



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Rediseño de un Encoder de Posición
Absoluta para el Control de un
Sistema de Acceso Vehicular**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Rodolfo Fernando Martínez Carsolio

ASESOR DE INFORME

M. en I. Daniel Martínez Gutiérrez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Agradezco a toda mi familia y amigos por acompañarme durante esta etapa de mi vida, la cual estuvo llena de momentos maravillosos, grandes logros y sobre todo aprendizajes y experiencias inolvidables.

Dedico este trabajo a dos de las personas mas importantes en mi vida:

*A mi madre, Raquel, por todo el amor, confianza y apoyo que me ha brindado a lo largo de mi vida, por ser mi mayor orgullo y ejemplo a seguir; por darme la valiosa educación y valores que me permiten ser quien soy.
Gracias por estar siempre conmigo, mamá.*

A mi abuelo, Rodolfo, la persona más admirable y sabia en mi vida, quien me inspira a través de sus consejos a seguir adelante, alcanzar mis metas y cumplir mis sueños. Por ser mi motivación, gracias papá Rodo.

Rodolfo Fernando Martínez Carsolio.

Declaración de autenticidad

Por la presente declaro que, salvo cuando se haga referencia específica al trabajo de otras personas, el contenido de este informe es original y no se ha presentado total o parcialmente para su consideración para cualquier otro título o grado en esta o cualquier otra Universidad. Este informe de actividades profesionales es resultado de mi propio trabajo y no incluye nada que sea el resultado de algún trabajo realizado en colaboración, salvo que se indique específicamente en el texto.

Rodolfo Fernando Martínez Carsolio. CDMX, México, 2019

Índice general

1. Introducción y Objetivo	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo	2
1.2.1. Objetivo Específico	2
2. Participación en la Empresa	3
2.1. Funciones desempeñadas	3
3. Marco Teórico	5
3.1. Encoder	5
3.1.1. Encoder óptico	6
3.1.1.1. Encoder de posición absoluta	8
3.2. Protocolo de comunicación CAN	8
3.2.1. Ventajas del protocolo CAN	9
3.2.2. Funcionamiento del CAN	9
3.2.2.1. Capa física del CAN	10
3.2.2.2. Mensajes del protocolo CAN	11
3.3. Placa de circuito impreso	11
3.3.1. Diseño para la excelencia	13
4. Antecedentes del Proyecto, Tema o Problemática	15
4.1. Encoder a Mejorar	15
4.1.1. Funcionamiento del Encoder a Mejorar	15
4.2. Posición del motor y límites de operación	16
4.2.1. Programación de los límites de operación como usuario del producto	17
5. Definición del Problema o Contexto de la Participación Profesional	18
5.1. Definición del problema	18
5.1.1. Dirección del motor	18
5.1.2. Comunicación mediante CAN	19
5.2. Límites y condiciones necesarias	19

6. Metodología Utilizada	22
6.1. Kanban	22
6.2. Etapas del desarrollo	22
6.2.1. Creación	23
6.2.2. Definición	23
6.2.3. Diseño	23
6.2.4. Desarrollo	24
6.2.5. Entrega	25
6.2.6. Presentación	25
7. Participación profesional	27
7.1. Diseño del Hardware	27
7.1.1. Administración de energía	27
7.1.1.1. Regulador de voltaje conmutado	27
7.1.1.2. Regulador lineal de baja caída de tensión	28
7.1.2. Protecciones	28
7.1.2.1. Protección bidireccional contra sobrecarga	28
7.1.2.2. Protección contra descarga electrostática	28
7.1.2.3. Filtro de supresión de ruido	29
7.1.3. Señales	30
7.1.3.1. Sensores infrarrojos de herradura	30
7.1.4. Procesamiento	30
7.1.4.1. Microcontrolador	30
7.1.5. Comunicación	30
7.1.5.1. Transceptor	31
7.2. Diseño de la placa de circuito impreso	31
7.2.1. Primera versión del PCB del Encoder Mejorado	31
7.2.1.1. Apilamiento	31
7.2.1.2. Empaquetados	31
7.2.1.3. Forma	32
7.2.2. Segunda versión del PCB del Encoder Mejorado	32
7.2.2.1. Cambio de apilamiento	32
7.2.2.2. Diseño para manufactura	32
7.2.2.3. Diseño para pruebas	32
7.2.2.4. Norma IPC-610	33
8. Conclusiones y Trabajo Futuro	34
8.1. Conclusiones	34
8.2. Trabajos futuros	35
Bibliografía	36

Índice de figuras

3.1. Ejemplos de discos de encoder (21)	6
3.2. Optoacoplador, símbolo y patigrama (6)	6
3.3. Estructura de un encoder óptico (10)	7
3.4. Discos codificados (14) (1)	7
3.5. Esquema del protocolo CAN (11)	8
3.6. Partes de un bus de CAN (23)	10
3.7. Señales diferenciales de CAN(15)	10
3.8. Estructura de un mensaje CAN (4)	11
3.9. Ejemplo de placa de circuito impreso (17)	13
4.1. Esquema de funcionamiento del encoder a mejorar	16
5.1. Propuesta de hardware para el Encoder Mejorado	20
5.2. Esquema de funcionamiento del Encoder Mejorado	21
6.1. Ejemplo de tablero Kanban (3)	26
7.1. Funcionamiento del filtro de supresión de ruido (20)	29
7.2. Filtro de supresión de ruido en el bus de CAN (7)	29

Capítulo 1

Introducción y Objetivo

1.1. Introducción

Actualmente vivimos en un mundo donde el desarrollo tecnológico avanza a pasos enormes y es deber de las empresas y compañías mantenerse a la vanguardia día con día, no solo con el fin de mantenerse como líderes del mercado sino también para ofrecer mejores servicios y productos para sus clientes y público en general.

Aquí es donde la innovación juega un papel realmente importante. En palabras de la Real Academia de la Lengua Española, *innovar* significa “*la creación o modificación de un producto y su introducción en un mercado*”, es decir, crear nuevos sistemas tecnológicos, o bien, añadirles nuevas características a sistemas ya existentes, como nuevas formas de comunicarse entre ellos, formas más eficientes de energizarlos, reducción de tamaño y a la vez aumento de funciones, y muchas características más; éste es uno de los retos que la industria tienen que superar a diario.

Un claro ejemplo de lo mencionado son los protocolos de comunicación electrónicos, los cuales nos brindan nuevas ventajas sobre los métodos convencionales de comunicación entre dispositivos. Añadiendo una serie de elementos a nuestro *hardware* principal, nos es posible entablar redes completas de comunicación entre dispositivos y si bien es cierto que aumenta la complejidad al momento de diseñar el sistema, las ventajas que obtenemos bien lo valen, pues esto genera grandes ahorros en la producción de un producto; además de las características que brinda cada protocolo por si mismo, como mayor velocidad en la transferencia de datos, un mayor control en el flujo de la información transmitida, reducción en el número de líneas de transmisión, menor consumo energético, entre otras más. Poniendo como ejemplo particular el protocolo de comunicación CAN (del

inglés Controlled Area Network), el cual busca precisamente ofrecer una solución práctica y de baja complejidad física para la conexión de múltiples dispositivos a una misma red de comunicación.

Implementar estos protocolos de comunicación en la electrónica actual se ha vuelto una necesidad, ya que prácticamente cualquier dispositivo o sistema embebido cuenta con uno o más *microcontroladores* que utilizan ya estos protocolos, o bien, que son capaces de utilizarlos. Es ésta la razón para rediseñar sistemas completos, sin importar que tan grandes o pequeños sean, y de esta manera su funcionamiento sea reforzado y exceda las expectativas del usuario, de esta manera logrará *innovar* la industria y el mercado existente.

1.2. Objetivo

En un sistema de control de acceso vehicular una pieza clave es el *Encoder de Posición Absoluta*, el cual describiré a detalle en el desarrollo de este informe y cuya principal función es determinar los límites de operación del sistema, es decir, sabremos cuando una puerta, reja, garage o entrada residencial esté abierta, cerrada, o en movimiento.

El objetivo de este proyecto fue rediseñar el encoder que actualmente está en producción y construir prototipos con el nuevo diseño, el cual cumplió con una serie de lineamientos internos y requisitos técnicos propuestos por los encargados del área de diseño de la empresa.

1.2.1. Objetivo Específico

- **Diseño del hardware** del nuevo encoder, selección de componentes (elementos pasivos, circuitos integrados, protecciones, sensores y conectores), simulación de circuitos, pruebas de funcionamiento, esquemas y documentación.
- **Diseño de la placa de circuito impreso** o PCB (del inglés Printed Circuit Board) del nuevo encoder, estableciendo la posición y orientación de componentes, interconexiones eléctricas, dimensiones, forma y cortes de la placa y la generación de archivos para su manufactura.
- **Construcción de prototipos** del nuevo encoder, soldado de componentes, validación de manufactura y funcionamiento y presentación al final del proyecto.

Capítulo 2

Participación en la Empresa

2.1. Funciones desempeñadas

Las actividades que realicé dentro de la empresa correspondieron al departamento de *Sustaining Engineering*, el cual es el encargado de dar respuesta inmediata a los problemas que puedan presentarse en los productos, ya sea durante su diseño, su manufactura, o bien, como producto terminado. Dentro de este departamento algunas actividades que realicé fueron:

- Brindé soporte al equipo de ingeniería, cuyos integrantes, además, realizaron la tarea de capacitarme y mostrarme la metodología de trabajo que emplean.
- Di seguimiento a un “*Fin de vida útil*” de unos capacitores debido a un cambio de proveedor.
- Realicé pruebas de *Surge* o sobre-tensión transitoria a transformadores monofásicos de baja tensión.
- Caractericé la curva de comportamiento de transformadores empleados para el sensado de corriente de operación en los motores de un sistema de acceso vehicular.
- Actualicé la hoja de datos de un multivibrador al formato vigente de la empresa.
- Corregí los archivos de serigrafía de la PCB de dos tableros en producción.

También formé parte del equipo de Diseño de Hardware, en la que tuve una participación más directa y en la cual baso el desarrollo de este informe, donde las principales funciones que realicé fueron las siguientes:

- Diseñé Hardware, realicé simulaciones de circuitos y armado de prototipos.
- Diseñé placas de circuito impreso, manufactura de PCB, soldado de componentes, pruebas de funcionamiento, generación de modelos 3D y ensamble de prototipos.
- Presenté avances de manera continua y realicé una presentación final con el prototipo terminado.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Encoder

Un *encoder*, desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, es un dispositivo capaz de transformar el movimiento mecánico, usualmente rotatorio, en señales eléctricas, las cuales podrán proporcionar información de interés según la aplicación para la cual se esté empleando; usualmente las señales generadas forman patrones o códigos específicos y es por eso que también suelen ser nombrados como *Codificadores Rotatorios*, en la figura 3.1 se muestran algunos tipos de discos de encoders. Estos dispositivos suelen encontrarse de forma muy común en la industria puesto que sus aplicaciones van desde el control y la automatización hasta la robótica y muchas otras más.

Generalmente, los encoders forman parte de un sistema mucho más complejo y son los encargados de mandar las señales a los controladores o máquinas para que puedan ejecutar su función de manera correcta, de esta manera resulta de forma importante el principio electromecánico por el cual se obtendrá la información requerida, de tal manera que no afecte el funcionamiento del sistema o del encoder mismo. Actualmente se encuentran diversos principios de medición para los encoders, entre ellos podemos encontrar los magnéticos, los capacitivos, los inductivos y los ópticos, siendo estos últimos los más utilizados en la actualidad por la industria.

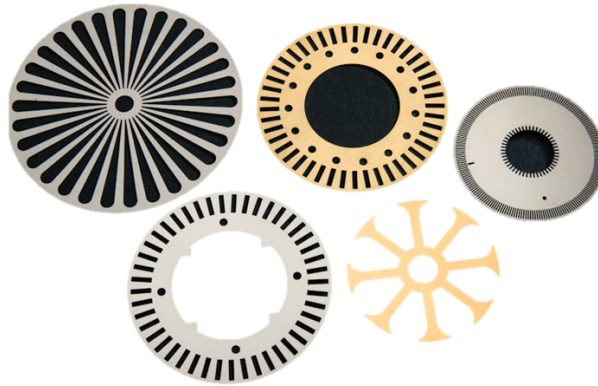


Figura 3.1: Ejemplos de discos de encoder (21)

Su principio de funcionamiento se basa en la generación de pulsos lógicos, los cuales son respuesta directa de las variables que estén bajo medición, entre algunos de los ejemplos podemos encontrar la velocidad, la dirección y la **posición**.

3.1.1. Encoder óptico

El principio de operación de un encoder óptico es a base de *Optoacopladores*, dispositivos electrónicos que están compuestos de un diodo emisor de luz o *LED* (del inglés Light Emitting Diode) y un foto-transistor, como se muestra en la figura 3.2. Este último tiene un comportamiento de transistor trabajando en corte y saturación, es decir, dejando conducir o deteniendo la conducción según se polarice su base.

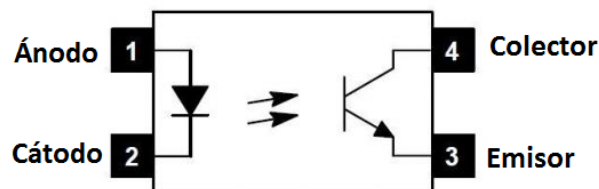


Figura 3.2: Optoacoplador, símbolo y patigrama (6)

En un encoder óptico suelen utilizarse discos con ranuras los cuales se centran con los optoacopladores y se acoplan con el eje del elemento rotatorio, generalmente el eje de un motor, de esta manera el disco gira y los orificios son los que van permitiendo o impidiendo el paso de la luz que emite el LED hacia el foto-transistor como se muestra en el esquema de la figura 3.3.

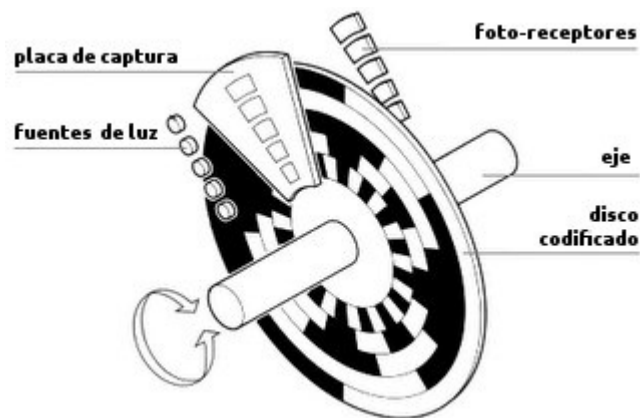


Figura 3.3: Estructura de un encoder óptico (10)

De igual manera, los encoders ópticos se dividen según el tipo de codificación que el disco esté utilizando. Entre los más comunes podemos encontrar los de tipo Incremental, los cuales tienen un orificio guía que indica el inicio del disco, y los de tipo Absoluto, que cuentan con múltiples orificios que crean combinaciones únicas para cada segmento u ángulo del disco. La figura 3.4 muestra un ejemplo de un disco incremental y un disco absoluto.

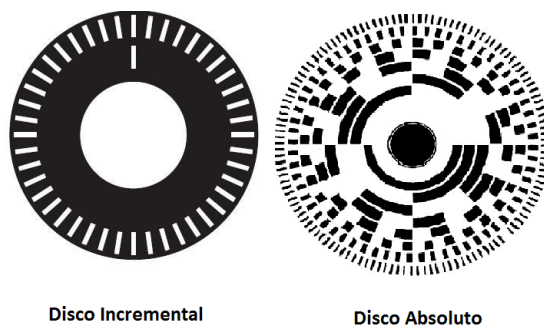


Figura 3.4: Discos codificados (14) (1)

3.1.1.1. Encoder de posición absoluta

Son encoders que utilizan discos con diferentes tipos de códigos en su estructura, por ejemplo, código binario, código gray, código BCD o inclusive códigos únicos creados para alguna aplicación en específico.

Independientemente del tipo de código usado, lo que hacen es generar un valor único para cada ángulo o segmento del sistema, de esta forma estos encoders suelen ser los óptimos cuando hablamos de **posición**, ya que nos ayudan a ubicar la posición de nuestro objeto de manera exacta y precisa, esto último dependerá directamente de la resolución final del encoder; a mayor resolución, mayor será el número de posiciones que podamos detectar en el sistema.

3.2. Protocolo de comunicación CAN

El protocolo CAN (siglas del inglés Controller Area Network) tiene sus orígenes en el año 1985, por la compañía alemana Bosch, y fue pensado originalmente para la industria automotriz, la cual se enfrentaba al problema de tener que integrar un sistema de múltiples dispositivos en una sola red, conforme el número de dispositivos aumentaba el sistema se volvía menos rentable, ya que al usar conexiones punto a punto, la complejidad y el costo aumentaban. La arquitectura del protocolo CAN se centra en la posibilidad de ocupar un solo *bus* o línea de comunicación para toda la red, con la posibilidad de comunicar todos los dispositivos que integren al sistema, lo cual lo vuelve más rentable al reducir el costo y material de cableado, como se muestra en la figura 3.5.

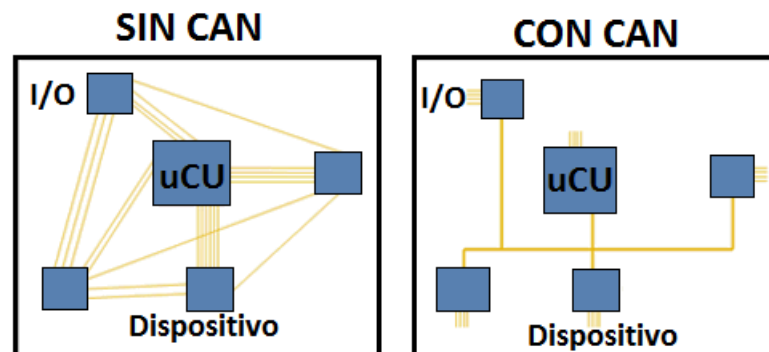


Figura 3.5: Esquema del protocolo CAN (11)

Es por eso que hoy en día el protocolo CAN ha expandido sus horizontes y además de la industria automotriz podemos encontrarlo en diferentes campos de aplicación como la industria aeronáutica, ferroviaria, aeroespacial e incluso la industria biomédica.

3.2.1. Ventajas del protocolo CAN

Además de simplificar la red de comunicación entre dispositivos, el protocolo CAN posee varias características que destacan sobre otros protocolos de comunicación, en especial cuando hablamos de sistemas comunicándose en *tiempo real*. Las ventajas más importantes que tiene son:

- **Alta integridad de la información:** tiene la capacidad de detectar errores en la transmisión de los mensajes, discernir entre errores puntuales o fallos en los nodos, desconectar nodos en caso de falla y retransmisión automática una vez corregido el error.
- **Prioridad en los mensajes:** identifica los mensajes de mayor importancia y da respuesta inmediata, por lo que los tiempos de latencia son muy reducidos.
- **Flexibilidad en tamaño:** a una misma red pueden añadirse hasta 110 nodos, además estos pueden ser agregados o quitados de forma física sin alterar el protocolo.
- **Alta velocidad de transmisión:** puede transmitir a una velocidad de 1 *Mbit* de información en cada segundo a una distancia de hasta 40 metros.

3.2.2. Funcionamiento del CAN

Un nodo de CAN se compone de un controlador y un transceptor. El controlador es el encargado de gestionar los mensajes y comprobar los errores que puedan presentarse en la transmisión o entre nodos. El transceptor es el encargado de enviar y recibir los mensajes al bus de comunicación, esto lo hace convirtiendo las señales lógicas que componen los mensajes en señales diferenciales que envía al bus y de forma inversa convierte las señales que recibe del bus.

Al principio y al final del bus, sin importar el número de nodos, es necesario añadir una terminación (R_T) con el fin de empatar la impedancia característica de los cables utilizados en las líneas de transmisión, la cual es de 120 $[\Omega]$; de esta manera evitaremos fenómenos de reflexión en las líneas.

La figura 3.6 muestra las partes descritas que contiene un bus de CAN.

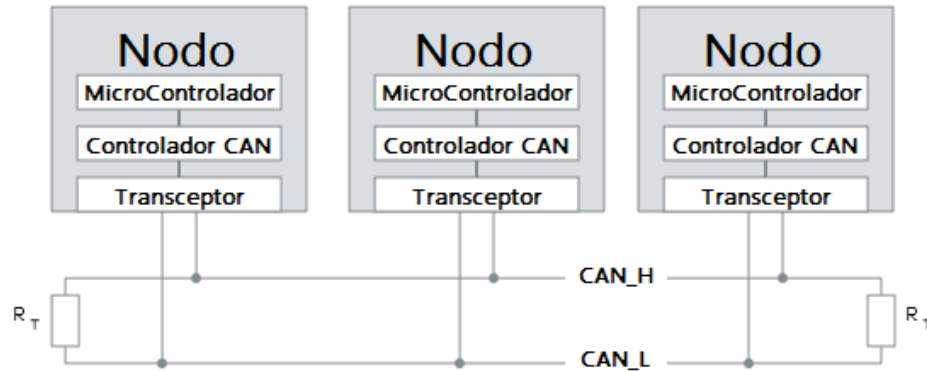


Figura 3.6: Partes de un bus de CAN (23)

3.2.2.1. Capa física del CAN

Físicamente, el protocolo se comunica a través de dos cables en los que se transmiten señales eléctricas que contienen el mensaje. Las señales son nombradas como *CAN_H* y *CAN_L*, éstas varían su nivel de voltaje en forma diferencial como se muestra en la figura 3.7. Cuando ambas líneas tienen el mismo nivel de voltaje se le denomina modo *Recesivo*, cuando las líneas tienen diferente nivel de voltaje se le denomina modo *Dominante*, esta forma de transmisión además agrega inmunidad ante interferencia electromagnética.

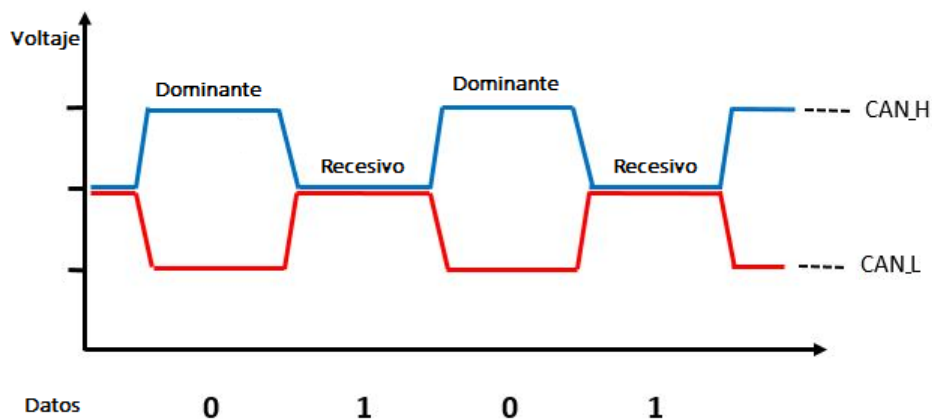


Figura 3.7: Señales diferenciales de CAN (15)

3.2.2.2. Mensajes del protocolo CAN

Los mensajes son enviados a todos los nodos, sin embargo, es la estructura del mensaje la que permite determinar cuando el mensaje es aceptado o ignorado gracias a un identificador contenido en el mensaje, el cual además indica la prioridad, integridad y tamaño del mensaje. Las partes que conforman un mensaje del protocolo de comunicación CAN se muestran en la figura 3.8.

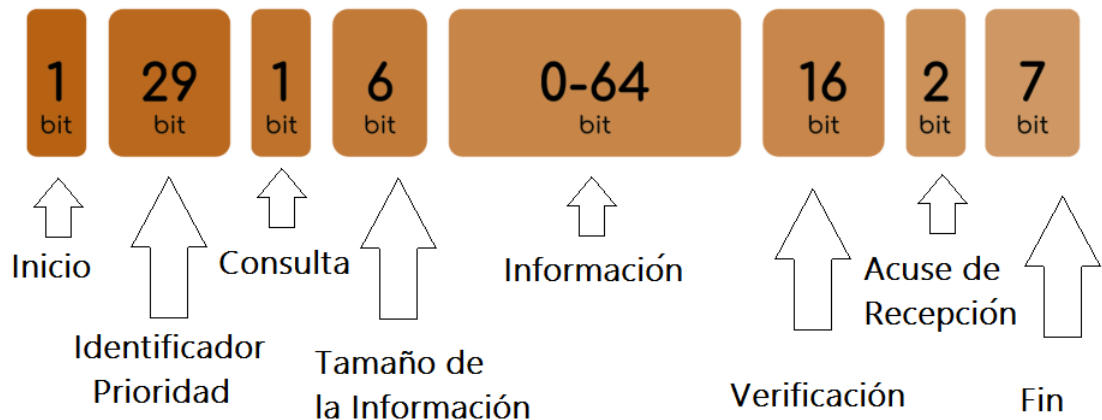


Figura 3.8: Estructura de un mensaje CAN (4)

3.3. Placa de circuito impreso

Una placa de circuito impreso es donde el diseño electrónico es plasmado físicamente y consta de una placa de cobre u otro tipo de material conductor en la cual serán colocados los elementos que conforman el circuito diseñado y las interconexiones entre ellos. En la actualidad prácticamente cualquier dispositivo electrónico cuenta con una.

Las principales partes que conforman una placa de circuito impreso son:

1. **Componentes (encapsulado):** hace referencia al tipo de empaque o presentación de un componente. Actualmente es común encontrar diferentes tipos de encapsulados para un mismo componente. Principalmente existen tres tipos:

- A través de orificio (*thru-hole*): son encapsulados con terminales de alambre que atraviesan perforaciones metalizadas de la PCB para ser soldados por el lado opuesto al que se insertaron. Este tipo de empaquetado es el de mayor tamaño.
 - Montaje superficial (*SMD*): son encapsulados de tamaño muy reducido, los cuales se colocan en la superficie de la PCB y son soldados lateralmente y/o debajo del componente.
 - Matriz de rejilla de bolas (*BGA*): Son encapsulados especiales para circuitos con gran cantidad de terminales, más de 300, los cuales suelen encontrarse en componentes como procesadores y tarjetas de vídeo.
2. **Pistas:** son caminos de cobre que interconectan los componentes. Según la aplicación del circuito, la longitud, ancho y espesor de las pistas son factores que deben ser calculados para su correcto funcionamiento.
 3. **PADS:** son superficies de cobre donde se colocan los componentes de la PCB, los cuales coinciden con las terminales del empaquetado de cada componente y son conectados a través de pistas. Para componentes *thru-hole*, los PADS tienen orificios para la inserción del componente.
 4. **Vías:** son orificios metalizados cuya función es conectar las diferentes capas que tiene la PCB, de forma que no se interrumpa la conducción eléctrica cuando se pasa de una superficie a otra. En diseños con múltiples capas son de gran utilidad al permitir cambiar pistas entre planos y/o interconectar planos de poder, de tal forma que pueden realizarse diseños más complejos en menor área. Existen diferentes tipos de vías, las que atraviesan toda la PCB conectando capas externas e internas y las que se encuentran internas a la PCB conectando únicamente capas internas.
 5. **Apilamiento:** hace referencia al número y ordenamiento de capas conductoras que posee la placa, las cuales pueden ser planos de energía y/o contener las pistas por donde viajan las señales.
 6. **Máscara antisoldante:** es una capa de barniz aislante cuya función es evitar que se genere un circuito corto entre las pistas de cobre durante el proceso de soldado, ya que cubre todo el PCB dejando expuesto únicamente los PADS de los componentes, además de brindar protección contra corrosión y oxidación de la placa.
 7. **Serigrafía:** es una capa de texto o gráficos impresa sobre la PCB mediante un polímero termoestable, generalmente resina epoxi de color blanco, el

cual es permanente y no conductivo; su función principal es indicar la posición, orientación y referencia de cada componente del circuito. También es utilizada para agregar información del producto como nombre, compañía o números de serie.

La figura 3.9 muestra un ejemplo de placa de circuito impreso, en la cual se puede observar algunos de los puntos descritos como máscara antisoldante, serigrafía de componentes, pistas, vías y PADS.

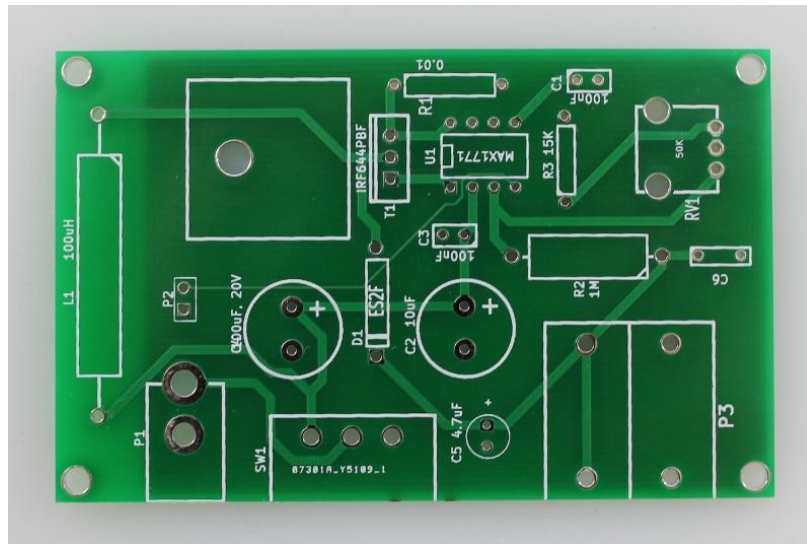


Figura 3.9: Ejemplo de placa de circuito impreso (17)

3.3.1. Diseño para la excelencia

Cuando hablamos de fabricar un producto en grandes cantidades es necesario garantizar la calidad durante su producción. Ésta es una tarea que se logra al considerar una serie de parámetros desde etapas tempranas a la creación del producto. A la aplicación de metodologías, reglas y guías se le conoce como *Diseño para la excelencia*, cuyo propósito principal es tener un impacto positivo en el valor del producto sin perder de vista los requerimientos de su diseño.

El diseño para la excelencia se divide en categorías que son aplicadas antes, durante y después del diseño de un producto, en el caso de una placa de circuito impreso algunos de los aspectos que cubre son:

- **Diseño para ensamble:** cuyo objetivo es garantizar que la PCB pueda ensamblarse de forma práctica con los elementos externos como bases, arneses, o bien, montarse en un chasis.
- **Diseño para manufactura:** el cual busca la manera más efectiva de producir una PCB, mediante procesos asistidos por computadora y/o de forma manual.
- **Diseño para pruebas:** el cual provee los accesos al circuito para que pueda ser probado al final de su ensamble.

Aplicar de manera efectiva estas metodologías de diseño impacta de manera significativa el costo de producción y por consiguiente el costo final del producto.

Antecedentes del Proyecto, Tema o Problemática

4.1. Encoder a Mejorar

La estructura del Encoder a Mejorar es la siguiente:

- Una **placa de circuito impreso**, la cual contiene elementos pasivos (resistencias y capacitores), elementos activos (transistores y sensores infrarrojos de herradura) y un conector macho para el arnés que conecta el encoder con la PCB del sistema principal.
- **Discos codificados**, los cuales están acoplados a través de un sistema de engranes al motor del sistema.
- Una **base plástica**, en la que se ensamblan la PCB del encoder y los discos codificados, la cual está acoplada al chasis del sistema de acceso vehicular.

4.1.1. Funcionamiento del Encoder a Mejorar

La PCB del sistema principal es la encargada de suministrar energía al encoder, entregando directamente el voltaje de operación de los elementos que contiene la PCB del encoder, sin la necesidad de una etapa de regulación de energía. Cuando el motor se encuentra en movimiento los discos codificados del encoder giran dentro de los sensores de herradura, generando una serie de pulsos lógicos que son enviados al sistema principal. Las señales llegan a un microcontrolador, el cual las procesa y mediante la aplicación de un algoritmo obtiene la posición del motor.

El esquema de la figura 4.1 resume el comportamiento eléctrico del Encoder a Mejorar a Mejorar.

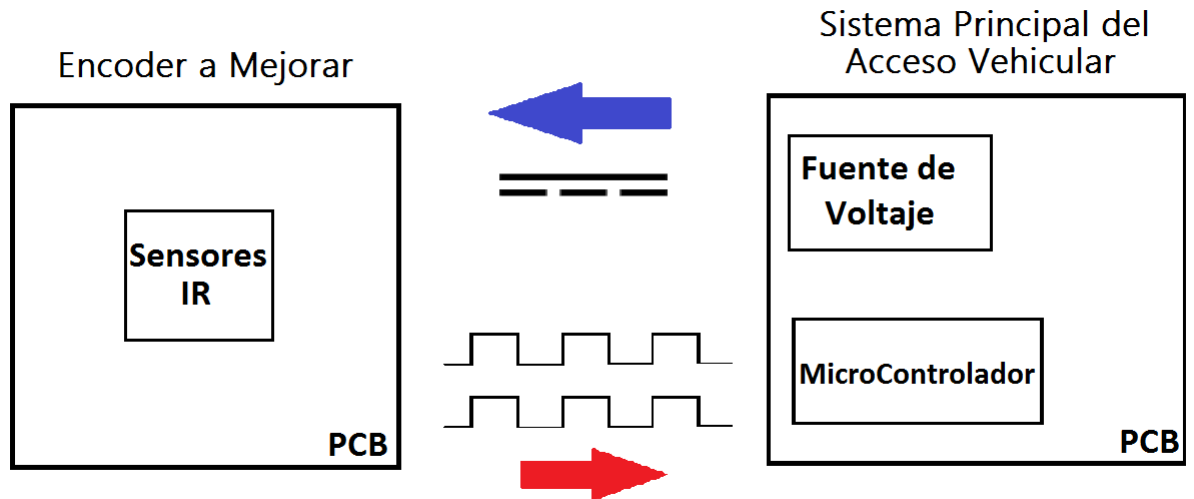


Figura 4.1: Esquema de funcionamiento del encoder a mejorar

4.2. Posición del motor y límites de operación

La posición del motor nos brinda un elemento clave en la operación del sistema de acceso vehicular, el **estado actual del sistema**, ya que a través de la posición es posible saber si el acceso vehicular está en estado “abierto”, “cerrado” o en “movimiento”; esto es posible gracias a la programación de los límites de operación del sistema, la cual queda a cargo del usuario final del producto.

Los límites de operación funcionan de la siguiente manera: el motor es activado y una vez que llega a la posición deseada se registran las señales de posición entregadas por el encoder y procesadas por el microcontrolador, la posición se almacena en una variable del sistema y el proceso se repite con el motor girando en sentido contrario al que inicialmente giraba, una vez alcanzada la posición deseada, se registra en otra variable del sistema. De esta manera quedan registrados ambos límites y el motor solo podrá desplazarse dentro de ese rango de movimiento.

Desde esta perspectiva del sistema, es fundamental que la información entregada por el encoder sea correcta y confiable, de tal manera que todos los parámetros que involucran la posición del motor funcionen correctamente. La consecuencia directa de que la información proveniente del encoder sea errónea es que el acceso no llegue a los límites mínimo y/o máximo, quedando semiabierto, o bien que el motor no se detenga cuando llegue a sus límites, provocando daños permanentes al sistema, ya que se forzaría el motor y las vigas metálicas que mueven el acceso. Esto es por que opera fuera de las funciones y rangos para los que fueron diseñados.

4.2.1. Programación de los límites de operación como usuario del producto

Como usuario del sistema, la programación de los límites es una de las últimas tareas que se realizan durante su instalación y se realizan una única vez. Como ejemplo particular, en la puerta del garage de una residencia, los pasos generales son los siguientes:

1. Colocar el sistema en modo “*Programación de Límites*”.
2. Presionar el botón de “*Abrir*” hasta que la puerta se abra completamente, y presionar el botón “*Registrar*”.
3. Presionar el botón de “*Cerrar*” hasta que la puerta se cierre completamente, y presionar el botón “*Registrar*”.
4. Verificar que la puerta abra y cierre correctamente, en caso contrario repetir el proceso nuevamente.

Con este tipo de sistema se tiene la posibilidad de adaptarse a distintos tamaños de puertas, rejas o accesos.

Capítulo 5

Definición del Problema o Contexto de la Participación Profesional

5.1. Definición del problema

El Encoder a Mejorar es un sistema totalmente dependiente del sistema principal en alimentación y procesamiento de señales. Con el rediseño del encoder se buscó independizarlo, creando un dispositivo autónomo, esto se logró añadiendo una serie de componentes electrónicos, modificando elementos mecánicos y realizando cambios en su placa de circuito impreso.

Como etapa inicial del rediseño se planteó un diagrama de bloques con cada elemento que debía contener el Encoder Mejorado, el cual incorporó protecciones, alimentación, sensado de señales, procesamiento y comunicación. El diagrama de la figura 5.1 muestra los elementos mencionados y la correlación que tienen dentro del circuito.

5.1.1. Dirección del motor

En el sistema a mejorar, la dirección es una variable que se encuentra ubicada en el firmware del microcontrolador del sistema principal y solo se ve modificada por el programa mismo. Con base en lo anterior, otra de las mejoras que se planteó fue poder obtener la dirección del motor mecánicamente. La justificación proviene directamente del modo en que opera el sistema, ya que para obtener la posición el motor debe girar una pequeña cantidad de distancia para generar un mínimo de pulsos lógicos provenientes del encoder y que el algoritmo se ejecute de manera correcta.

El funcionamiento a mejorar se realiza desplazando el motor en una dirección (*Abajo*) independientemente del comportamiento anterior que haya presentado el sistema o al que haya sido sometido, además, el programa contempla diferentes casos de uso con el fin de verificar la integridad del sistema y la seguridad del usuario; sin embargo, el obtener la dirección de forma mecánica garantiza saber el último sentido de giro del motor ante casos como:

- El sistema es reiniciado.
- Ocurre un corte energético.
- El usuario desplaza de forma manual el motor.

Para lograr implementar este cambio, se modificó la estructura mecánica del encoder, añadiendo un nuevo disco codificado, y por consiguiente, un nuevo sensor infrarrojo de herradura y una reestructuración de la base plástica.

5.1.2. Comunicación mediante CAN

Como dispositivo autónomo, el Encoder Mejorado es capaz de mandar la información recolectada, **posición y dirección**, a través del protocolo de comunicación CAN; de esta forma se incorpora a un bus de comunicación con el sistema principal, pensando en la posibilidad de añadir más accesorios que se comuniquen con este protocolo.

El esquema de la figura 5.2 resume el comportamiento eléctrico del Encoder Mejorado.

5.2. Límites y condiciones necesarias

Actualmente no existe producto alguno de la empresa que utilice el protocolo de comunicación CAN, por lo que una de las tareas fue desarrollar un sistema de pruebas que validó el funcionamiento del Encoder Mejorado y verificó la integridad de la información con respecto al Encoder a Mejorar. Por otra parte el Encoder Mejorado no tuvo que alterar, reducir o modificar función alguna del sistema de acceso vehicular.

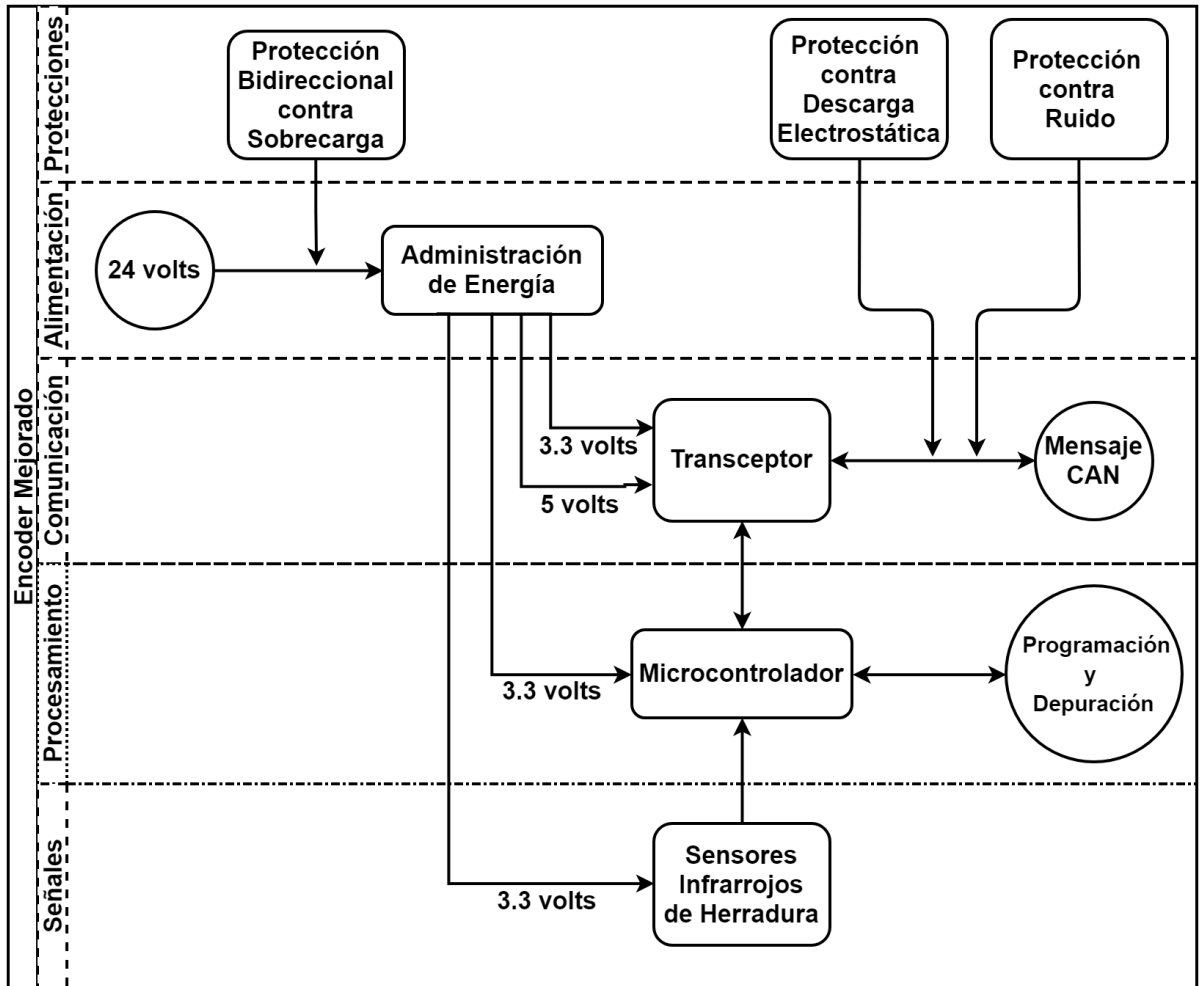


Figura 5.1: Propuesta de hardware para el Encoder Mejorado

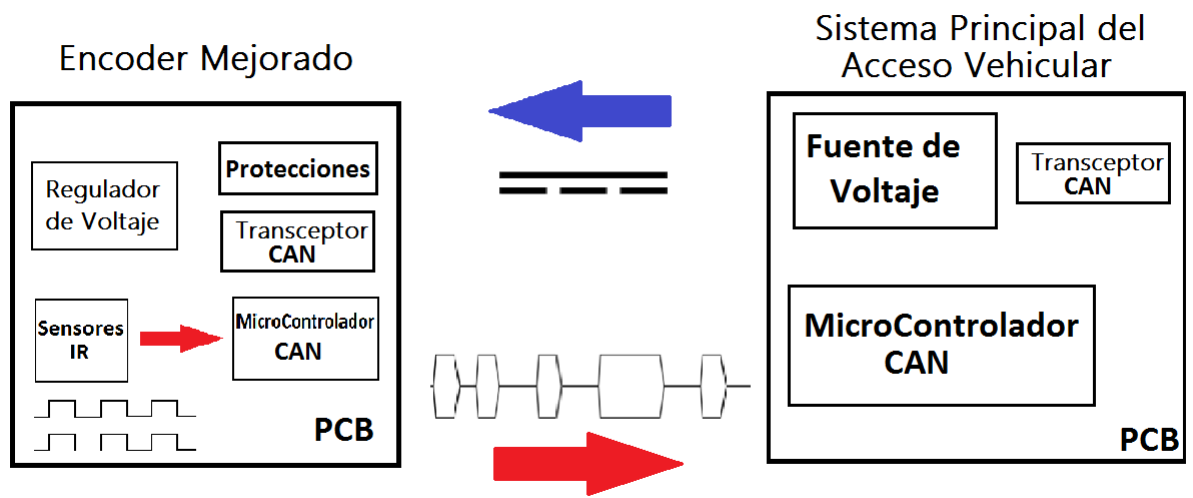


Figura 5.2: Esquema de funcionamiento del Encoder Mejorado

Capítulo 6

Metodología Utilizada

6.1. Kanban

Del japonés “letrero”, *Kanban* es un método para la gestión de producción, desarrollado por la compañía *Toyota*, para elevar el nivel de productividad de forma efectiva mediante pizarras que registran las actividades en progreso de una línea de producción. Actualmente existen herramientas y softwares para la administración de proyectos basados en la metodología del Kanban, donde “*Elementos visuales*”, como etiquetas, objetivos, categorías y prioridades, son los encargados de mostrar el progreso de cada miembro de un equipo de trabajo, de esta forma todos los integrantes pueden consultar el avance de un proyecto y mantener una comunicación constante durante su desarrollo.

En la figura 6.1 se muestra un ejemplo de tablero Kanban, donde se ubican columnas que registran el progreso de diferentes tareas de cada miembro del equipo.

6.2. Etapas del desarrollo

El proyecto completo involucró la participación de tres equipos de ingeniería:

- Diseño de Hardware, Nogales México.
- Diseño de Firmware, Nogales México.
- Diseño Mecánico, Sydney Australia

Además contábamos con un equipo de asesores en diseño ubicados en Oak Brook, Illinois.

Al haber participado múltiples equipos fue necesario mostrar avances de manera continua y realimentar el trabajo individual con los comentarios y sugerencias de los otros equipos, mediante el uso del Kanban definimos actividades, objetivos y metas personales, de esta forma todos estuvimos informados del progreso individual de cada miembro, además compartimos documentación, toma de decisiones o cambios en el proyecto, los cuales se comunicaron en juntas semanales con todos los equipos, de esta forma era más sencillo implementar cambios de forma temprana y de manera más eficiente.

Las etapas que definieron el desarrollo del proyecto se describen a continuación:

6.2.1. Creación

Nos dieron la introducción al proyecto, su alcance y la importancia que tiene para la empresa. Con base en la experiencia y habilidades de cada miembro se asignó su rol en el equipo. Se definió la forma de trabajo (Kanban) y la planeación del proyecto, es decir, tiempos de entrega para cada objetivo y para la entrega final del prototipo del Encoder Mejorado.

6.2.2. Definición

Coloqué mis objetivos individuales en el Kanban del proyecto. Mi primer objetivo fue comprender el Encoder a Mejorar, su funcionamiento y los componentes electrónicos y mecánicos que lo conforman, identifiqué las partes clave y realicé la caracterización de los discos codificados que utiliza, de esta forma registré cuál es su comportamiento y los datos que debe generar durante su operación y con apoyo del equipo de Firmware, replicamos el algoritmo de obtención de posición. De esta forma fundamenté las modificaciones e implementaciones que realicé al encoder.

6.2.3. Diseño

- Diseño de Hardware:

Empecé a trabajar en el esquemático del circuito, el cual se planteó con el diagrama de la figura 5.1, definí los componentes, circuitos integrados, tipos de fuentes de voltaje y microcontroladores que cumplieran los requisitos del proyecto, durante esta parte del proyecto mantuve una constante comunicación con el equipo de Oak Brook, ellos fueron los encargados de revisar los esquemáticos propuestos, y

tras evaluar ventajas y desventajas de cada diseño se concretaron cada una de las partes del circuito. Se trabajó en conjunto con el equipo de Firmware, y siguiendo el mismo proceso se definió el microcontrolador que se utilizó en el Encoder Mejorado. Realicé simulaciones con los circuitos propuestos y armé prototipos para realizar pruebas de funcionamiento, principalmente con las fuentes de voltaje y los sensores infrarrojos.

- Diseño de PCB:

Con el circuito ya definido empecé a trabajar en el PCB del Encoder Mejorado y en continua realimentación con el equipo Mecánico definimos la placa, dimensiones, forma, cortes especiales, espacios para ensamble y puertos para programación y depuración del microcontrolador. Seleccioné los empaquetados de cada uno de los componentes eléctricos, poniendo especial atención a sus características eléctricas y basándome en los componentes que tenían en existencia en la empresa, esto hizo más práctico su ensamble. Mediante el uso de un software de diseño de PCB genere los PADS de componentes que no estuvieran en la base de datos, los ubiqué en la placa y comencé el proceso de *ruteo* de interconexiones eléctricas. Generé los documentos de manufactura los cuales envié a una empresa externa especializada en fabricación de PCB.

Durante esta parte del proyecto también fabriqué PCBs del proyecto dentro de la empresa, las cuales fueron hechas empleando una máquina de CNC (Control Numérico Computarizado), y fueron de gran utilidad por dos motivos:

1. Pude caracterizar el comportamiento de la nueva señal de **Dirección** del motor.
2. Fue modelo de pruebas para el equipo de Firmware, con ayuda de una tarjeta de desarrollo con el mismo microcontrolador elegido, realizaron las primeras versiones de código del Encoder Mejorado el cual una vez terminado se porteó a la PCB del prototipo final.

6.2.4. Desarrollo

Recibí las placas y solicité los componentes para su ensamble. Con ayuda de técnicos de la empresa soldamos los componentes y conectores a la PCB del Encoder Mejorado. De esta forma estuvo listo el primer prototipo del proyecto, con el que realicé pruebas de circuito corto y circuito abierto a todos los componentes verificando que fueran soldados correctamente. Entregué la PCB al equipo de Firmware, el cual realizó pruebas con el código que realizaron y verificaron los mensajes generados en las líneas de comunicación del protocolo CAN del Encoder Mejorado.

Con las pruebas detecté oportunidades de mejora en la PCB del prototipo y trabajé en desarrollar una segunda PCB, esta vez me apegué a los documentos internos de la empresa, específicamente en los de diseño para manufactura y diseño para pruebas, los cuales están enfocados en la producción a gran volumen de PCBs. Repetí el proceso de diseño de la PCB e hice pocas modificaciones al hardware, y siguiendo la misma metodología generé una segunda versión de PCB del prototipo, el cual también se fabricó de manera externa y se construyó, ensambló y probó dentro de la empresa.

Finalmente teníamos un prototipo ensamblado y listo para ser probado en condiciones reales, es decir, con el sistema de acceso vehicular.

6.2.5. Entrega

El prototipo del Encoder Mejorado se integró con el código desarrollado por el equipo de Firmware y con la nueva base y disco codificado diseñado por el equipo Mecánico. Al no tener una unidad de sistema de acceso vehicular que se comunicara con el protocolo CAN se modificó una de forma especial con el fin de verificar el funcionamiento del prototipo. Se montaron simultáneamente el Encoder a Mejorar y el Encoder Mejorado, y se registró que los datos entregados por ambos encoders fueran los mismos y que arrojara los mismos valores de posición una vez ejecutado el algoritmo. También se realizaron pruebas para verificar los tiempos de respuesta sin utilizar el protocolo CAN contra los tiempos de respuesta utilizando el protocolo CAN.

6.2.6. Presentación

La presentación final del proyecto se llevó a cabo en las oficinas de la empresa ubicadas en Oak Brook, la cual estuvo integrada por diversos equipos de ingeniería de las múltiples áreas que integran la empresa, durante esta presentación se habló del proceso que llevamos a cabo para la realización del proyecto. La presentación finalizó con la demostración del Encoder Mejorado en funcionamiento con la unidad de acceso vehicular modificada. Con apoyo de una interfaz gráfica desarrollada por el equipo de Firmware se mostró la posición registrada en ambos encoders, el desplazamiento total recorrido y en el caso del Encoder Mejorado la dirección en la que se desplazó.

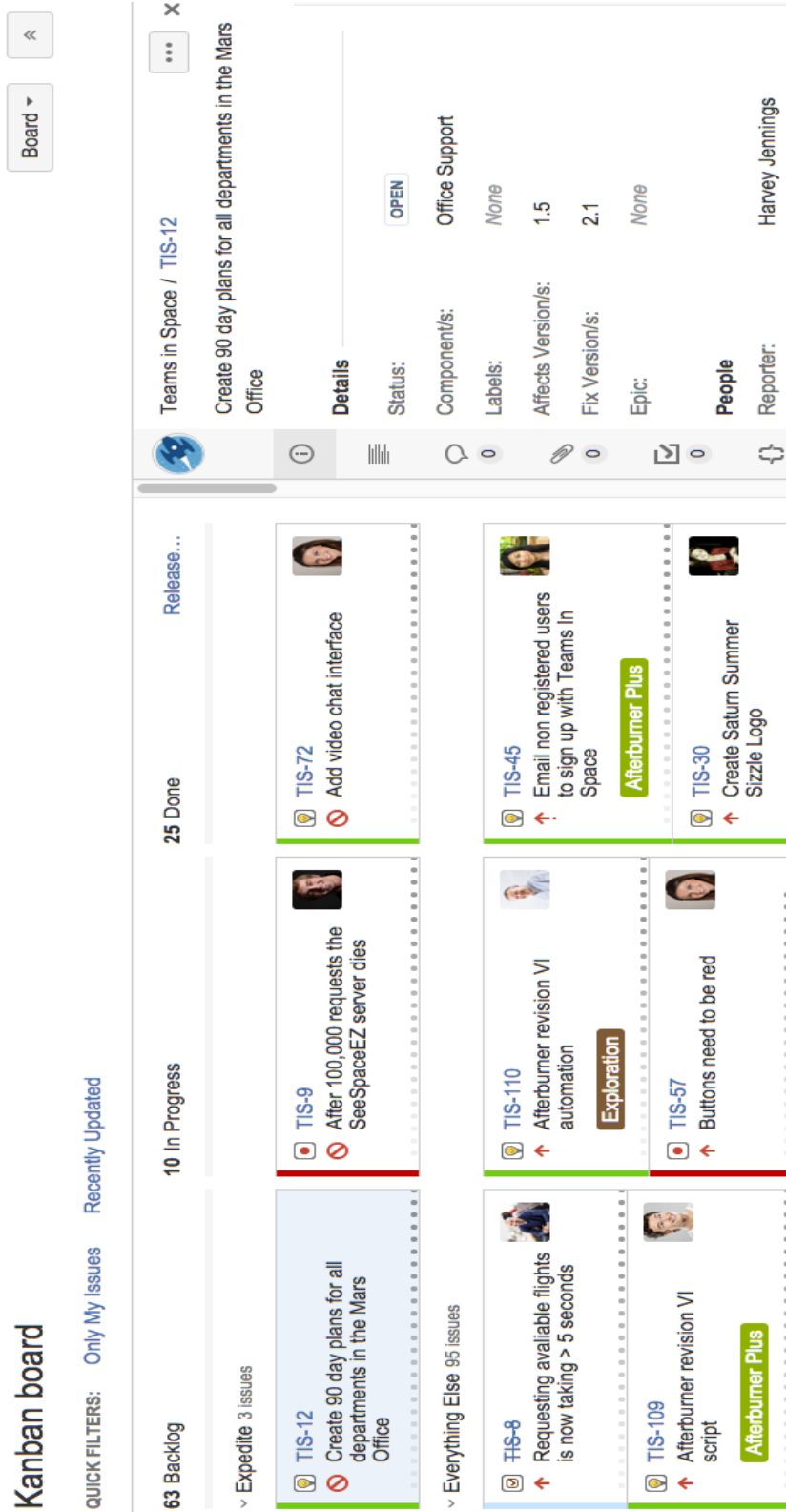


Figura 6.1: Ejemplo de tablero Kanban (3)

Participación profesional

7.1. Diseño del Hardware

Siguiendo el diagrama de la figura 5.1, el diseño de hardware para el Encoder Mejorado se describe en los siguientes puntos:

7.1.1. Administración de energía

La línea de alimentación que suministra voltaje al Encoder Mejorado es de $24 [V_{dc}]$. Debido a las características eléctricas de los componentes propuestos fue necesario añadir dos etapas de regulación:

- $5 [V_{dc}]$, para energizar el transceptor.
- $3.3 [V_{dc}]$, para energizar el microcontrolador, los sensores infrarrojos y una referencia de voltaje del transceptor.

Como las diferencias de potencial entre la entrada ($24 [V_{dc}]$) y la salida ($5 [V_{dc}]$ y $3.3 [V_{dc}]$) de ésta etapa es considerada muy grande, el diseño que realicé fue utilizando dos tipos de reguladores distintos.

7.1.1.1. Regulador de voltaje conmutado

Para la regulación de $24 [V_{dc}]$ a $5 [V_{dc}]$, utilicé este tipo de regulador debido a su amplio rango de voltaje de entrada y alta eficiencia de funcionamiento. Utilicé un circuito integrado y una serie de componentes externos, cuyo valor calculé con base en las características descritas en la hoja de datos. La eficiencia de este regulador estuvo en el rango de 80 a 90 %.

7.1.1.2. Regulador lineal de baja caída de tensión

Para la regulación de $5 [V_{dc}]$ a $3.3 [V_{dc}]$, utilicé este tipo de regulador debido a que la diferencia de potencial de entrada y potencial de salida es mucho menor. Utilicé un regulador de montaje superficial, el cual tiene una alta estabilidad en la salida regulada, es de bajo ruido y la cantidad de elementos externos es mínima, los cuales seleccione con la información proporcionada en la hoja de datos.

7.1.2. Protecciones

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del Encoder Mejorado ante eventos de carácter indeseado, agregué componentes de protección contra sobrecarga, contra descarga electrostática y filtros de supresión de ruido.

7.1.2.1. Protección bidireccional contra sobrecarga

Para la protección de este evento utilicé un termistor de coeficiente de temperatura positivo, su comportamiento es similar al de un fusible con la ventaja de ser “*reinicialable*” de forma autónoma. Ante condiciones normales de funcionamiento el termistor se comporta como un circuito corto, en el caso de sobrecarga, la temperatura del termistor aumenta y esto eleva su resistencia hasta comportarse como un circuito abierto, una vez que su temperatura baje, vuelve a comportarse como un circuito corto.

Añadí un termistor en serie con la alimentación de $24 [V_{dc}]$ y de corriente máxima de $1 [A]$.

7.1.2.2. Protección contra descarga electrostática

Para la protección de este evento utilicé un arreglo de diodos supresores de voltaje transitorio, los cuales están diseñados para absorber grandes picos de voltaje sin que los diodos ni el dispositivo sufran daños. Utilicé un componente de montaje superficial que, además de contener el arreglo de diodos, está diseñado para funcionar como protección específicamente en líneas de comunicación del protocolo CAN, los rangos de protección de este componente son:

- $\pm 24 [kV]$ para descarga por contacto.
- $\pm 30 [kV]$ para descarga por aire.

Coloqué este componente en paralelo con las líneas de comunicación del protocolo CAN.

7.1.2.3. Filtro de supresión de ruido

Para filtrar frecuencias no deseadas y ruido proveniente de interferencia electromagnética, utilicé una bobina de choque de modo común, su funcionamiento es el de un filtro paso bajas. El filtro **impide** el paso de ruido de alta frecuencia y/o tensiones inducidas por ondas electromagnéticas que estén **presentes en ambas líneas** de comunicación del protocolo y que permite el paso de las señales diferenciales que se envían al bus.

La figura 7.1 muestra el comportamiento del filtro ante señales en modo común y señales en modo diferencial.

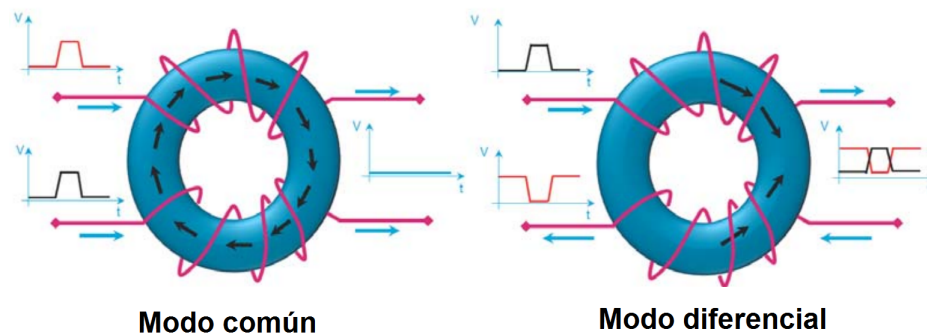


Figura 7.1: Funcionamiento del filtro de supresión de ruido (20)

Utilicé un circuito integrado, el cual coloqué en serie con las líneas de comunicación del protocolo de comunicación CAN y cuya frecuencia de corte es de 4.65 [GHz], como se muestra en la figura 7.2.

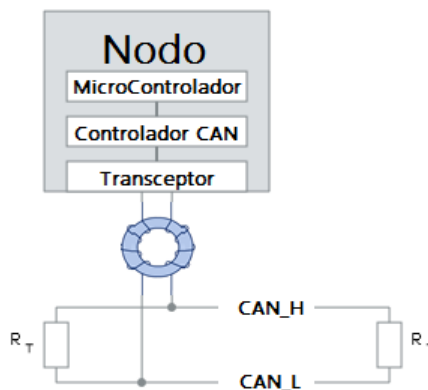


Figura 7.2: Filtro de supresión de ruido en el bus de CAN (7)

7.1.3. Señales

Para capturar el movimiento de los discos codificados del Encoder Mejorado, utilicé una serie de sensores infrarrojos de herradura.

7.1.3.1. Sensores infrarrojos de herradura

La cantidad de sensores fue la misma que el Encoder a Mejorar más uno extra para el nuevo disco codificado, por lo cual tuve que rediseñar la topología de conexiones y calculé nuevos valores para las resistencias limitadoras de corriente de los LEDs infrarrojos de los sensores de herradura.

A la salida del foto-transistor utilicé transistores NPN de propósito general con el fin de mejorar la respuesta de los sensores, ofreciendo mejores características eléctricas para la carga demandada.

7.1.4. Procesamiento

Para el procesamiento de las señales y controlador maestro del transceptor utilicé un microcontrolador de tipo *Arm Cortex M0+*, el cual posee un tamaño muy reducido y alta eficiencia energética.

7.1.4.1. Microcontrolador

El microcontrolador seleccionado cuenta con un controlador CAN interno. Para el funcionamiento del microcontrolador añadí un cristal de cuarzo como oscilador externo, resistencias de Pull-UP para las señales provenientes de los sensores, un conector para programación y depuración (UART/JTAG) con sus respectivas resistencias de Pull-Up y Pull-Down. Y dos LEDs conectados a puertos de entrada/salida de propósito general.

7.1.5. Comunicación

Para la comunicación, entre el bus del protocolo CAN y el microcontrolador, utilicé un transceptor externo.

7.1.5.1. Transceptor

El transceptor seleccionado se comunica con el controlador CAN del microcontrolador a través de señales digitales (CAN_Rx , CAN_Tx) y conecta al bus de CAN mediante señales diferenciales (CAN_H , CAN_L). Usar este tipo de transceptor también agrega inmunidad al ruido y mejora la calidad de comunicación, con la posibilidad de comunicar a distancias y velocidades mayores.

A la salida de las señales diferenciales añadí resistencias de terminación para el bus del protocolo CAN.

Finalmente añadí un conector RJ45, para conectar el cable que transmite y recibe los mensajes del protocolo CAN y suministra la alimentación del Encoder Mejorado.

7.2. Diseño de la placa de circuito impreso

Con los componentes seleccionados realicé dos versiones de la placa de circuito impreso del Encoder Mejorado, la primera como prototipo de pruebas y funcionamiento y la segunda con mejoras de diseño para manufactura y diseño para pruebas.

7.2.1. Primera versión del PCB del Encoder Mejorado

Para la interconexión y orientación de los componentes apliqué reglas, guías y recomendaciones para el diseño de PCB, además seguí los lineamientos particulares con cada componente descrito en su hoja de datos.

7.2.1.1. Apilamiento

Realicé el diseño en dos capas, ambas capas fueron de señales y contenían planos de tierra, los planos y señales estaban interconectados a través de vías metalizadas.

7.2.1.2. Empaquetados

Todos los componentes seleccionados tienen empaquetado de montaje superficial, únicamente los sensores de herradura y el conector RJ45 tienen empaquetado

thru-hole. Para los puertos de programación y depuración añadí PADS thru-hole con el fin de poder soldar terminales macho y/o hembra según fuera requerido.

7.2.1.3. Forma

Las dimensiones, cortes y forma del PCB los implementé de acuerdo con los requerimientos mecánicos acordados.

La PCB se realizó en una placa rígida de material laminado de epoxi reforzado con fibra de vidrio conocida como *FR-4*, PADS recubiertos de oro, máscara anti-soldante y serigrafía con el designador de cada componente, el nombre y número de proyecto.

7.2.2. Segunda versión del PCB del Encoder Mejorado

Para la segunda versión hubo una reestructuración parcial del primer diseño de PCB, cambiando orientación y posición de los componentes y añadiendo mejoras de diseño.

Añadí LEDs indicadores a la fuente de alimentación de $3.3[V_{dc}]$ y a 2 puertos de propósito general del microcontrolador, así como algunos componentes pasivos extra.

7.2.2.1. Cambio de apilamiento

Seguí utilizando dos capas, esta vez utilicé una capa para señales y polígonos de poder locales y la segunda como plano de tierra.

7.2.2.2. Diseño para manufactura

Con base en documentación interna de la empresa, repositioné componentes y cambié la forma de la PCB a una figura más geométrica, como resultado pude panelizar la PCB, agregando 5 prototipos por placa.

7.2.2.3. Diseño para pruebas

Añadí puntos de prueba a los nodos de más interés del circuito como alimentación, comunicación microcontrolador-transceptor, señales de los sensores

de herradura y mensajes de protocolo de comunicación CAN. Con el fin de medir y registrar el contenido de cada nodo y poder identificar fallas o registrar su correcto funcionamiento.

7.2.2.4. Norma IPC-610

Fui capacitado con un curso sobre la norma IPC-610, la cual está enfocada en “Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos”. Con base en los criterios de calidad descritos en el IPC-610 me aseguré que el ensamble y soldado de los componentes fuera el adecuado, evitando excesos o ineficiencias de soldadura, soldadura fría, fracturas o circuitos cortos.

Capítulo 8

Conclusiones y Trabajo Futuro

8.1. Conclusiones

El proyecto surgió ante la necesidad de reestructurar los productos que actualmente se producen en la empresa, para lograrlo tuve que documentarme y comprender el funcionamiento de los sistemas que actualmente se usan y, aún más importante, las nuevas tecnologías que están implementando.

Sin duda alguna fue todo un reto realizar este proyecto, no solo tuve que aplicar los conocimientos y habilidades que adquirí durante mi formación académica, sino que tuve que aprender y dominar nuevas metodologías de trabajo, softwares de diseño y procesos industriales.

Los resultados obtenidos lograron cumplir los objetivos del proyecto, gracias a la dedicación que puse durante todo su desarrollo, leyendo manuales, proponiendo ideas, profundizando en hojas de datos de componentes electrónicos, ensamblando prototipos, realizando pruebas y reestructurando el diseño las veces necesarias para llegar al mejor resultado posible. Es realmente gratificante ver en funcionamiento un proyecto que estuve diseñando durante meses y que también lleva el trasfondo de la formación académica que me brindó mi Facultad.

De igual manera el proyecto nos muestra la tendencia de un *Futuro Modular*, que cada día es más una realidad, donde sistemas completos son divididos en pequeños dispositivos inteligentes con la posibilidad de poder ser mejorados de forma individual, sin la necesidad de rediseñar el sistema completo, y funcionar como accesorios fácilmente intercambiables.

8.2. Trabajos futuros

Para futuras etapas del proyecto quedan varias áreas de oportunidad por cubrir, por ejemplo:

- Reducir el costo de producción.
- Implementar mejoras en el diseño para manufactura y el diseño para pruebas.
- Someter el prototipo a pruebas de sobre-tensión transitoria y descarga electrostática.
- Certificar el prototipo en compañías especializadas.
- Trabajar en el programa del microcontrolador.

Esto llevará un tiempo en realizarse, sin embargo es fundamental hacerlo para garantizar la calidad del producto.

Bibliografía

- [1] Andrés, I. A. (2019). Control de posición de un carro. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTfx8vm5phmtu_bpz2faXLYbz__C6Xp3fev5RlnuRiKe8X5LKEc. [Online; visitado el 11-02-2019]. VI, 7
- [2] AtlassianAgile (2019). What is a kanban board? <https://www.atlassian.com/agile/kanban/boards>. [Online; visitado el 31-03-2019].
- [3] AtlassianSupport (2019). Ejemplo de tablero Kanban. <https://confluence.atlassian.com/jirasoftwareserver073/files/861254594/861254607/1/1481430734014/Kanban+board+TIS.png>. [Online; visitado el 31-03-2019]. VI, 26
- [4] CSSElectronics (2019). Estructura de un mensaje CAN. <https://canlogger1000.csselectronics.com/img/CAN-Bus-Dummies-Simple-Message-Overview-SOF-RTR-CRC-ACK.png>. [Online; visitado el 31-03-2019]. VI, 11
- [5] DeMaquinasyHerramientas (2019). ¿Qué es un encoder, cuáles son sus tipos y para qué sirven? <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/encoder-tipos>. [Online; visitado el 07-02-2019].
- [6] ElectronicosCaldas (2019). Optoacoplador, símbolo y patigrama. https://www.electronicoscaldas.com/371-thickbox_default/optoacoplador-ltv-817.jpg. [Online; visitado el 07-02-2019]. VI, 6
- [7] Electronics360 (2019). Filtro de supresión de ruido en el bus de CAN. <https://electronics360.globalspec.com/images/assets/877/11877/ITG4.png>. [Online; visitado el 06-05-2019]. VI, 29
- [8] ElectrosoftIngeniería (2019). Conceptos y terminología utilizada en circuitos impresos (PCB). <http://www.pcb.electrosoft.com>.

- [cl/04-articulos-circuitos-impresos-desarrollo-sistemas/01-conceptos-circuitos-impresos/conceptos-circuitos-impresos-pcb.html](#). [Online; visitado el 31-03-2019].
- [9] EncoderProductsCompany (2019). Encoder basics. <http://encoder.com/blog/encoder-basics/que-es-un-encoder/>. [Online; visitado el 07-02-2019].
- [10] IngenieríaMecafenix (2019). Estructura de encoder óptico. <https://i0.wp.com/www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2017/04/partes-encoder.jpg>. [Online; visitado el 07-02-2019]. VI, 7
- [11] NationalInstruments (2019a). Esquema del protocolo CAN. <http://www.ni.com/cms/images/devzone/tut/c/bd378304156.gif>. [Online; visitado el 11-02-2019]. VI, 8
- [12] NationalInstruments (2019b). Introducción a CAN. <http://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/06/controller-area-network--can--overview.html>. [Online; visitado el 31-03-2019].
- [13] PCBWay (2019). PCB silkscreen. https://www.pcbway.com/pcb-prototype/PCB_Silkscreen.html. [Online; visitado el 31-03-2019].
- [14] Phidgets (2019). Discos codificados. https://www.phidgets.com/docs/images/b/b1/Absolute_vs_incremental.jpg. [Online; visitado el 07-02-2019]. VI, 7
- [15] PicoTechnology (2019). Señales diferenciales de CAN. https://www.picotech.com/images/uploads/library/topics/_med/can-voltage-levels.jpg. [Online; visitado el 31-03-2019]. VI, 10
- [16] Requena, A. M. (2019). Introducción a CAN bus: descripción, ejemplos y aplicaciones de tiempo real. http://oa.upm.es/48054/8/TFM_ADRIAN_MARTINEZ_REQUENA.pdf. [Online; visitado el 31-03-2019].
- [17] Rodeo, I. (2019). Ejemplo de una placa de circuito impreso. https://cdn.shopify.com/s/files/1/1091/6464/products/pcb_v1p3_1024x1024.JPG?v=1450230338. [Online; visitado el 31-03-2019]. VI, 13
- [18] Rosaleny, R. T. (2019). Encoders ópticos. http://www.infopl.net/files/documentacion/instrumentacion_deteccion/infoPLC_net_ENCODERS_OPTICOS.pdf. [Online; visitado el 07-02-2019].

- [19] Schenkelberg, F. (2019). What is design for excellence? <https://www.qualitydigest.com/inside/lean-column/060716-what-design-excellence.html#>. [Online; visitado el 31-03-2019].
- [20] STMicroelectronics (2019). Funcionamiento de filtro de supresión de ruido. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/d2/4d/6f/9d/bc/80/4d/97/DM00119609.pdf/files/DM00119609.pdf/jcr:content/translations/en.DM00119609.pdf. [Online; visitado el 06-05-2019]. VI, 29
- [21] UnitedWesternEnterprices (2019). Ejemplos de discos de encoder. https://www.uweinc.com/images/Large_encoder-wheels.jpg. [Online; visitado el 07-02-2019]. VI, 6
- [22] UnitedWesternEnterprises (2019). Encoder disks. <https://www.uweinc.com/encoders.html>. [Online; visitado el 07-02-2019].
- [23] VectorE-Learning (2019). Partes de un bus de CAN. https://elearning.vector.com/pluginfile.php/509/mod_page/content/6/CAN_2.3_GRA_CANNetwork2_EN.png. [Online; visitado el 31-03-2019]. VI, 10