctrica que puede ser analógica o digital. Para el caso del codificador utilizado en este proyecto, se usó un protocolo de comunicación para transmitir los datos de posición en forma digital siempre que le sean solicitados por otro dispositivo.

4.2 Estándar RS-485

RS-485 es un estándar de comunicación entre dispositivos electrónicos que fue aprobado por la EIA (Electronics Industries Association) en 1983. Actualmente se emplea en aplicaciones industriales, médicas y comerciales, considerándose una buena opción cuando la red utilizada cubre largas distancias y opera en ambientes ruidosos. Puede utilizarse para distancias de hasta 1.2 kilómetros cuando la tasa de transmisión sea de hasta 100 kbps, ó, con tasas de transmisión de hasta 10 Mbps cuando la distancia no sea mayor a 12 metros.

El estándar por sí mismo solo define las características eléctricas de la comunicación y no especifica características mecánicas o de cableado, por lo que se puede utilizar como una especificación de otros estándares. Es posible implementarlo tanto para transmisión full-duplex como half-duplex (full-duplex permite que un mismo nodo del bus pueda transmitir datos por un par de cables al mismo tiempo que recibe por otro par, mientras que half-duplex utiliza un solo par de cables).

En el estándar RS-485 debe haber en los transmisores un voltaje diferencial mínimo de 1.5 V entre el par de cables utilizado, mientras que los receptores pueden detectar un voltaje diferencial tan pequeño como 200 mV sin problema alguno. Esta característica hace que la comunicación sea confiable, incluso cuando la señal sea degradada a través de los cables y conectores.

Dado que los receptores hechos para RS-485 tienen entrada diferencial, se recomienda utilizar un par trenzado de cable para el bus, de tal manera que el ruido presente en el medio se acople en ambas líneas por igual como ruido de modo común, lo que provocaría su rechazo o anulación en la entrada diferencial del receptor.

En este estándar suele utilizarse además un bus balanceado, es decir, los extremos del par de cables son terminados con una impedancia equivalente a la impedancia característica de la línea, cerrando el lazo entre los cables, lo que provoca que la

corriente en ambos sea igual pero de sentido contrario y, en consecuencia se reduce la interferencia por ruido.¹

4.3 Protocolo Controller Area Network

4.3.1 Generalidades del protocolo CAN

CAN (*Controller Area Network*) es un protocolo de comunicación desarrollado por la compañía BOSCH cuyo uso se ha extendido por su gran resiliencia ante interferencias y su capacidad de detección y corrección de errores, con solo el uso de un par de cables. Aunque sus inicios están en la industria automotriz, hoy día es utilizado en la industria médica, de consumo y muchas otras.

A diferencia de lo que sucede con el estándar RS-485, CAN define y describe todos los detalles necesarios para llevar a cabo una comunicación, detallando las características que debe tener físicamente el bus, las características que debe tener el proceso de intercambio de mensajes en sí mismo, las características eléctricas, etc., estando cada parte reglamentada a través de la ISO (*International Organization for Standardization*).

El bus CAN siempre utiliza lógica negada, es decir, el estado dominante del bus será interpretado como un cero lógico, mientras que el estado recesivo deberá considerarse un uno lógico.

Eléctricamente, el estado recesivo del bus corresponderá a ambas líneas a una diferencia de potencial de 2.5 V, mientras que el estado dominante tendrá una línea a 3.5 V y la otra a 1.5 V (un voltaje diferencial de 2 V entre el par de cables), de esta manera, siempre habrá una diferencia de potencial en el bus, aun cuando no se esté transmitiendo.

Las características mencionadas del bus permiten que sea muy fácil detectar una interrupción física en el cableado, problemas con la energización del sistema o circuitos cortos en cualquier momento.

El uso de lógica negada se aprovecha también para el manejo de prioridades, ya que en cada mensaje de CAN, se destina una sección al inicio del mensaje para la jerarquía de transmisión. Si dos nodos intentan transmitir al mismo tiempo, un nodo que mantenga al bus en un estado dominante ganará el control del bus sobre otro nodo que intenta dejar el bus en estado recesivo y continuará enviando sus datos sin que lo transmitido hasta ese momento sea desperdiciado.

¹ Características técnicas de RS-485 obtenidas de: Texas Instruments. The RS-485 Design Guide [Online]. Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/an/slla272c/slla272c.pdf>

4.3.2 El mensaje transmitido

El objetivo de la comunicación CAN es la transmisión de mensajes cortos y existen dos variantes de este protocolo: CAN Estándar y CAN Extendido. La principal diferencia entre ellos radica en que CAN extendido tiene un mayor número de bits destinados al identificador en el mensaje, permitiendo así el manejo de una mayor cantidad de jerarquías en el bus y, por tanto, mayor cantidad de información distinta.

En este protocolo se manejan cuatro tipos diferentes de mensaje:

- Trama de datos. Es el mensaje típico para intercambio de datos entre nodos.
- Trama remota. Este tipo de mensaje permite a un nodo del bus solicitar información a otro.
- Trama de error. Una trama especial que incumple las reglas de formato de un mensaje CAN, la cual es transmitida por un nodo cuando éste detecta error en un mensaje.
- Trama de sobrecarga. Se utiliza para generar un mayor espaciamiento entre una y otra transmisión en el bus cuando un nodo está sobrecargado con el procesamiento.

Un ejemplo del formato de una trama de datos CAN se muestra en la figura 2.

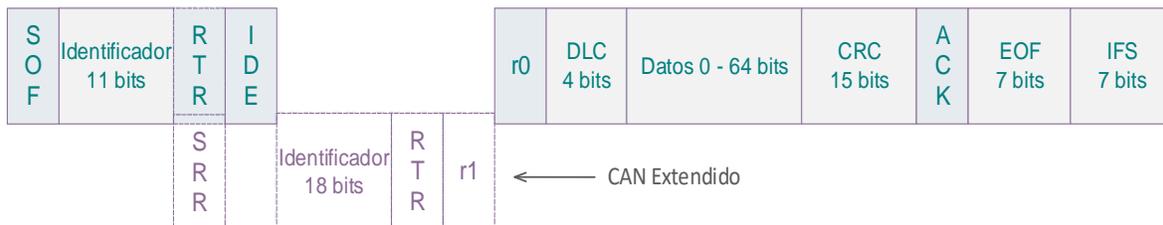


Fig. 2 Formato de trama de CAN Estándar y CAN Extendido

La trama inicia con un bit dominante denominado *SOF* (*Start Of Frame*) para anunciar el inicio de una transmisión, seguido de 11 bits que componen el identificador del mensaje y establecen la prioridad de éste (para CAN Estándar serán los únicos bits de identificación); entre más bajo sea el valor binario del identificador, mayor es la prioridad obtenida. Como se explicó en la subsección anterior, una mayor cantidad de bits en estado dominante (cero lógico) al inicio del identificador, permitirán a un nodo ganar el control del bus.

El bit *RTR* (*Remote Transmission Request*) es dominante solo cuando se desea solicitar información a otro nodo (y en este caso, los bits del identificador servirían

para establecer cuál es el nodo al que se solicita información), en CAN Extendido este bit se ubica justo después de la transmisión de los bits extra del identificador. *SRR (Substitute Remote Request)* es utilizado en CAN Extendido solo para respetar el espacio que el bit *RTR* ocupa en CAN Estándar.

IDE (Identifier Extension) es un bit dominante en CAN Estándar para indicar que no habrá más bits para el identificador de mensaje, en CAN Extendido es un bit recesivo que precede a los 18 bits extra del identificador.

Los bits *r1* y *r0* son bits reservados para posible uso futuro en el protocolo, CAN Estándar solo utiliza uno de ellos.

DLC (Data Length Code) se compone de 4 bits que corresponden al número de bytes siendo transmitidos en los datos del mensaje, seguido a esto vienen los datos, que pueden tener una longitud de hasta 64 bits.

CRC (Cyclic Redundancy Check) contiene en 15 bits el número de bits que han sido transmitidos y, adicionalmente, contiene un bit delimitador.

ACK (Acknowledge) es un bit (más otro bit como delimitador) que se transmite recesivo para dar lugar a que cada nodo sobrescriba un estado dominante en caso de haber recibido correctamente la trama, si un nodo deja el bit recesivo, el mensaje es descartado y retransmitido.

EOF (End Of Frame) consiste en 7 bits recesivos que indican el fin de la transmisión

IFS (Interframe Space) es un espacio de 7 bits para que los nodos del bus tengan el tiempo suficiente para mover los datos recibidos al almacenamiento o procesamiento que les corresponda.

Cuando un nodo detecta error en un mensaje captado, envía al bus una trama de error, provocando que todos los demás nodos en el bus transmitan también tramas de error; después de esto, el nodo que había transmitido un mensaje lo envía de nuevo. Cada nodo tiene en su propio procesador un conteo de los mensajes de error que éste ha enviado; si alcanza el límite de ese conteo, detendrá toda transmisión por su parte, y se considera que dicho nodo tiene alguna falla y no debe ocupar el bus con más mensajes de error, permitiendo así que el resto del sistema continúe funcionando.

4.3.3 Terminación de un bus CAN

El bus CAN, al igual que el de RS-485, está pensado para ser balanceado (un lazo cerrado en el cual circulen corrientes iguales por cada cable del par trenzado, solo con direcciones opuestas). Lo ideal es terminar el bus con una impedancia de 120 Ω , dado que el estándar ISO 11898 especifica utilizar un par trenzado con

impedancia característica de $120\ \Omega$ para el bus y hacer concordar estas impedancias ayudará a evitar reflexiones de la señal.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de la conexión de las terminaciones en el bus. La línea denominada CAN H (“CAN High”) representa el cable que tendrá 3.5 V durante los estados dominantes, mientras que la línea denominada CAN L (“CAN Low”), tendría un voltaje de 1.5 V en estado dominante.

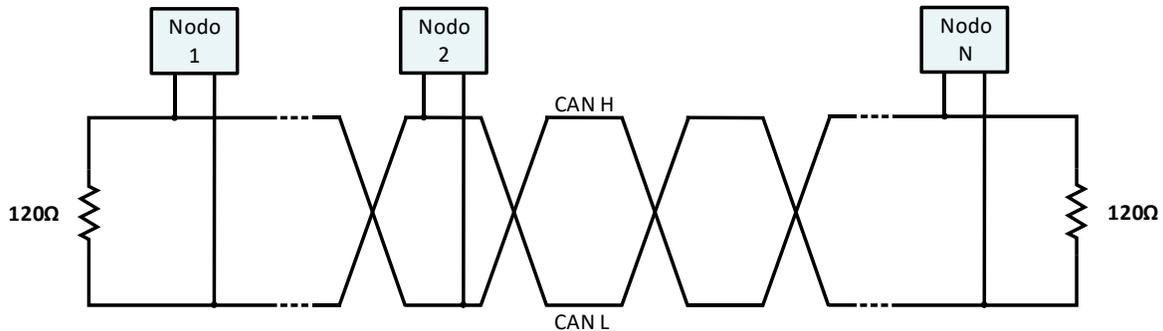


Fig. 3 Ejemplo de un bus CAN

La terminación del bus es esencial en la implementación de CAN si se emplea con distancias grandes de cableado o si se desea aprovechar la gran flexibilidad que éste ofrece. Este estándar de comunicación permite agregar nodos en el bus sin necesidad de cambios de software o hardware en el resto de los nodos, razón por la cual se debe asegurar la adecuada terminación del bus previendo su expansión.²

4.4 UART

UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) es un dispositivo de comunicación serial. Su uso es sencillo y permite la implementación de ciertos métodos de detección de errores (por ejemplo, el uso de un bit de paridad). Tiene un funcionamiento asíncrono y solo utiliza un par de cables para la transmisión y recepción de datos.

Dado que los dispositivos UART no imponen especificación alguna sobre los niveles eléctricos y tiempos de la señal o características físicas del cableado, suelen

² Características técnicas de CAN obtenidas de:

Texas Instruments. Introduction to the Controller Area Network (CAN) [Online]. Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>

Texas Instruments. Controller Area Network Physical Layer Requirements [Online]. Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf>

International Organization for Standardization, “Standard ISO 11898”, December 2012.

utilizarse con ellos algún estándar. Es común su uso con el estándar RS-485, aunque no es el caso para este proyecto ya que se emplean de forma separada.

El método ejecutado en estos dispositivos es tan simple, que puede funcionar incluso sin la implementación de algún estándar de comunicación, siempre y cuando los cables utilizados no midan más de unos cuantos metros. La conexión directa entre los pines de dos microcontroladores con UART será suficiente.

4.5 I²C

I²C (*Inter-Integrated Circuits*) es un método de comunicación serial bidireccional desarrollado por Philips en 1982. Es un método muy fácil de implementar dado que no necesita hardware adicional para el bus y existen comercialmente muchos circuitos integrados compatibles con éste. Es una excelente opción para aplicaciones de alta y baja velocidad, porque permite la comunicación entre dispositivos que manejen velocidades de transmisión diferentes y no compatibles.

El bus de I²C utiliza solamente dos cables: uno para el envío de datos y otro para el pulso de reloj, que es la señal que sincroniza los dispositivos del bus para que éstos puedan interpretar los mensajes de una misma forma.

De forma similar a lo que sucede en el protocolo CAN, cuando dos nodos tratan de transmitir al mismo tiempo a través de este bus, el nodo tratando de transmitir un estado bajo en la línea de datos ganará el control sobre el bus y continuará con su transmisión.

5. Antecedentes del proyecto

5.1 Funcionamiento de un automatismo de apertura

La función de un automatismo de apertura va más allá de realizar el proceso de apertura y cierre de una puerta. Debe cumplir esta tarea con eficiencia y aportar una buena experiencia al usuario, esto implica que el proceso no sea demasiado ruidoso o lento, que sea seguro en todo sentido, tanto en el movimiento de la puerta como en mantener resguardada un área y que la operación de éste sea sencilla y fácil de entender.

Para reunir estas características, el automatismo incorpora sensores de luz infrarroja para detectar si llega a presentarse una obstrucción cuando se está cerrando la puerta y así evitar daño a personas, mascotas u objetos.

Los automatismos de apertura pueden ser activados y manipulados mediante controles alámbricos instalados en el lugar, controles inalámbricos, aplicaciones para teléfonos inteligentes en algunos casos, entre otros accesorios.

5.2 La importancia de la posición de la puerta

Al instalar un automatismo de apertura deben programarse los límites de operación, éste es, el automatismo necesita tener identificado en qué posición del rotor del motor la puerta se encuentra cerrada, y cuál será el recorrido o movimiento necesario para que la puerta quede completamente abierta. Si los límites no quedan establecidos adecuadamente, se puede forzar el mecanismo más de lo necesario al cerrar o abrir, lo que ocasiona desgaste o deformación en el riel u otras partes, o bien, la puerta no cerraría o abriría completamente, siendo éste el problema más grave al no restringir el acceso al interior de una zona.

Una vez programados los límites de operación, el automatismo tendrá identificado el recorrido que siempre ha de llevar a cabo, pero el usuario tiene la posibilidad de desacoplar la puerta del mecanismo y moverla manualmente en caso de requerirlo. Por ejemplo, esta acción sería necesaria durante un corte de energía eléctrica, y al volver a la normalidad el suministro de energía, el automatismo necesita identificar cuál es la posición actual de la puerta en su rango de operación para mantener los límites programados respecto a la referencia correcta.

6. Definición del problema o contexto de la participación profesional

Existen diversas maneras de determinar la posición del rotor, cada una con ventajas y desventajas. Con el método actualmente usado para realizar esta tarea, el automatismo necesita mover la puerta para poder conocer su posición.

Se desea demostrar que la posición del rotor se puede determinar con un codificador de posición absoluta (APE). Si es posible la detección, este cambio implica una mejora en la calidad y limpieza de la operación del automatismo de apertura, debido a que un APE puede proporcionar la posición del rotor en cualquier instante de tiempo, aún después de interrupciones en el suministro de energía eléctrica, sin necesidad de que la puerta se mueva.

Mostrar la viabilidad de este cambio implica desarrollar, implementar y validar un tablero electrónico que se encargue de la comunicación y compatibilidad del APE con el medio en el que su información es requerida, es decir, su compatibilidad con otros módulos electrónicos que utilicen comunicación CAN.

El APE seleccionado es un dispositivo que comunica sus datos a través de una interfaz con el estándar RS-485. El diseño del tablero debe permitir que el codificador se integre a un bus CAN, dejando a elección ciertos criterios de diseño como el tamaño del tablero o la inclusión de otras funciones en el mismo, pero pidiendo específicamente el uso de cierto número de parte para algunos componentes.

Los componentes indispensables para el funcionamiento del tablero a diseñar son:

- ❖ Fuente(s) de alimentación. El tablero a diseñar será energizado con 24 VAC provenientes del tablero principal del automatismo de apertura. Se requiere diseñar fuentes que a partir de esto proporcionen voltajes de 12, 5 y 3.3 VDC.
- ❖ Microcontrolador. La empresa definió el número de parte para este componente. El dispositivo controlará y coordinará al resto de componentes en el tablero. Se energizará con 3.3 VDC.
- ❖ Cristal. El microcontrolador puede realizar sus funciones con base en un cristal interno que posee, pero la empresa tenía interés en que se lograra su funcionamiento con un cierto cristal externo. Éste es un elemento que ayudará a producir una señal oscilante que sirve al microcontrolador como pauta de tiempo y sincronía para la realización de sus operaciones.
- ❖ Transceiver de RS-485. Para este componente, la empresa solo definió el proveedor (marca) a seleccionar, será el componente que permita al microcontrolador recibir los datos proporcionados bajo el estándar RS-485 por el codificador, para su posterior procesamiento. Se alimentará con 3.3 VDC.
- ❖ Transceiver de CAN. El número de parte es un componente utilizado anteriormente en la empresa., Su función será proporcionar al microcontrolador el medio necesario para transmitir hacia un bus de CAN. Se alimentará con 5 VDC.
- ❖ APE (Absolute Position Encoder). El codificador a utilizar fue elegido por la empresa. Este dispositivo indicará la posición del rotor y lo transmitirá a otros dispositivos a través del protocolo RS-485. Se energiza con 12 VDC.

Otras partes a considerar:

- ❖ EEPROM. La inclusión de este elemento fue solicitada por la empresa con la finalidad de almacenar algunos datos de producción.
- ❖ Protecciones. Es importante implementar en el tablero protecciones para eventos ESD (Electrostatic Discharge) y circuitos cortos.

Las descargas electrostáticas representan un riesgo de daño para ciertos circuitos integrados que son especialmente sensibles a este tipo de eventos, y los circuitos cortos pueden causar daños mucho más allá del tablero en el que se produjeron si no se toman las debidas precauciones de aislamiento entre etapas. Es importante impedir que un circuito corto en un tablero provoque la pérdida de funcionalidad de todo el bus de comunicación o daño en otros nodos del mismo.

7. Metodología utilizada

7.1 Etapa inicial del proyecto: definición e investigación

La empresa dividió a los participantes del programa en dos equipos y asignó a cada grupo un proyecto diferente. Un ingeniero de la empresa asumió el rol de supervisar periódicamente nuestro avance y resolver las dudas que surgieran sobre la marcha del proyecto.

Nos fueron indicadas las especificaciones para el tablero y se nos dio la libertad de llevar el proyecto tan lejos como deseáramos y el tiempo nos permitiera.

Siendo un equipo de tres integrantes, decidimos enfocarnos de manera individual en las partes del proyecto que requerían mayor cantidad de trabajo, ésto resultó en los tres bloques:

1. Cálculos para las fuentes de alimentación
2. Layout
3. Firmware

Mientras, a la vez, todos en conjunto detallaríamos las demás partes del trabajo, siempre involucrándonos unos con otros para apoyarnos, opinar y aportar ideas.

Las partes que trabajamos en conjunto son:

- Circuitería para el microcontrolador
- Transceivers (RS-485 y CAN)
- EEPROM
- Conectores

Una vez establecido el plan de trabajo, se buscó información sobre los aspectos a tomar en cuenta para desarrollar cada etapa del proyecto y el estado del arte en cada tema. Se tomó especial cuidado en que todas las consultas se realizaran de fuentes fidedignas y actuales. En reuniones del grupo de trabajo se analizó la información recabada y se seleccionaron los esquemas electrónicos que fueran más convenientes para nuestros propósitos.

7.2 Diseño.

En esta etapa elegimos los números de parte para todos los componentes que la empresa había dejado a elección nuestra (transceivers, transistores, diodos TVS, resistores, capacitores, inductores, etc.), revisamos las características de cada uno en las hojas de especificaciones proporcionadas por los fabricantes, a fin de asegurar que cumplieran con los parámetros requeridos, leímos con detenimiento las notas de aplicación para hacer uso del componente atendiendo las recomendaciones del fabricante, tomamos en cuenta tanto características eléctricas como costos y disponibilidad de envío inmediato al hacer estas elecciones.

Se eligieron las topologías para cada parte del circuito, se hicieron los cálculos correspondientes, procurando utilizar las ecuaciones especificadas por los fabricantes de cada circuito integrado, algunas de las topologías quedaron definidas en la primera intención, pero otras de ellas requirieron varias propuestas y cambios, para algunas secciones fue necesario también hacer varias simulaciones por software hasta llegar a una decisión final.

Durante el proceso de diseño se realizaron dos revisiones entre pares formales y varias revisiones locales de equipo antes de tener un esquemático final aprobado.

En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques final del proyecto.

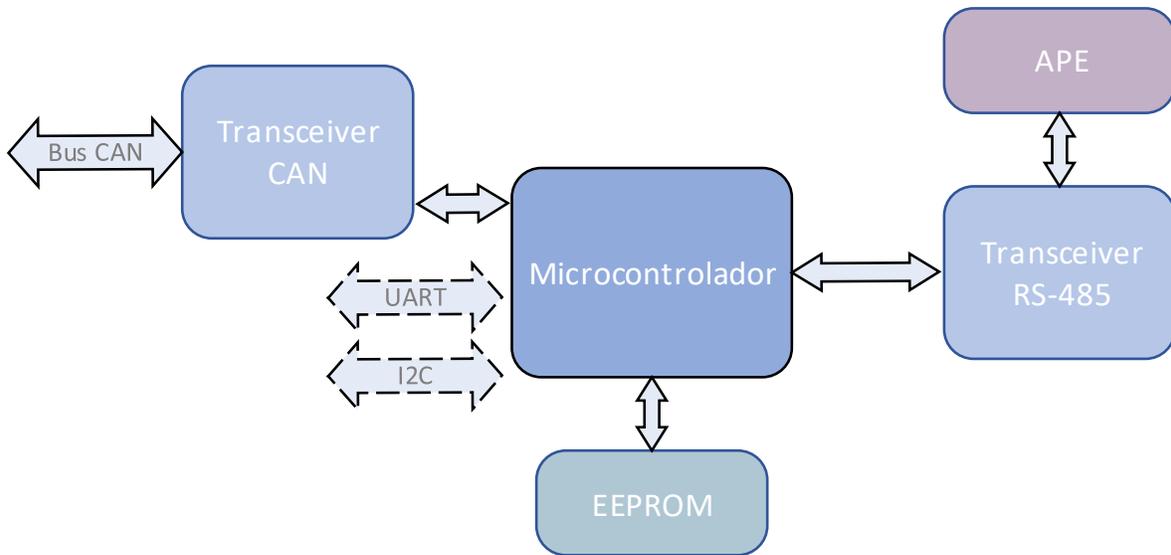


Fig. 4 Diagrama a bloques de las principales secciones del proyecto

7.3 Construcción

Lo primero en la construcción de un tablero es desarrollar un *layout* adecuado para el circuito y crear con la ayuda de algún software (por ejemplo, Altium®) los archivos necesarios para la fabricación de un PCB (*Printed Circuit Board*).

Para la elaboración de los circuitos impresos, se contrató una empresa especializada en su manufactura, lo único proporcionado a esta empresa fueron los archivos necesarios para la fabricación. El montaje de los componentes en la PCB fue realizado de manera manual por nuestro equipo de trabajo para los primeros tres prototipos, los cuales se usaron para la validación del funcionamiento del proyecto.

7.4 Validación

Para verificar si el funcionamiento del proyecto era correcto, se desarrolló el firmware para el microcontrolador que dirige y establece la comunicación con los transceivers.

En el proceso de desarrollo del firmware se decidió implementar también el estándar I2C para establecer comunicación con el proyecto desarrollado por el otro equipo a la par del nuestro, un tablero de transmisión RF, y a su vez, comunicación UART para enviar los datos a una computadora portátil y desplegarlos en una interfaz gráfica.

El proceso de desarrollo del firmware y adición de nuevas funciones se efectuó a la par que el layout era trabajado. Ésto permitió que el primer prototipo fabricado del tablero incluyera la asignación de pines y conectores necesarios para las tareas añadidas.

Una vez desarrollado el código necesario, se probó la comunicación del codificador con el microcontrolador y la comunicación con el bus CAN interconectando dos de los tres prototipos iniciales del tablero. Fue necesario hacer correcciones menores en los circuitos para que los tres prototipos fueran completamente funcionales.

Posterior a ésto, se validó el mismo funcionamiento a temperaturas de -20 y 60 °C (el rango de temperaturas a las que la empresa garantiza el funcionamiento de sus productos), y por último, el funcionamiento de las características añadidas en el transcurso del trabajo.

7.5 Documentación en cada etapa

La documentación del trabajo realizado es muy importante para que otras personas puedan dar continuidad al proyecto en el futuro.

La documentación se llevó a cabo a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto, el esquemático, layout y todo lo necesario para la fabricación de más unidades del tablero quedaron plasmados en archivos de esquemático y PCB que puedan exportarse a los archivos de desvastado, perforación, serigrafía, máscara para soldadura y todos los necesarios para su construcción y ensamble.

Durante la creación del esquemático fue necesario añadir nuevos elementos a las librerías de la empresa, ya que algunos de los componentes seleccionados no eran de uso en otros productos de la planta. Al agregar un nuevo componente deben quedar registradas todas sus características eléctricas y mecánicas en la base de datos de la empresa, así como el foot-print necesario para su uso dentro de un archivo de PCB de Altium®.

7.6 Presentación

Finalmente, se preparó una presentación para la empresa. Al ser dirigida a un público muy variado, que incluía a muchas personas que no tienen conocimientos sobre temas de ingeniería, se abordó de forma general, enfocándose en los beneficios y características del proyecto, el proceso de desarrollo y los resultados; mencionando solo lo indispensable de los detalles técnicos, buscando así mantener a todo el público interesado por igual y que todos pudieran entender la exposición.

Se incluyó también una breve demostración del funcionamiento de los dos proyectos del programa trabajando en conjunto. Esta demostración requirió dos tableros de nuestro proyecto y dos tableros del proyecto del otro equipo para poder ejecutar simultáneamente todas las funciones de ambos tableros.

8. Participación profesional

8.1 Participación en el diseño

Cada uno de los miembros del equipo nos enfocamos de manera individual en ciertas áreas del esquemático que requerían mayor atención, ya sea que necesitaran la realización de cálculos (como el caso de las fuentes de alimentación) o circuitería especial (como el bus de CAN). En mi caso, para esta parte me fue asignada la tarea de definir el circuito a utilizar para la “terminación conmutada” del bus CAN. En los siguientes párrafos se explicará la importancia de este circuito y sus requerimientos técnicos.

El estándar ISO 11898 pide un par trenzado de cable de 120 Ω de impedancia característica para el bus de CAN y recomienda conectar resistores de terminación de 120 Ω en cada extremo del bus. En la figura 5 se muestra la distorsión generada en la señal cuando al bus no se ha conectado en alguno de sus extremos la terminación.

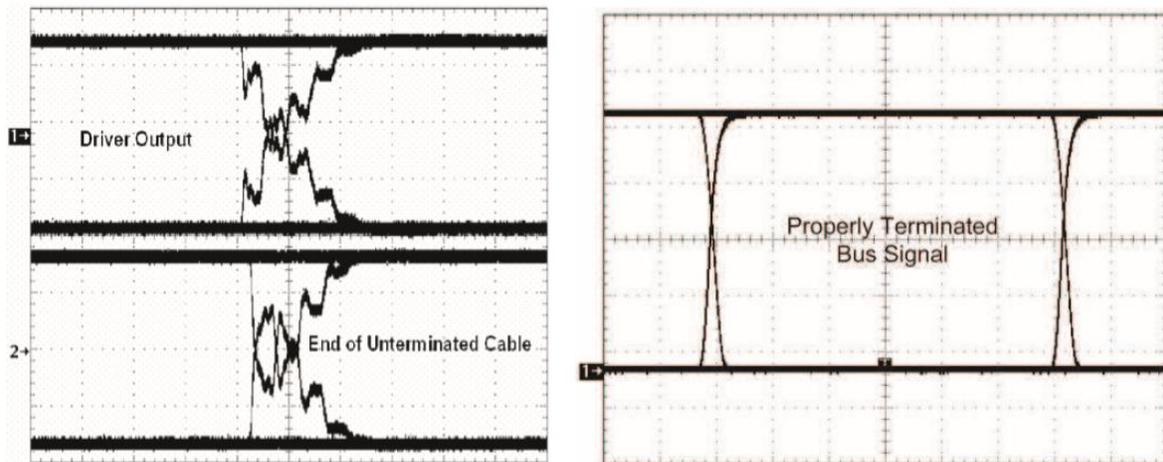


Fig. 5 Texas Instruments, “Unterminated and Properly Terminated Bus Signals”, Controller Area Network Physical Layer Requirements. p7.

La terminación en un bus es requerida cuando las distancias de cableado serán eléctricamente largas. Una línea de transmisión se considera eléctricamente larga

cuando la ruta física que recorrerá la señal es lo suficientemente larga para que la onda electromagnética reflejada de la transmisión se propague de regreso a la fuente después de que el próximo cambio de flanco o evento haya sido transmitido.

Existen diversas fórmulas para aplicar éste criterio, los cálculos rápidos permiten esbozar la situación para una gran cantidad de aplicaciones, mientras que, las aplicaciones con cambios de flanco a tasas muy altas, requieren cálculos mucho mas detallados tomando en cuenta la constante dieléctrica de los materiales utilizados.

En este proyecto es importante implementar una terminación por que se desconoce la longitud que tendrá el bus una vez instalado en campo. La longitud de cableado, así como la cantidad de nodos conectados, dependerán de las necesidades de cada usuario final.

Es importante hacer una selección correcta de los elementos a utilizar, se desea que la impedancia de terminación sea suficientemente grande para absorber el excedente de energía en la línea, pero no tan grande que degrade la energía que si es necesaria en la señal, una impedancia muy alta puede provocar que la señal transmitida pierda amplitud y no pueda cumplir su función, mientras que muy poca impedancia puede no ser suficiente para evitar una reflexión de la señal que genere problemas. A ésto atiende la recomendación de la norma ISO (y de muchos autores) de hacer coincidir la impedancia de terminación de una línea de transmisión con la impedancia característica de ésta.

Dada la naturaleza del proyecto, se desea que el tablero sea un módulo fácil de conectar y desconectar en el sistema de apertura del usuario. Un técnico en la instalación podría verificar donde se encuentra el último módulo en un bus CAN y conectar la terminación al final de éste, pero el usuario no. Existe el riesgo de que el producto desarrollado algunas veces quede conectado como un elemento intermedio en el bus y otras como el elemento extremo.

Es aquí donde entra el concepto de "terminación conmutada". Una terminación para el bus, antecedida por un circuito que desempeñe una función de interrupción al desconectar la terminación cuando el tablero sea un nodo intermedio del bus y conectarla cuando sea un nodo físicamente ubicado en uno de los extremos.

El circuito que anteceda a la terminación debe tener alguna manera de detectar la posición que ocupa el tablero dentro del bus y actuar de acuerdo con ésto. Existen diversas maneras de cumplir esta tarea, unas más complejas que otras, algunas más económicas y otras más versátiles; mientras que una forma permite que el tablero sea conectado de cualquier manera por el usuario (no importando que lado es "entrada" y que lado es "salida" hacia los nodos del bus), otra manera es capaz de funcionar aún después de la activación de una protección para circuito corto, con la desventaja de obligar a definir una entrada específica.

Para esta parte del diseño, se hicieron diferentes propuestas. Se simularon y se evaluó en colaboración con los ingenieros de la empresa las ventajas y desventajas de las distintas posibilidades hasta definir qué circuito habría de utilizarse.

Los tres miembros del equipo estuvimos muy involucrados a lo largo de todo el proceso de diseño del esquemático, la mayoría de los circuitos se definieron atendiendo a las recomendaciones del fabricante para el uso de sus circuitos integrados.

8.2 Participación en la construcción

Dentro del equipo me fue asignado el desarrollo del layout del proyecto, empleando el software Altium. Dado que ninguno de los miembros del equipo estaba familiarizado con el uso de este software, fue necesario revisar tutoriales y documentación sobre éste con el propósito de usarlo de forma correcta.

En el layout de los componentes del tablero hay muchos elementos a tomar en cuenta para que el funcionamiento sea óptimo. El mal diseño de éste puede perjudicar gravemente el desempeño de los circuitos o incluso inhibir su funcionamiento aun cuando no haya errores aparentes en las conexiones.

Aspectos básicos que se consideraron para el tipo de circuito implementado:

- De ser posible, posicionar las fuentes de alimentación conmutadas separadas de los circuitos que puedan ser afectados por la frecuencia de conmutación de éstas.

Ésto es, posicionarlas lo más alejadas posible de los dispositivos que operen con señales digitales, en éstas la interferencia resulta mucho más grave que en señales analógicas.

Es especialmente factible que las fuentes conmutadas generen un nivel importante de interferencia, por ser ésta generada a una amplitud grande (amplitud igual a la propia alimentación de los demás circuitos) y por estar presente en todo momento durante la operación de todos los dispositivos, es una fuente de interferencia permanente.

- La cantidad de energía que circulará en una pista para determinar su grosor de manera que tenga la capacidad de disipar el calor que habrá de generarse durante el funcionamiento.

También se consideró el uso de planos para disipación de energía, siendo bastante útil en el caso del uso de reguladores de voltaje lineales, debido a sus bajas eficiencias y en consecuencia presentar un calentamiento elevado.

Si no se toma en cuenta la potencia que será disipada en una pista de cobre para elegir su grosor, el incremento de temperatura en ésta

puede ser excesivo y ocasionar la destrucción de la pista. Para mantener un margen seguro en esto, suele considerarse aceptable un incremento de temperatura en la pista de máximo 10 °C por sobre la temperatura ambiente.

El incremento de temperatura en una determinada sección transversal de pista es casi directamente proporcional a la potencia disipada en ésta. Este incremento de temperatura depende de la impedancia del conductor en cuestión y está exponencialmente relacionado a la cantidad de tiempo durante la cual una corriente circula en éste.

Como herramientas para este tema es posible encontrar en libros tablas y gráficas que relacionan la corriente a circular por una pista con un grosor mínimo recomendado (pueden encontrarse algunas en el libro *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance* de M. Montrose), también existen aplicaciones (como Saturn PCB Design Toolkit®) que facilitan los cálculos, o puede elegirse utilizar directamente las fórmulas derivadas de la ley de ohm y la ecuación de potencia eléctrica.

- El uso del plano de tierra, por ser un tablero de dos capas, debe tener suficientes vías entre la conexión a tierra de una y otra capa. También se busca evitar que haya secciones de tierra encerradas entre componentes y pistas, aisladas del resto del plano. De ser posible, todas las tierras de una capa estarán conectadas en algún punto de esa misma capa. Finalmente, se recomienda colocar vías de conexión entre capas en donde el plano de tierra tenga forma de penínsulas.

Consideraciones como éstas suelen ser necesarias cuando se manejan circuitos a frecuencias altas, pero también deben ser implementadas en cualquier circuito digital.

Las vías de interconexión entre los planos de tierra sirven para desviar al chasis de tierra el ruido presente en los planos, además, los planos de cobre sólido grandes representan una mayor impedancia en la tierra, en este aspecto es preferible que estén seccionados mediante las vías en áreas más pequeñas.

Debe evitarse que la conexión de los componentes a tierra sea hecha mediante pistas, las pistas incrementan la inductancia presente entre el pin del componente y la tierra, permitiendo que se cree una diferencia de potencial en el camino entre éstos, además, las pistas largas actúan como antenas cuando se encuentran en las capas expuestas del tablero. En el caso de este proyecto, tratándose de un tablero de solo dos capas, ambas están expuestas.

Las secciones de tierra encerradas entre componentes y/o conectadas al resto de la tierra por una pequeña porción de cobre (las mencionadas como “con forma de penínsulas”) también pueden actuar

como antenas captadoras de ruido e interferencias si no se tiene el cuidado de colocar vías en estas zonas.

- Los pares de pistas destinadas a un bus de comunicación (pistas entre conector y transceiver), sean paralelas la mayor distancia posible y que solo se separen en donde han de dirigirse al pin correspondiente en el conector. Idealmente se busca que las dos pistas de la señal diferencial tengan la misma longitud, de esta forma la propagación sería igual y ambas señales llegarían a su destino al mismo tiempo. En la realidad muchas veces resulta difícil o no es posible hacer coincidir las pistas de manera exacta, ya sea por la disposición de los pines en los dispositivos fuente y destino, los conectores utilizados o cualquier otra razón. Afortunadamente, la velocidad de propagación de las señales en las pistas de cobre es lo suficientemente alta para que pequeñas diferencias en la longitud de éstas no representen un problema cuando la frecuencia de operación es menor a 1 GHz. Otra buena razón para trazar las pistas de forma paralela, es que las emisiones del par son menores a las emisiones que habría en una pista separada, debido a que el flujo magnético de una de las pistas es cancelado con el de la pista adyacente cuando tiene el sentido opuesto.

En el proceso de manufactura, dependiendo del método que sea utilizado para el soldado de componentes, es necesario cuidar que no haya vías demasiado cerca de los pads de los componentes, ya que una vía puede atraer la soldadura hacia sí misma provocando que el componente cercano quede mal soldado y con un mal contacto.

Durante este proceso se realizó una revisión entre pares formal para el layout y varias revisiones locales a fin de asegurar que se cubrieran los aspectos más fundamentales del diseño.

Una vez que se recibieron los PCB fabricados, cada miembro del equipo soldó manualmente los componentes de un tablero completo. Ésta fue también una etapa de aprendizaje y práctica de distintos métodos de soldadura, en especial los relacionados con componentes SMD, que constituían la mayor parte de los componentes en el tablero.

9. Resultados y aportaciones

Una vez construido y probado el tablero, los cambios necesarios para que funcionara fueron tres:

- ✚ Un pin del conector por medio del cual se programa el microcontrolador había sido mal asignado; ésto se solucionó mediante soldadura, haciendo la conexión del pin mal asignado a uno adyacente que tenía la señal correcta y no era requerido para ninguna otra función.
- ✚ En el trceiver de RS-485, se conectaron al bus dos resistencias que produjeron una disminución de tensión en la señal. Provisionalmente se solucionó ésto soldando resistores de valor nominal de 0Ω en los pads correspondientes, lo cual es equivalente a la utilización de un cable o conector directo, con la ventaja de que el resistor tiene el encapsulado y dimensiones exactas de la resistencia sustituida, siendo así una conexión más estética y robusta.
- ✚ En el trceiver de CAN, un pin de habilitación no estaba correctamente configurado lo cual impedía que el trceiver hiciera su trabajo, se solucionó también provisionalmente a través de la soldadura, realizando la conexión hacia el nivel de voltaje que requería.

Las soluciones provisionales permitieron continuar con la validación del prototipo hasta el final sin necesidad de construir un segundo prototipo y esperar a su fabricación. En el diagrama y layout originales se hicieron las tres correcciones mencionadas y se mandaron fabricar completamente varias unidades del tablero, con la intención de poder mostrar una versión mejorada en la presentación final. Desafortunadamente, esos tableros no estuvieron listos a tiempo en la empresa y la presentación se hizo con los tres primeros prototipos que, si bien no eran los más estéticos al haber sido soldados manualmente, eran perfectamente funcionales y su desempeño era óptimo.

Los tres tableros tuvieron un funcionamiento correcto durante las pruebas de temperatura hechas. Como el primer prototipo construido funcionó de la manera esperada, ésto representó un ahorro de dinero y tiempo.

Los resultados muestran que el esquemático diseñado fue bien planeado, que el layout estuvo correctamente desarrollado para favorecer el funcionamiento de cada sección del circuito y que hicimos un buen trabajo de equipo para cumplir las expectativas en tiempo y forma.

10. Conclusiones

Se demostró que es posible incorporar el codificador de posición absoluta a los productos de la empresa y que puede desarrollarse y construirse un tablero que permite que la información de éste sea incorporada a un bus de CAN.

Adicionalmente, se mostró que otras funciones (como las comunicaciones I²C, UART y la interfaz gráfica) pueden realizarse con el mismo microcontrolador y con el hardware que el tablero incluye. Se pueden implementar más funciones solo con el desarrollo de firmware, sin necesidad de hacer algún cambio físico o de construcción en éste.

Este proyecto se desarrolló como una prueba de concepto y, al demostrarse la viabilidad de la solución, en el futuro podrá validarse de manera más rigurosa (pruebas de estrés o fatiga), perfeccionarse y finalmente implementarse en producción. Éste representará entonces una mejora en la calidad y desempeño de los automatismos de apertura.

11. Bibliografía

F. Eady. *Networking and Internetworking with Microcontrollers*. Oxford: Newnes, 2004.

Y. Chavan. *Programming the BeagleBone*. Birmingham: Packt Publishing, 2016

M. Montrose. *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance*. New York: IEEE Press, 2000.

M. Jian, Foshan (CN). "Door Position Detection Device for Electric Door Opener."; Patent 15/654,726, July 20, 2017.

Texas Instruments. The RS-485 Design Guide [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/slla272c/slla272c.pdf>

Texas Instruments. Introduction to the Controller Area Network (CAN) [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>

Texas Instruments. Controller Area Network Physical Layer Requirements [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf>

Anaheim Automation. Encoder Guide [Online]. Available: <https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/encoder-guide.php>

P. Barry, P. Crowley. (2012). Modern Embedded Computing [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/universal-asynchronous-receiver-transmitter>

International Organization for Standardization, "Standard ISO 11898", December 2012.

12. Glosario

- ◀ CAN: Controller Area Network, protocolo de comunicación desarrollado por la compañía BOSCH inicialmente para la industria automotriz.
- ◀ CI: abreviación comúnmente utilizada para referirse a un Circuito Integrado.
- ◀ ESD: hace referencia a descargas electrostáticas, por sus siglas en inglés Electrostatic Discharge.
- ◀ Firmware: código programado a un bajo nivel en el hardware que es indispensable para el funcionamiento de éste y nunca tendrá interacción con el usuario o visibilidad para éste.
- ◀ Foot-print: se llama de esta forma al área ocupada por los pines o partes metálicas de un componente que requieren soldadura para montarse sobre un circuito impreso.
- ◀ I2C: Inter Integrated Circuits, método de comunicación serial desarrollado por la compañía Phillips.
- ◀ Layout: término utilizado para referirse al acomodo y posicionamiento de los componentes de un circuito sobre un tablero, así como todo lo relacionado con las interconexiones entre cada componente.
- ◀ Pad: se refiere a una pequeña superficie de cobre en un circuito impreso, destinada a que el pin de un componente sea soldado sobre ella.
- ◀ PCB: Printed Circuit Board, tablero hecho de material no conductor, con líneas conductoras sobre él (normalmente de cobre), sobre las cuales se sueldan componentes electrónicos con el propósito de dar estructura física a un circuito y que éste pueda funcionar.

- ◀ Peer review (revisión entre pares): reunión en la que varias personas hacen revisión de un trabajo con el fin de corregir errores, hacer sugerencias y perfeccionar el desarrollo de éste.
- ◀ Pista: en este contexto hace referencia a una línea de cobre dispuesta sobre un circuito impreso con la finalidad de conducir energía eléctrica de un punto a otro del mismo.
- ◀ SMD: Surface Mount Device, en español, componente de montaje superficial, es un componente electrónico que no requiere orificios para su montaje en un circuito impreso, simplemente es soldado sobre la superficie del tablero.
- ◀ Transceiver: dispositivo electrónico que es transmisor y receptor de información a la vez.
- ◀ TVS: Transient Voltage Suppression Diode, diodo de supresión de tensión transitoria utilizado como protección para circuitos electrónicos.
- ◀ UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, dispositivo de comunicación serial.
- ◀ Vía: medio de conexión entre dos capas de un circuito impreso, se trata de un orificio con material conductor en sus bordes y paredes que establece conexión eléctrica entre las dos caras de un PCB.