



R E P Ú B L I C A D E L E C U A D O R

Escuela Politécnica Nacional

"E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL” bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE VISUALIZACIÓN PARA
EL MONITOREO DE PARÁMETROS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO (EVEO)**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

DIEGO ALEXANDER HARO SANDOVAL

diegoharo4@hotmail.com

OSWALDO ANÍBAL NARANJO ESTRADA

waldonaranjo@hotmail.com

DIRECTOR: NELSON SOTOMAYOR, MSc

nelson.sotomayor@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. KAREL ESPINOZA

gerencia@ide.com.ec

Quito, Octubre 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Diego Alexander Haro Sandoval y Oswaldo Aníbal Naranjo Estrada, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Alexander Haro Sandoval

CI: 1804441804

Oswaldo Aníbal Naranjo Estrada

CI: 1722061544

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Alexander Haro Sandoval y Oswaldo Aníbal Naranjo Estrada, bajo nuestra supervisión.

Nelson Sotomayor, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Karel Espinoza

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haber iluminado mi camino a lo largo de toda mi vida, por darme el aliento diario que me ha ayudado y me ha dado fortaleza para seguir adelante.

A mi tía Amparo Sandoval y toda su familia, por haberme abierto las puertas de su hogar desde el primer día que inicie mi vida universitaria, por todas sus atenciones y ayudas brindadas hasta el momento de culminación de mi carrera.

A mis tíos Marco, Mario, Álvaro y Aníbal que desde mi niñez siempre han tenido consideraciones para conmigo.

A Oswaldo, mi compañero de tesis, por toda la responsabilidad y la constancia prestada durante el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Karel Espinoza y al Ing. Fernando Pachacama, por las enseñanzas otorgadas en la empresa I&DE y por todas las ayudas brindadas para que este proyecto de titulación se haga realidad.

Al Ing. Nelson Sotomayor por los conocimientos impartidos como profesor de la Escuela Politécnica Nacional y por la dirección de este proyecto.

A mis amigos Nelson, Lady, Oswaldo, Marco, Byron, Javier por hacer de la universidad un lugar lleno de momentos alegres y de anécdotas que siempre permanecerán en mi mente.

A handwritten signature in cursive script, reading "Diego".

DEDICATORIA

A mi madre Rocío Sandoval, por todo el enorme sacrificio que ha realizado durante toda mi vida, por su paciencia y por sus sabios consejos que me han ayudado a escoger el camino correcto.

A mi padre Oswaldo Haro, por todo el esfuerzo que ha realizado para que llegue este momento, por el valor de la responsabilidad que me ha inculcado desde siempre.

A mi hermano Fabricio, porque desde los cielos me bendice y me guía.

A handwritten signature in cursive script, reading "Diego".

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Jehová por haber permitido mi existencia y cuidarme; a mis padres Arturo y Patricia por los sacrificios que realizan y todo el amor que dan a sus hijos; a Karel, Fernando y Cecilia por abrirme las puertas y por el apoyo que siempre me han brindado, a mi compañero de tesis Diego por las incontables horas de sacrificio y dedicación; a la Escuela Politécnica Nacional y a sus profesores por las enseñanzas impartidas necesarias para alcanzar esta meta, en especial al Ing. Nelson Sotomayor por la dirección del proyecto; a mi novia Andrea por ser mi voz de aliento en muchas ocasiones; a mis amigos: Nelson, Lady, Marco, Javier, Diego por el apoyo y los momentos de alegría que hemos vivido.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Oswaldo".

DEDICATORIA

A mi madre, cuyo apoyo ha sido un puntal muy importante a través de toda mi vida.

A mis hermanos Andrés y Stephanie, que ustedes también alcancen sus metas.

Oswaldo

CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 TABLERO DE INSTRUMENTOS EN LOS VEHÍCULOS	2
1.4 MICRO-AIR CORE	4
1.4.1 CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.....	4
1.5 DISPOSITIVOS DE VISUALIZACIÓN.....	5
1.5.1 PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO	5
1.5.2 PANTALLAS DE DIODOS EMISORES DE LUZ ORGÁNICOS.....	7
1.6 PANELES TÁCTILES.....	9
1.6.1 PANELES TÁCTILES RESISTIVOS DE 4 HILOS	10
1.7 LA FAMILIA AVR.....	12
1.7.1 HISTORIA Y CARACTERÍSTICAS	12
1.7.2 MICROCONTROLADOR AT32UC3C2512C	13
1.7.3 MICROCONTROLADOR ATMEGA16M1	14
1.8 CONTROL AREA NETWORK (CAN).....	14
1.8.1 DESCRIPCIÓN	15
1.8.2 TRAMAS	16
1.8.3 CAN EN VEHÍCULOS	18
CAPÍTULO 2.....	20
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	20
2.1 INTRODUCCIÓN	20
2.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA	20
2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL	21
2.2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS.....	22
2.2.3 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN.....	23
2.2.4 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA.....	24
2.3 DISEÑO DEL MÓDULO PRINCIPAL	24
2.3.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO	24
2.3.2 CONEXIÓN CON EL MÓDULO GLCD.....	28
2.3.3 CONEXIÓN CON LOS DISPOSITIVOS I2C.....	34
2.3.4 CONEXIÓN CON LA TARJETA SD	37

2.3.5 CONEXIÓN CON EL TRANSCEIVER L9616D	40
2.4 DISEÑO DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS	41
2.4.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO	41
2.4.2 CONEXIÓN CON EL MÓDULO OLED	44
2.4.3 CONEXIÓN CON EL CONTROLADOR CS4122.....	46
2.4.4 CONEXIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	48
2.4.5 CONEXIÓN CON EL TRANSCEIVER L9616D	49
2.4.6 CONEXIÓN CON EL SENSOR DE EFECTO HALL.....	50
2.4.7 MÁSCARA DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS.....	52
2.4.8 SISTEMA PARA LA UBICACIÓN DEL SENSOR DE EFECTO HALL	54
2.5 DISEÑO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN	56
2.5.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO	56
2.5.2 CIRCUITO DE MULTIPLEXADO	58
2.5.3 MEDICIONES EN EL BANCO DE BATERÍAS	59
2.5.4 MEDICIONES EN EL CONVERSOR DC/DC	67
2.5.5 MEDICIONES EN EL INVERSOR TRIFÁSICO	69
2.5.6 MEDICIONES EN EL MOTOR	71
2.6 DISEÑO DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA.....	72
2.6.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO	72
2.6.2 CONEXIÓN CON EL DISPLAY VFD	73
CAPÍTULO 3.....	76
DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL.....	76
3.1 ATTEL STUDIO 6.....	76
3.1.1 CREACIÓN DE NUEVOS PROYECTOS	76
3.1.2 ATTEL SOFTWARE FRAMEWORK (ASF)	80
3.1.3 INCLUSIÓN DE MÓDULOS ASF	83
3.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	85
3.2.1 PROGRAMA DEL MÓDULO PRINCIPAL	85
3.2.2 PROGRAMA DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS.....	104
3.2.3 PROGRAMA DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN.....	113
3.2.4 PROGRAMA DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA.....	115
CAPÍTULO 4.....	117
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	117
4.1 SISTEMA FINAL CONSTRUIDO	117

4.2	SOFTWARE PARA VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	119
4.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	119
4.3.1	MEDICIÓN DEL VOLTAJE DEL BANCO DE BATERÍAS	119
4.3.2	MEDICIÓN DE LA CORRIENTE SUMINISTRADA POR EL BANCO DE BATERÍAS	123
4.3.3	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL BANCO DE BATERÍAS	127
4.3.4	MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE SALIDA DEL MÓDULO ELEVADOR	127
4.3.5	MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA DEL MÓDULO ELEVADOR	128
4.3.6	MEDICIÓN DE PEDALES	130
4.3.7	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR	130
4.3.8	MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR.....	131
4.3.9	MEDICIÓN DEL ESTADO DE CARGA DE LAS BATERÍAS	132
4.3.10	MEDICIÓN DEL ESTADO DE LOS FUSIBLES.....	134
4.3.11	MEDICIÓN DEL ESTADO DEL CONTACTOR PRINCIPAL	134
4.4	PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE ALARMAS	135
4.5	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI DISEÑADO EN EL GLCD MONOCROMÁTICO	136
4.6	COSTOS DEL PROYECTO	138
CAPÍTULO 5.....		143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		143
5.1	CONCLUSIONES.....	143
5.2	RECOMENDACIONES	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		146

RESUMEN

Debido al inadecuado sistema de visualización con que cuenta el vehículo eléctrico EVEO, el presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un nuevo sistema de visualización que sustituya al actual mediante el uso de tecnología moderna, de tal manera que mejore su funcionalidad y estética.

Se realiza el diseño de cuatro módulos interconectados entre sí mediante la tecnología de bus CAN establecida como un estándar automotriz. Cada módulo realiza tareas específicas como son el acondicionamiento de señales, adquisición de parámetros, manejo de la HMI en un GLCD con panel táctil resistivo y manejo de los indicadores analógicos y digitales similares a los incorporados en los vehículos comerciales.

Algunos de los parámetros adquiridos pueden ser almacenados en una memoria SD extraíble para que puedan ser monitoreados en un computador mediante un software dedicado, con ello se determina el comportamiento de los sistemas que conforman el vehículo.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación se encuentra desarrollado en cinco capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo 1, se mencionan las tecnologías utilizadas por los fabricantes automotrices para el diseño de los tableros de instrumentos de los vehículos; se describe el funcionamiento de los principales dispositivos utilizados en el sistema y finalmente se hace un estudio del protocolo de comunicaciones CAN.

Luego en el Capítulo 2, se divide al sistema en cuatro módulos interconectados entre sí mediante un Bus CAN y se diseña los circuitos correspondientes a cada módulo. Adicionalmente se construye un mecanismo que permita efectuar la medición de la velocidad del vehículo mediante el uso de un sensor de efecto Hall.

En el Capítulo 3, se describe la manera de uso del paquete informático Atmel Studio 6 y de su módulo Atmel Software Framework, luego se desarrollan los programas de control para cada uno de los módulos definidos en el Capítulo 2.

A continuación, en el Capítulo 4, se detalla la medición de cada uno de los parámetros obtenidos mediante el sistema y se describen las pruebas realizadas para verificar su correcto funcionamiento.

Finalmente, las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del sistema de visualización para el monitoreo de parámetros del vehículo eléctrico EVEO, son descritas en el Capítulo 5 donde, además se dan algunas recomendaciones que se pueden tomar en cuenta para futuras mejoras del sistema.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

Cualquier persona que haya conducido un vehículo puede notar la importancia de una buena visualización de los parámetros del automotor, lo útiles que le resultan para alertar niveles críticos en baterías, aire, presión, combustible, etc., además ayudan para confirmar luces, puertas, cinturón de seguridad, entre otros.

En el caso de un vehículo eléctrico la importancia del sistema de visualización no se debe menospreciar ya que inclusive existen más variables que necesitan ser supervisadas para la detección de posibles anomalías y prevención de problemas en el momento de conducir.

1.2 ANTECEDENTES

El vehículo eléctrico (EVEO) es el resultado de la adaptación de varios sistemas electrónicos y mecánicos realizados sobre la carrocería de una camioneta *Austin Mini*.

Su funcionamiento básico comprende la interconexión de un circuito elevador encargado de subir el voltaje de 120 voltios provenientes de 10 baterías de plomo conectadas en serie, hasta 311 voltios para alimentar un circuito inversor, con el que se consigue obtener una señal trifásica variable en voltaje y frecuencia para controlar la velocidad de un motor jaula de ardilla, mismo que fue acoplado a la transmisión original del automóvil mediante una banda y demás partes mecánicas; para determinar el accionamiento de los pedales existe un acondicionamiento en voltaje que permite conocer la posición de los mismos. Está incorporado además un módulo cargador para el banco de baterías que funciona simplemente conectándolo a una toma de 120 VAC.

Existe un hecho relevante en la realización del vehículo, y es que cada proyecto se desarrolló de manera independiente, obviamente buscando el funcionamiento en conjunto pero realizando sus propios acondicionamientos y sistemas de visualización, motivo por el cual no se tenía un sistema centralizado en el que se pueda visualizar cualquier parámetro de cada módulo.

Además los parámetros visibles en el tablero de instrumentos resultan útiles únicamente para los diseñadores y no para cualquier conductor, puesto que éste necesita conocer únicamente de manera porcentual el nivel de carga, la velocidad del vehículo y señales de alarma; parámetros netamente necesarios al momento de conducir el vehículo.

Conociendo esta necesidad se decide desarrollar en este proyecto de titulación un módulo de visualización que centralice la mayoría de parámetros del vehículo con una interfaz moderna acorde a los sistemas tecnológicos actuales, además de la construcción e instalación de un tablero de instrumentos similar al de los vehículos comerciales.

1.3 TABLERO DE INSTRUMENTOS EN LOS VEHÍCULOS [1]

Se conoce como tablero de instrumentos al conjunto de instrumentos e indicadores visuales que permiten al conductor monitorear constantemente los distintos parámetros del vehículo como: combustible restante, velocidad, revoluciones del motor, temperatura del refrigerante del motor, etc.

Además de los parámetros del vehículo, un tablero de instrumentos presenta funciones adicionales como: cuenta de travesía (Kilometraje), odómetro, luces de aviso agrupadas de una forma racional, entre otros.

El tablero de instrumentos para mantenerse actualizado se encuentra conectado al bus CAN del vehículo para tener un acceso rápido a toda la información proveniente de los diferentes sensores a través de la Unidad de Control Electrónico (ECU).



Figura 1.1 Tablero de Instrumentos de un vehículo, tomado de [29]

Como se puede observar en la Figura 1.1, los instrumentos pueden ser de tipo analógico, digital, o una combinación de ambos. Los de tipo analógico usualmente están construidos con actuadores rotativos o con motores paso a paso de alta resolución, generalmente son utilizados para mostrar parámetros como: revoluciones del motor, velocidad del vehículo, temperatura del refrigerante del motor, combustible restante, etc. En cambio los de tipo digital, construidos con pantallas de cristal líquido son utilizados para mostrar parámetros como: kilometraje del vehículo, odómetros, etc.

Dependiendo de los fabricantes de automóviles, estas tecnologías pueden ser usadas indistintamente, sin embargo la tendencia actual es usar microprocesadores de última generación para mostrar gráficos en pantallas LCD con el objetivo de crear un tablero con instrumentos virtuales de apariencia futurista, tal como se observa en la Figura 1.2.



Figura 1.2. Tendencia del tablero de instrumentos, tomado de [30]

Considerando los diferentes tipos de tecnologías involucradas en el tablero de instrumentos según lo mencionado anteriormente, a continuación se describe el funcionamiento del indicador analógico Micro-Air Core y de los indicadores digitales de tecnología LCD y OLED por ser los que se utilizan en el desarrollo de este proyecto de titulación.

1.4 MICRO-AIR CORE

Un MAC (Micro-Air Core) llamado así por sus siglas en inglés es un medidor de precisión de movimiento rotativo desarrollado y patentado para indicadores analógicos automotrices y de marina [2].

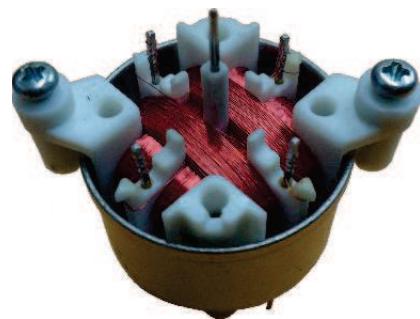


Figura 1.3. Air-Core Movement

1.4.1 CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

Este dispositivo está compuesto por dos devanados con una orientación de 90° uno respecto del otro y un rotor de imán permanente con un eje de acero inoxidable tal como se muestra en la Figura 1.4 [3].

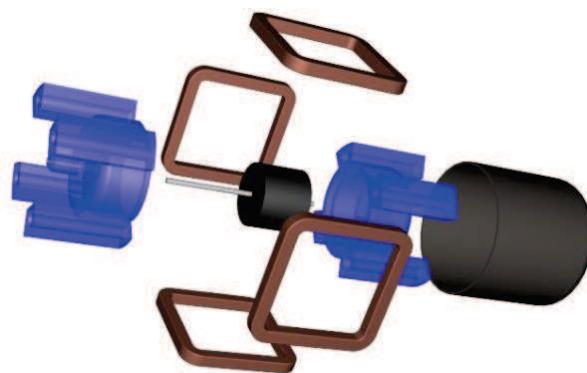


Figura 1.4 Estructura de un MAC, tomado de [3]

El rotor va montado sobre una carcasa plástica de dos piezas con bajo coeficiente de fricción que además soportan los devanados. Cada devanado está dividido en dos partes iguales arrolladas simétricamente respecto al eje.

Un MAC típico tiene cuatro terminales, dos por cada devanado. Los devanados son identificados como seno y coseno. Cuando la corriente fluye a través de los devanados, se genera un campo magnético resultante con el cual se alinea el rotor. Mediante la variación de la corriente se puede cambiar la dirección del campo, y por tanto la orientación del rotor y del puntero sobre su eje.

La dirección θ del campo magnético resultante se puede calcular aproximadamente con la *ecuación 1.1* [4].

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (1.1)$$

Donde x e y son las corrientes de los devanados coseno y seno respectivamente.

1.5 DISPOSITIVOS DE VISUALIZACIÓN

1.5.1 PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO [5]

Las Pantallas de Cristal Líquido comúnmente llamadas LCD (Liquid Crystal Display) por sus siglas en inglés, son en la actualidad ampliamente usadas en la mayoría de equipos electrónicos debido a su bajo consumo de energía en relación a tecnologías anteriores basadas en tubos de rayos catódicos.

1.5.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UN LCD MONOCROMÁTICO

Una LCD típicamente consiste de una fina capa de moléculas de cristal líquido alineadas entre dos electrodos transparentes, y dos filtros de polarización con los ejes directores o ejes de transmisión de luz perpendiculares entre sí. Sin el cristal líquido entre los filtros, la luz que atraviesa el primer filtro sería bloqueada por el segundo.

Las superficies de los electrodos tienen caminos o surcos para orientar a las moléculas de cristal líquido en una dirección particular, de manera que antes de la aplicación de un campo eléctrico, la orientación de las moléculas está determinada por las superficies.

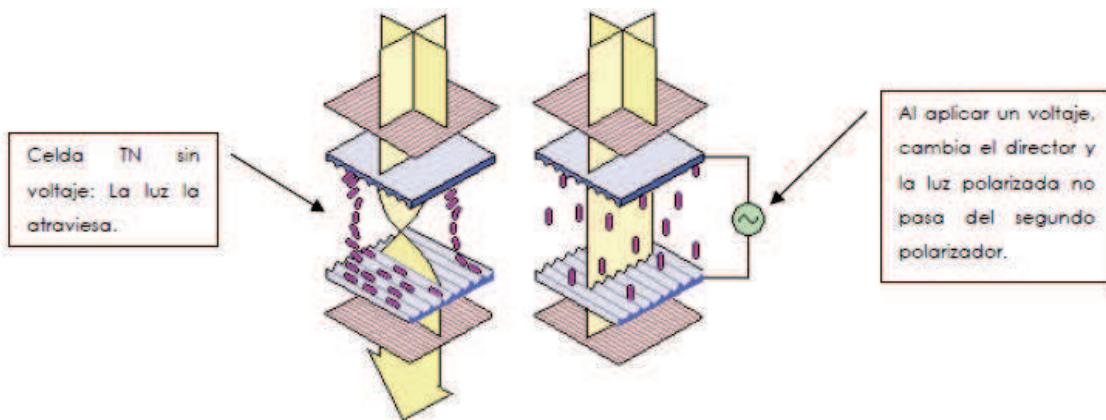


Figura 1.5 Estructura de un dispositivo TN, tomado de [6]

En un dispositivo TN (Twisted Nematic – Arquitectura de LCD más común) como el de la Figura 1.5, las direcciones de alineación de la superficie de los electrodos son perpendiculares entre sí y las moléculas se alinean en forma helicoidal retorcida; la luz que atraviesa el primer filtro gira a través de la capa de cristal líquido hasta orientarse en la dirección del segundo filtro con lo cual logra atravesarlo. La mitad de luz incidente es absorbida por el primer filtro.

Cuando se aplica un voltaje a través de los electrodos, una fuerza reorienta a las moléculas en sentido del campo eléctrico que distorsiona la estructura helicoidal; esto reduce la rotación de la luz incidente y el dispositivo aparece gris. Si el voltaje aplicado es suficientemente grande, las moléculas de cristal líquido sufrirán un reordenamiento de tal manera que la luz polarizada proveniente del primer filtro quede intacta para que sea bloqueada por el segundo filtro y el dispositivo aparezca negro.

Controlando el voltaje aplicado a través de la capa de cristal líquido en cada pixel o segmento, se puede permitir a la luz pasar en distintas cantidades logrando con esto constituir diferentes tonos de gris.

1.5.2 PANTALLAS DE DIODOS EMISORES DE LUZ ORGÁNICOS

El Diodo Emisor de Luz Orgánico conocido también como OLED (Organic Light Emitting Diode) por sus siglas en inglés, se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan ante una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos [7].

1.5.2.1 Estructura básica [8]

Al igual que un LED, un OLED es un semiconductor de estado sólido que tiene un espesor entre 100 y 500 nanómetros (200 veces más pequeño que el grosor de un cabello humano). Los OLED pueden tener dos o tres capas de material orgánico dependiendo del diseño; en el caso de tener tres capas, la tercera ayuda a transportar los electrones desde el cátodo hacia la capa de emisión.

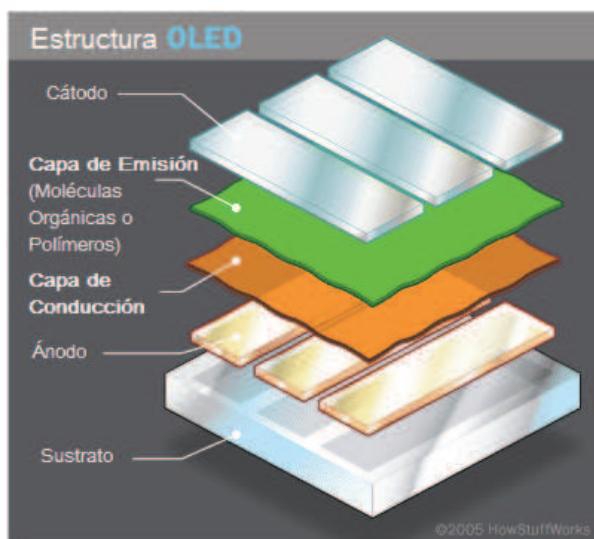


Figura 1.6 Estructura de un OLED, tomado de [8]

Un OLED tiene las siguientes partes:

- *Sustrato*: Es la parte que contiene a las capas que forman el OLED y su material puede ser de vidrio, plástico transparente o polímero flexible.
- *Ánodo*: Es una capa transparente que se encarga de remover los electrones cuando la corriente fluye.
- *Capa de Conducción*: Esta capa está hecha de moléculas orgánicas de plástico que transporta los “huecos” desde el ánodo.

- *Capa de Emisión:* Esta capa está hecha con moléculas orgánicas de plástico (diferentes a las usadas en la capa de conducción) que transporta los electrones desde el cátodo; aquí es donde se originan los fotones que producen la luz.
- *Cátodo:* Esta es la capa donde se inyectan los electrones cuando la corriente fluye a través del dispositivo y su material puede ser o no transparente dependiendo del tipo de OLED.

1.5.2.2 Funcionamiento [9]

Los OLED emiten luz de una manera muy similar a los LED, a través de un proceso llamado electrofotoforescencia que se describe a continuación:

- 1) El proceso inicia cuando se aplica una fuente de voltaje al dispositivo OLED.
- 2) Una corriente fluye desde el cátodo hacia el ánodo a través de las capas orgánicas. El cátodo cede electrones a la capa de emisión y el ánodo remueve los electrones desde la capa de conducción. (Esto es equivalente a ceder huecos de electrones a la capa de conducción).
- 3) En el límite entre la capa de emisión y la de conducción, se encuentran los huecos de electrones. Cuando un electrón encuentra un hueco y lo llena, es decir el electrón cae en un nivel de energía donde falta un electrón, este emite energía en forma de un fotón de luz.

El color de la luz depende del tipo de molécula orgánica utilizada para formar la capa de emisión.

La intensidad o brillo de la luz depende de la cantidad de corriente eléctrica que sea aplicada. Mientras más corriente más brillante es la luz. La Figura 1.7 ilustra el funcionamiento de un OLED.

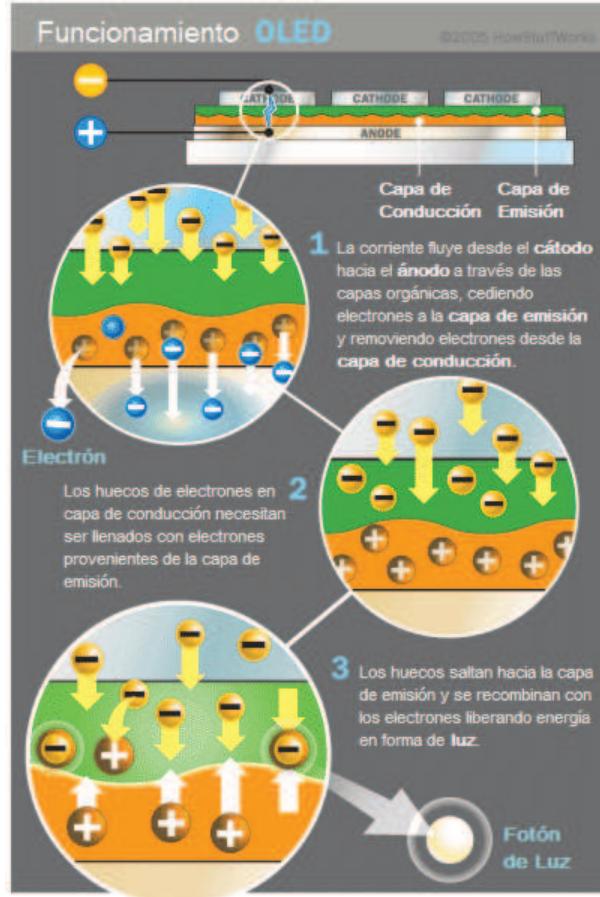


Figura 1.7 Funcionamiento de un OLED, tomado de [9]

1.6 PANELES TÁCTILES

Un panel táctil es un dispositivo que permite la entrada de datos a otros dispositivos electrónicos mediante un toque directo sobre su superficie, trabaja siempre de manera conjunta con una pantalla gráfica que permite la salida de los datos, actuando de esta manera como una realimentación de tipo visual.

Se cuenta con una amplia gama de tecnologías de paneles táctiles que presentan diferentes características de funcionamiento:

- Resistivas
- Capacitivas
- Infrarrojas
- Onda acústica
- Galgas extensométricas

- Imagen óptica
- Señal dispersa
- Reconocimiento de pulsos acústicos

Los paneles táctiles resistivos y capacitivos son los más utilizados en la actualidad. Sin embargo a continuación se explica el funcionamiento del panel táctil resistivo de 4 hilos por ser el más sencillo y principalmente porque es el que se usa en el desarrollo de este proyecto.

1.6.1 PANELES TÁCTILES RESISTIVOS DE 4 HILOS [10]

1.6.1.1 Estructura

Por lo general un panel táctil resistivo está compuesto de al menos tres capas: una membrana flexible de Polietileno (PET) suspendida sobre un sustrato rígido de vidrio o acrílico. Ambas superficies están recubiertas con una película conductiva transparente de Oxido de Indio y Estaño (ITO). Las capas conductoras de ITO se mantienen separadas por espaciadores invisibles a lo largo de los bordes y en puntos de la superficie interna de las dos caras de ITO. De esta manera no existe una conexión eléctrica a menos que se aplique presión sobre la lámina superior (lámina PET).

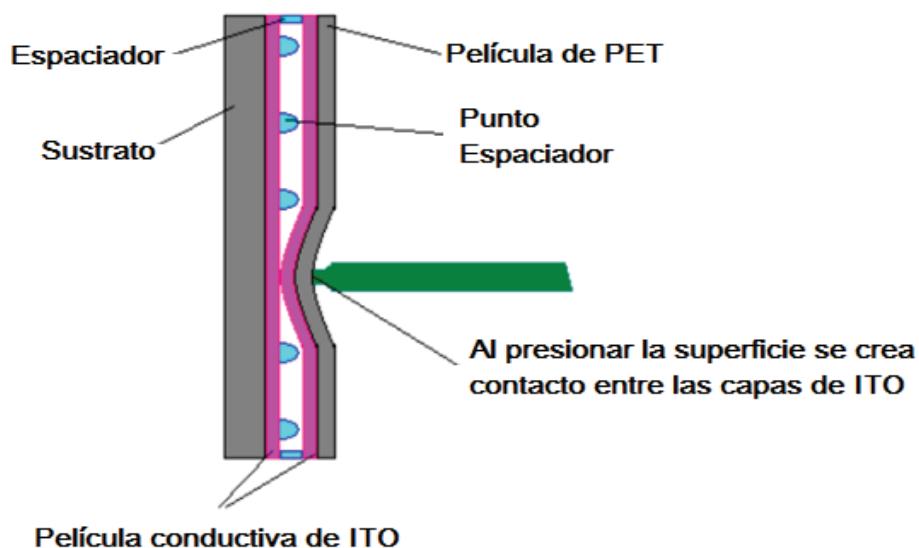


Figura 1.8 Estructura de un panel táctil resistivo, tomado de [10]

Los paneles táctiles de 4 hilos, usan un único par de electrodos en forma de barras montados sobre cada capa de ITO. Los electrodos en la lámina superior y en el sustrato son perpendiculares entre sí, además para poderlos conectar a un controlador, estos se encuentran disponibles externamente por medio de un cable flexible de 4 hilos. Los hilos se denominan X+ (izquierda), X- (derecha), Y+ (arriba) y Y- (abajo). En la Figura 1.9 se muestra los electrodos en un panel táctil de 4 hilos.

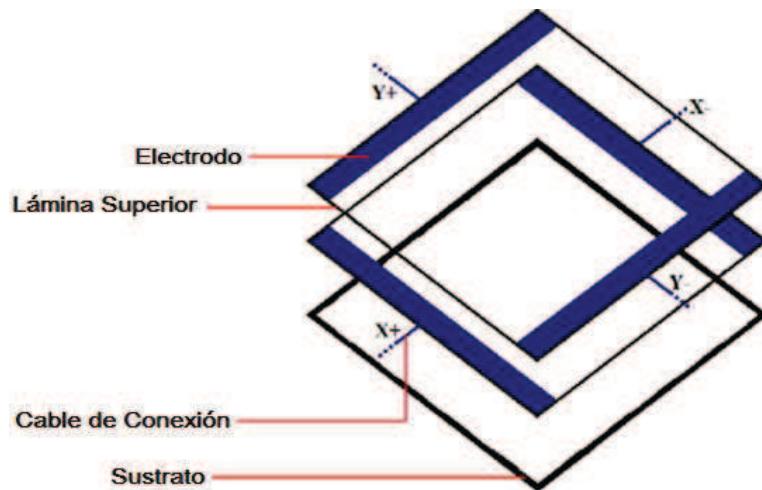


Figura 1.9 Electrodos en un panel táctil de 4 hilos, tomado de [10]

1.6.1.2 Excitación y Método de Medida

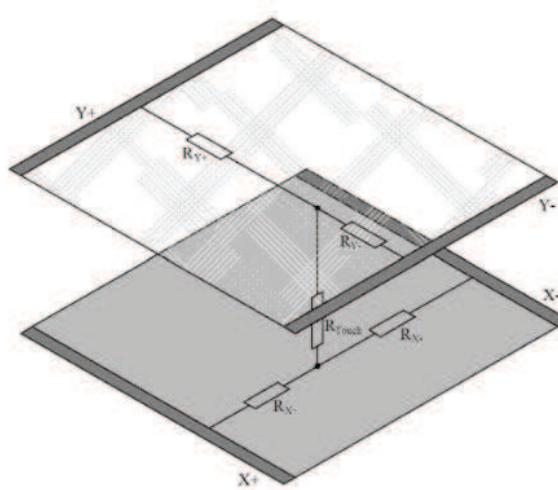


Figura 1.10 Circuito equivalente de un panel resistivo de 4 hilos, tomado de [10]

Tal como se puede apreciar en la Figura 1.10, el punto de contacto “divide” cada capa en dos resistencias en serie, y una resistencia de unión entre las dos capas.

Mediante una simple medición de voltaje el usuario puede obtener información acerca de la ubicación del punto.

Para obtener las coordenadas completas, el voltaje debe aplicarse primero en un sentido y luego en el otro, esto significa que el voltaje de alimentación debe ser aplicado a una capa para obtener la medida a través de la capa opuesta.

En la Tabla 1.1 se detalla cómo realizar las excitaciones para determinar las coordenadas del punto de contacto tanto en X como Y.

Tabla 1.1 Determinación de la coordenadas de un panel táctil, tomado de [10]

	X+Excite	X-Excite	Y+Excite	Y-Excite
Standby	Gnd	Hi-Z	Hi-Z	Pull up / Int
X-Coordinate	Gnd	Vcc	Hi-Z	Hi-Z / ADC
Y-Coordinate	Hi-Z	Hi-Z / ADC	Gnd	Vcc

Para determinar que un panel táctil en modo de espera entra en actividad, es recomendable que una de las líneas de medición genere una interrupción en el microcontrolador.

1.7 LA FAMILIA AVR

1.7.1 HISTORIA Y CARACTERÍSTICAS [11]

La arquitectura básica de los microcontroladores AVR es una modificación de la arquitectura Harvard RISC de 8 bits que fue desarrollada por dos estudiantes del NTH (Norwegian Institute of Technology), Alf-Egil Bogen and Vegard Wollan quienes en el año de 1996 fundaron la empresa Atmel. El AT90S8515 fue el primer microcontrolador basado en esta arquitectura, sin embargo el primero en salir al mercado fue el AT90S1200 en el año de 1997.

Los microcontroladores AVR están disponibles en tres familias:

- 1) *TinyAVR* - De baja memoria, tamaño pequeño por lo que resulta muy adecuado para aplicaciones simples.

- 2) *MegaAVR* - Son los más populares por tener una buena capacidad de memoria (hasta 256KB), alto número de periféricos incorporados, adecuados para aplicaciones que van desde moderadas hasta complejas.
- 3) *XmegaAVR* - Usados comercialmente para aplicaciones complejas que requieran grandes memorias de programas, alta velocidad y buen desempeño.

En el año 2006, Atmel lanza la primera implementación de la arquitectura AVR32 con el objetivo de extenderse a las aplicaciones de 32 y 64 bits. Esta implementación posee el núcleo AP7 que presenta importantes cualidades como [12]:

- Aceleración de hardware.
- Procesamiento digital de señales.
- Soporte para sistemas operativos.

Para el año 2007 aparece la segunda implementación de la arquitectura AVR32 con el núcleo UC3 el cual lleva la eficiencia hacia un nuevo nivel ya que brinda un alto rendimiento y bajo consumo de energía. El núcleo UC3 incluye una unidad de punto flotante (FPU) de alta precisión que mejora el rendimiento de la aritmética con números decimales [13].

1.7.2 MICROCONTROLADOR AT32UC3C2512C [13]

El AT32UC3C2512C es un microcontrolador de arquitectura AVR32 serie C que está diseñado para aplicaciones automotrices y control industrial, ya que incluye periféricos para comunicaciones de alta velocidad y control de motores. Esta serie ofrece una unidad de punto flotante (FPU) que permite incrementar el procesamiento de todas las aplicaciones matemáticas tales como el procesamiento digital de señales (DSP), adquisición de datos de sensores, procesamiento y reproducción audio. Sus principales características son:

- Unidad de Punto Flotante (FPU).
- Soporte Ethernet.
- Interfaces CAN y LIN dobles.

- Puerto USB con OTG (On-The-Go) que permite a impresoras o memorias USB conectarse directamente al procesador.
- Canales PWM con inserción de tiempos muertos.
- 16 canales ADC de 12 bits con doble circuito de retención y muestreo (sample-and-hold) para el muestreo simultáneo de 2 señales.
- 4 canales DAC de 12 bits de 1.5 Msps.
- Memoria de Programa de 512 KBytes.

1.7.3 MICROCONTROLADOR ATMEGA16M1 [14]

El ATmega16M1 es un microcontrolador CMOS de 8 bits de bajo consumo de energía basado en la arquitectura AVR RISC mejorada. La ejecución de instrucciones se efectúan en un simple ciclo de reloj, logra rendimientos que se acercan a 1 MIPS por MHz para permitir a los desarrolladores optimizar el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento.

Este microcontrolador además posee periféricos de comunicación CAN y LIN que lo hacen muy útil para aplicaciones de la industria automotriz. A continuación se muestran algunas de sus características:

- Alto rendimiento y bajo consumo de energía.
- Arquitectura RISC avanzada
- Memoria de Programa no volátil y Memoria de Datos de 16KB.
- Duración de 1000 ciclos de Escritura/Lectura de la EEPROM.
- CAN 2.0A/B.
- Controlador LIN 2.1
- Conversor ADC de 10 bits
- Conversor DAC de 10 bits
- Control de estaciones de potencia (PSC) de 12 bits de alta velocidad.

1.8 CONTROL AREA NETWORK (CAN)

CAN es un protocolo de comunicación desarrollado en la década de los ochentas por la compañía alemana BOSH para satisfacer las demandas de la Sociedad de Ingenieros Automotrices introduciendo un sistema de bus serial en los automóviles.

Hoy CAN es un protocolo abierto de alta seguridad utilizado también en aplicaciones industriales [15].

1.8.1 DESCRIPCIÓN

CAN es un sistema de bus serie como se ilustra en la Figura 1.11, con capacidades multi-maestro, es decir, todos los nodos son capaces de transmitir datos y solicitar el bus al mismo tiempo, tiene además capacidades de comunicación en tiempo real [9].

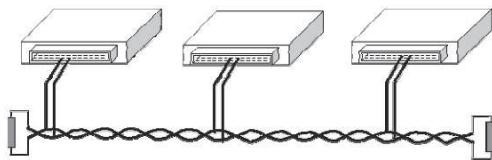


Figura 1.11 Módulos conectador en una red Bus CAN, tomado de [16]

La arquitectura del protocolo CAN, de acuerdo al modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), incluye tres capas: física, enlace de datos y aplicación, y además establece una capa especial para la gestión y control del nodo llamada capa de supervisor [17], dicha arquitectura se ilustra en la Figura 1.12.

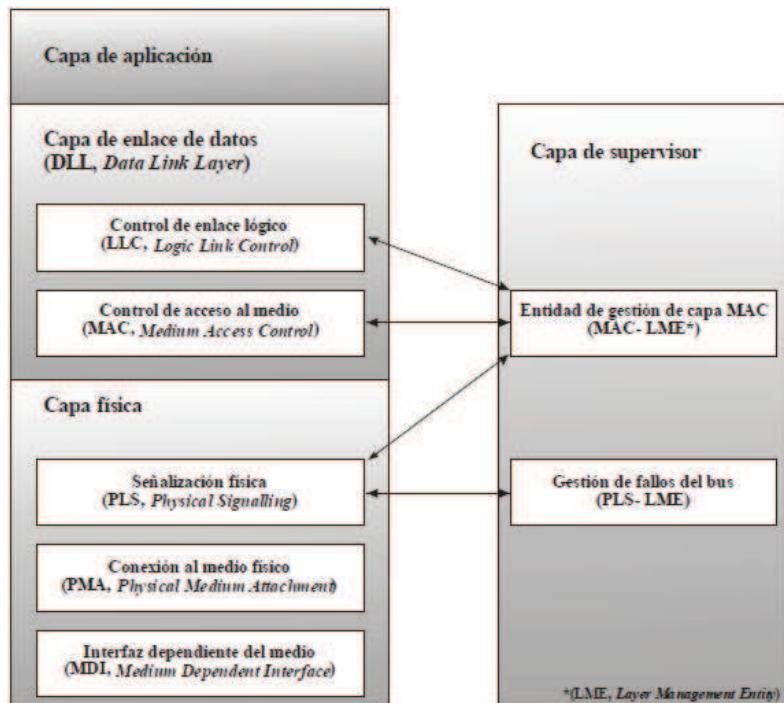


Figura 1.12 Arquitecturas de protocolo CAN, tomado de [17]

1.8.2 TRAMAS

Una trama CAN está codificada con el método NRZ (Non Return to Zero), el cual establece que durante todo el tiempo de bit se genera un nivel de señal que puede ser dominante (0) o recesivo (1).

Al transmitir una gran cantidad de bits con la misma polaridad, la codificación NRZ no proporciona flancos que puedan utilizarse en la sincronización y por ello se implementa el procedimiento de inserción de bit (bit-stuffing), el cual asegura que sólo puede haber un máximo de cinco bits consecutivos con la misma polaridad como se muestra en la Figura 1.13.

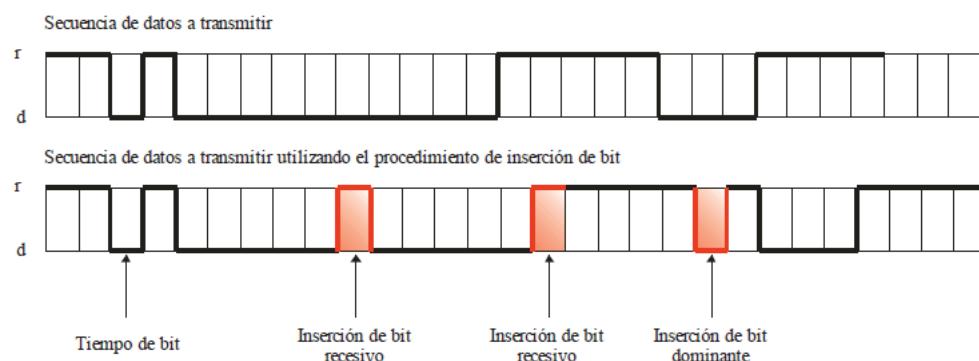


Figura 1.13 Ejemplo del procedimiento de inserción de bit, tomado de [17]

Las tramas CAN son de longitud reducida, la trama más larga es de 130 bits en CAN Estándar y 154 bits en CAN Extendido [15].

1.8.2.1 Formato de Tramas

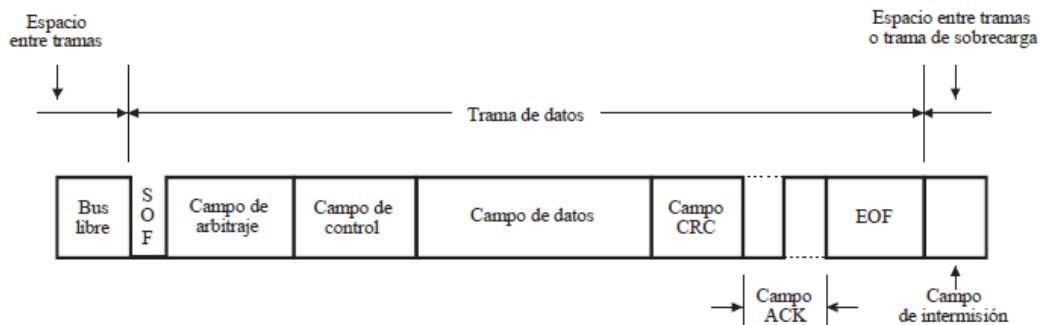


Figura 1.14 Formato de trama de datos CAN, tomado de [17]

Una trama de datos se compone de siete campos como se muestra en la Figura 1.14.

1. *Campo de inicio de mensaje (SOF)*: El mensaje se inicia con un bit dominante, cuyo flanco descendente es utilizado por los módulos para sincronizarse entre sí [15].
2. *Campo de arbitraje*: En el formato estándar está constituido por un identificador de 11 bits y el bit de petición de transmisión remota (RTR). En el formato extendido está formado por un identificador de 29 bits, el bit de petición remota substituta (SRR), el bit de extensión del identificador (IDE) y el bit RTR. El identificador se divide en dos secciones, la primera de 11 bits denominados base que corresponde al identificador del formato estándar, y la segunda sección de 18 bits conocida como extendida [17], observe la Figura 1.15 para identificar los bits antes mencionados. El identificador además establece la prioridad del mensaje.

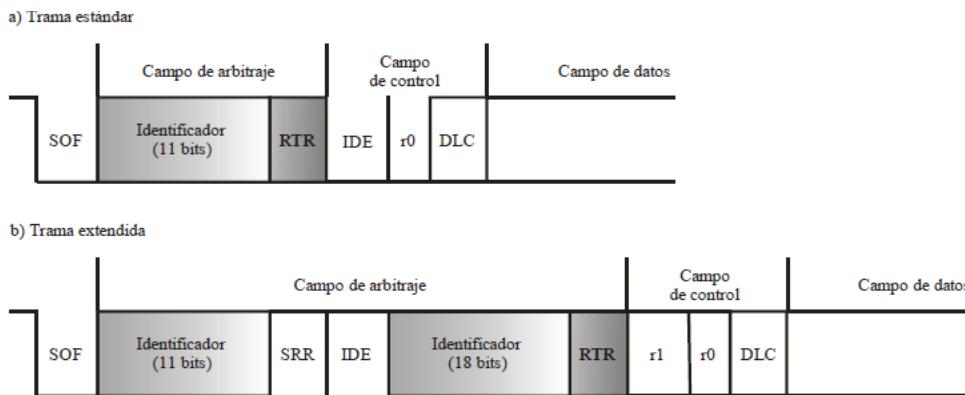


Figura 1.15 Formatos de tramas de datos CAN, estándar y extendida,
tomado de [17]

3. *Campo de control*: está compuesto de seis bits, IDE o r1, r0 y cuatro bits que forman el código de longitud de datos DLC. El primer bit (IDE) distingue entre los dos tipos de tramas, el segundo bit (r0) en nivel dominante se reserva para futuras aplicaciones del protocolo CAN y finalmente el DLC indica el número de octetos contenidos en el campo de datos [17], la Figura 1.15 identifica los bits mencionados.

4. *Campo de datos*: En este campo aparece la información del mensaje con los datos que el módulo correspondiente introduce en el Bus CAN. Puede contener entre 0 y 8 bytes [15].
5. *Campo CRC*: Código de redundancia cíclica que genera el transmisor para la detección de errores por parte del receptor. Este campo tiene una longitud de 16 bits, el código de error está contenido en los 15 primeros bits y el último que siempre es un bit recesivo (1) se utiliza para delimitar el campo CRC [15].
6. *Campo ACK*: El campo ACK se compone de dos bits que son siempre transmitidos como recesivos (1). Todos los módulos que reciben el mismo CRC modifican el primer bit del campo ACK por uno dominante (0), de forma que el módulo que está todavía transmitiendo reconoce que al menos un módulo ha recibido un mensaje escrito correctamente. De no ser así, el módulo transmisor interpreta que su mensaje tiene un error [15].
7. *Campo de final de mensaje (EOF)*: Tanto la trama de datos como la trama remota están delimitadas por una secuencia de 7 bits recesivos que indican el fin de trama CAN. Cuando EOF está activo se realiza una violación al procedimiento de inserción de bit, por ello dicho procedimiento no se aplica a este campo [17].

1.8.3 CAN EN VEHÍCULOS

CAN fue desarrollado, inicialmente, para aplicaciones en los automóviles y por lo tanto la plataforma del protocolo es resultado de las necesidades existentes en el área automotriz [17].

En el automóvil actual crecen cada día las exigencias con respecto a contaminación, confort de marcha, seguridad en la conducción y consumo de combustible. Estas exigencias obligan a un intercambio cada vez mayor de información entre las distintas unidades de mando, el intercambio de información mediante cables individuales interconectados entre las unidades de mando supone un aumento de volumen y peso que empezaba a ser insostenible, se bordeaba los dos kilómetros de cable con un peso de 50 kg. La solución a éste problema consistió en la utilización del Bus CAN [16].

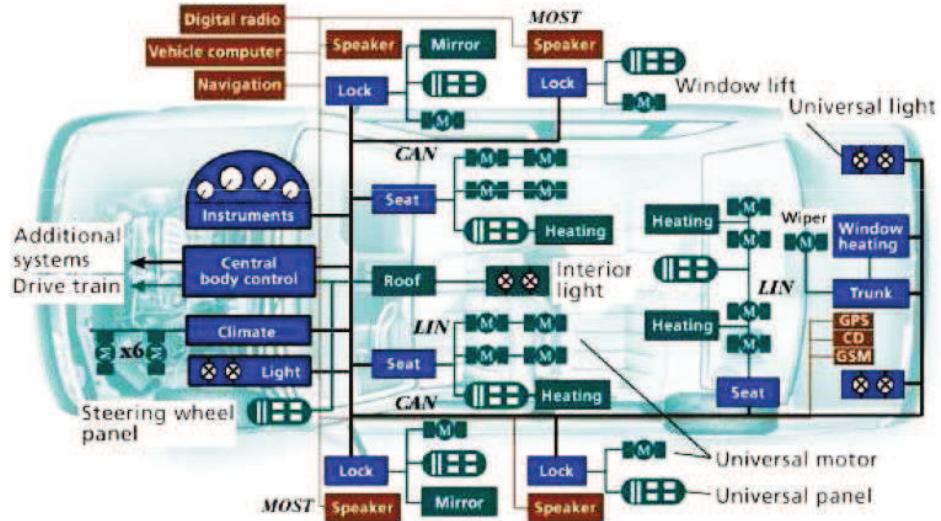


Figura 1.16 Bus CAN en Automóvil, tomado de [18]

En la Figura 1.16 se puede ver la funcionalidad de un Bus CAN en un automóvil para transportar una gran cantidad de información e interconectar módulos entre sí.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se procede a diseñar y construir el hardware necesario para la implementación del sistema de visualización y monitoreo de parámetros para el vehículo eléctrico. Para ello se parte desde una estructura general donde se indican los módulos que componen el sistema, la forma en cómo se encuentran interconectados y su representación mediante diagramas de bloques. Seguidamente se procede a diseñar los circuitos de cada módulo poniendo especial énfasis en los que utilizan un microcontrolador Atmel de arquitectura de 32 bits.

Adicionalmente, en este capítulo se realiza el diseño de una parte mecánica que será utilizada conjuntamente con un sensor de efecto hall para medir la velocidad del vehículo ya que el mismo no dispone de un sistema que permita obtener este parámetro.

2.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

Debido a la cantidad de circuitos necesarios para la obtención de los parámetros del vehículo eléctrico, se divide al sistema de visualización y monitoreo en cuatro módulos interconectados mediante un bus CAN tal como se representa en la Figura 2.1.

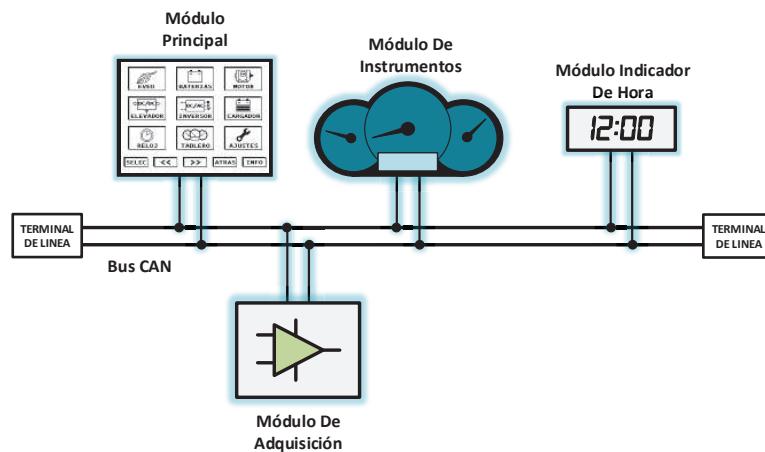


Figura 2.1 Estructura del sistema de visualización y monitoreo

Como se puede observar, el sistema básicamente es una red CAN integrada por los módulos: Principal, de Instrumentos, de Adquisición e Indicador de Hora, cada módulo se encarga de interactuar con un conjunto de dispositivos electrónicos. A continuación se describen cada uno de ellos.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL

Este módulo es la unidad principal, puesto que es aquí donde se manejan los periféricos que permiten al usuario interactuar con todo el sistema, ya sea para obtener la información del vehículo, personalizar el módulo de instrumentos, o simplemente para modificar algunos de los parámetros propios como la calibración del ingreso táctil, nivel de volumen de la alarma auditiva, brillo, contraste de la pantalla, etc.

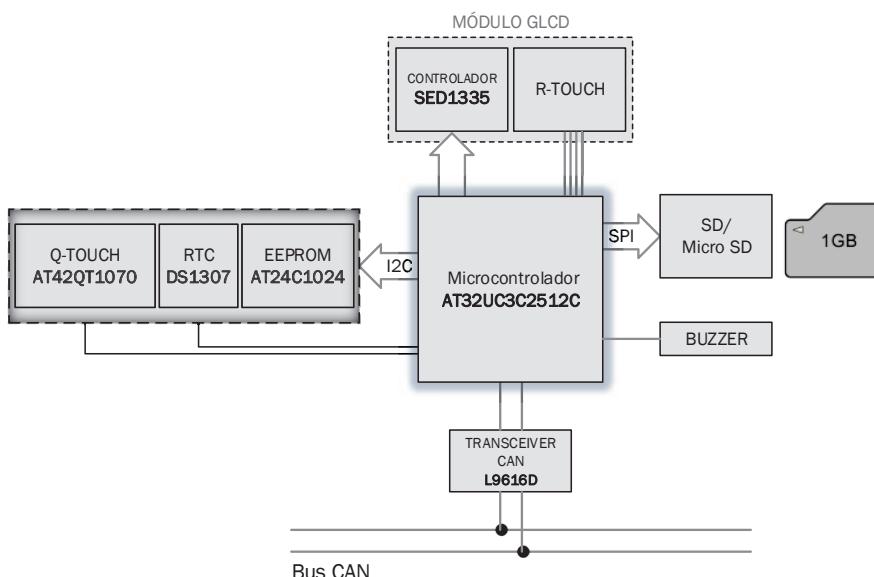


Figura 2.2 Diagrama de bloques del Módulo Principal

Este módulo según el diagrama de bloques indicado en la Figura 2.2, está formado por los siguientes componentes principales:

- 1) Microcontrolador AT32UC3C2512C.
- 2) Controlador de SED1335 para pantalla LCD gráfica.
- 3) Panel táctil resistivo de 4 hilos.
- 4) Dispositivos I₂C:

- a) Memoria EEPROM AT24C1024.
- b) RTC DS1307.
- c) Controlador QTouch AT42QT1070.
- 5) Tarjeta de memoria SD.
- 6) Transceiver CAN L9616D.

2.2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS

El módulo de Instrumentos al igual que en un vehículo comercial, está encargado de mostrar al usuario los parámetros de velocidad, revoluciones del motor, carga de las baterías mediante los Micro-Air Core y la cuenta de kilómetros recorridos, contador de distancia (Odómetro) y señales de alarma a través de la pantalla OLED según los datos enviados por módulo principal.

Adicionalmente el módulo de instrumentos consta de un sistema de iluminación que puede ser personalizado por el usuario.

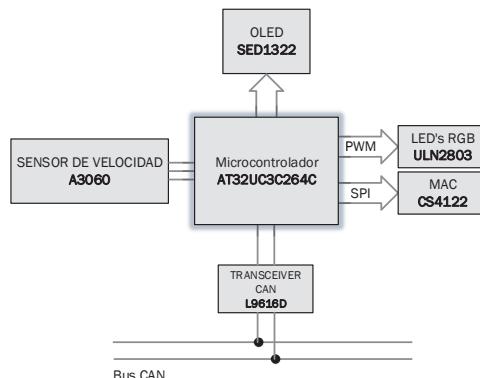


Figura 2.3 Diagrama de bloques del Módulo de Instrumentos

Como se puede observar el diagrama de bloques de la Figura 2.3, este módulo se encuentra formado por los siguientes componentes principales:

- 1) Microcontrolador AT32UC3C264C.
- 2) Controlador SSD1322 para la pantalla OLED.
- 3) Controlador CS4122 para el manejo de los Micro-Air Core.
- 4) LEDs RGB y Driver ULN2803.
- 5) Sensor de efecto hall A3060.
- 6) Transceiver CAN L9616D.

2.2.3 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN.

El módulo de adquisición está encargado de realizar la medición de parámetros de los distintos sistemas que conforman el vehículo y luego transmitirlos al módulo principal a través del bus CAN.

Tabla 2.1 Parámetros de monitoreo del vehículo eléctrico

BANCO DE BATERÍAS	Voltaje de cada batería Voltaje Total Corriente Total Temperatura Estado de carga
CONVERSOR DC/DC ELEVADOR	Estado del fusible de entrada Voltaje de salida Corriente de salida
INVERSOR SPWM	Estado del fusible de entrada Frecuencia de salida Estado del freno
MOTOR	Temperatura Revoluciones

Como se puede observar el diagrama de bloques de la Figura 2.4, este módulo se encuentra formado por los siguientes componentes principales:

- 1) Microcontrolador ATmega16M1.
- 2) Amplificador Operacional TL2274.
- 3) Diodo Zener 1N4733.
- 4) Multiplexor Analógico DG408.
- 5) Transceiver CAN L9616D.

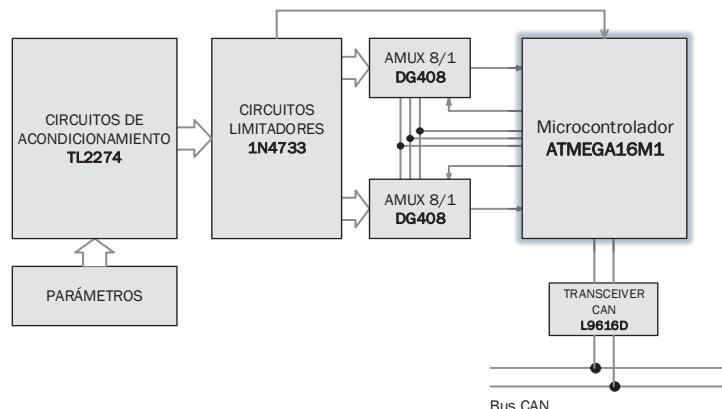


Figura 2.4 Diagrama de bloques del Módulo de Adquisición

2.2.4 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA

Este módulo funciona únicamente como un indicador fijo donde se muestra la hora en todo momento, su funcionamiento depende del módulo principal puesto que es allí donde se encuentra el reloj DS1307.

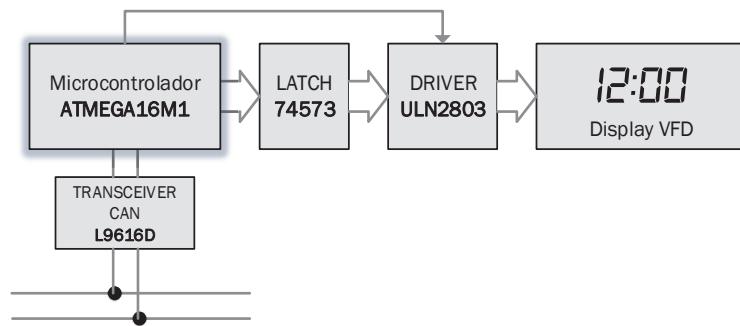


Figura 2.5 Diagrama de bloques del Módulo Indicador de Hora

Los componentes principales de este módulo son:

- 1) Microcontrolador ATmega16M1
- 2) Latch 74HC573.
- 3) Driver ULN2803.
- 4) Display de 7 segmentos tipo VFD.
- 5) Transceiver CAN L9616D.

2.3 DISEÑO DEL MÓDULO PRINCIPAL

Para el diseño de este módulo, en primer lugar se explican las consideraciones que el fabricante Atmel recomienda en circuitos que integren los microcontroladores de arquitectura AVR32 como en este caso el AT32UC3C2512C.

2.3.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO

2.3.1.1 Consideraciones del microcontrolador AT32UC3C2512C

Para utilizar el microcontrolador AT32UC3C2512C se debe tomar en cuenta que este dispositivo puede trabajar con fuente de alimentación de **3.3V** o **5V**. Debido a

que el módulo principal trabaja a $5V$, a continuación se describen las consideraciones para este modo de funcionamiento.

2.3.1.1.1 Modo de alimentación a $5V$

Como se muestra en la Figura 2.6, en esta configuración los reguladores de voltaje internos de $3.3V$ y $1.8V$ que posee el microcontrolador se conectan a la fuente de alimentación de $5V$ a través del terminal VDDIN_5. Los terminales VDDIN_33 y VDDCORE son las salidas de los reguladores y deben ir conectados a un grupo de capacitores de desacoplamiento. Debido a que el regulador de $3.3V$ es usado para el funcionamiento del módulo USB, este puede ser desactivado mediante software con el fin de reducir el consumo de energía en el caso de no usarse dicho módulo.

Los terminales VDDIOx usados para la alimentación de las líneas de entrada/salida deben tener la misma fuente.

Finalmente el terminal VDDANA que alimenta el módulo analógico debe conectarse a la fuente de alimentación a través de un inductor para EMI/RFI y a GND a través de un capacitor.

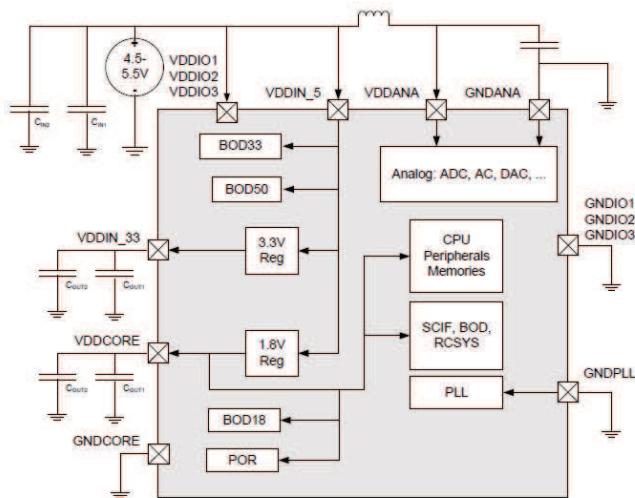


Figura 2.6 Modo de alimentación a $5V$ para los microcontroladores UC3C,
tomado de [19]

Es muy importante que todas estas consideraciones se lleven a cabo de manera estricta ya que, de no ser así, el microcontrolador puede quedar inutilizable.

2.3.1.2 Circuito de alimentación

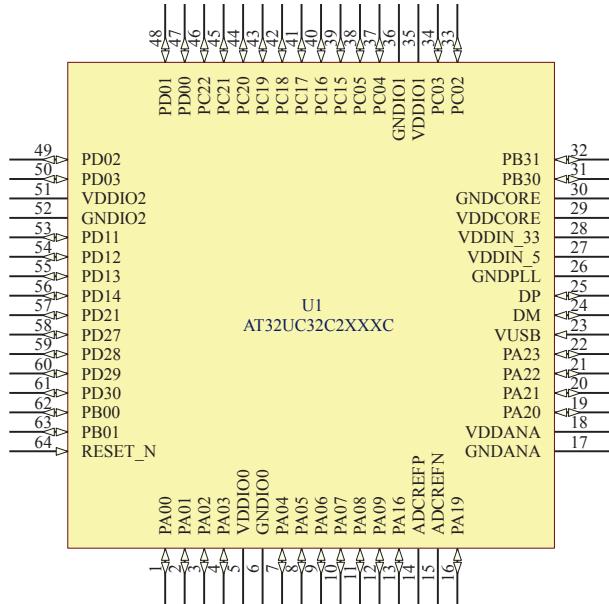


Figura 2.7 Esquemático del microcontrolador AT32UC3C2512C

Para contrastar con las consideraciones ya descritas, los pines de VDDCORE, VDDIN33, VDDIN5, VDDANA y VDDIOx mostrados en el esquemático de la Figura 2.7, son conectados al grupo de capacitores de desacoplamiento y fuente de alimentación de 5V (VCC5) como se indica en la Figura 2.8.

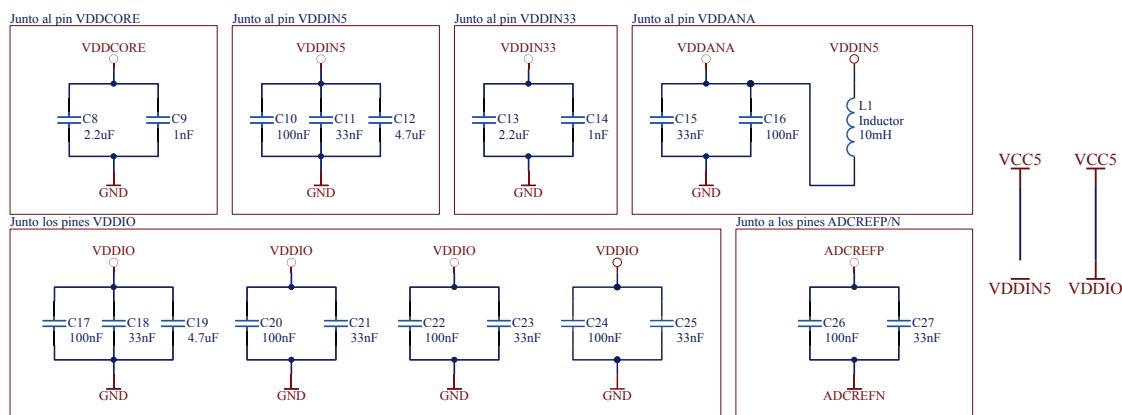


Figura 2.8. Capacitores de desacoplamiento para el microcontrolador AT32UC3C2512C

Los valores de los capacitores de desacoplamiento son tomados del kit de evaluación UC3C-EK de Atmel.

2.3.1.3 Circuito de Referencia del Conversor A/D

Debido a que el terminal ADCREF0 debe estar sometido a un voltaje comprendido entre **1V** y **3.5V**, se decide alimentarlo con aproximadamente **2V** que se consiguen mediante el circuito de la Figura 2.9.

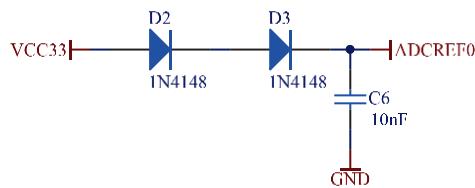


Figura 2.9. Circuito de referencia del Conversor A/D para el microcontrolador AT32UC3C2512C

Como se puede observar, el voltaje en el pin ADCREF0 está dado por la diferencia de voltaje entre la fuente de **3.3V** y la caída en la barrera de potencial de cada diodo que se asume igual a **0.6V**, es decir:

$$V_{ADCREF0} = 3.3V - 2 \times V_d$$

$$V_{ADCREF0} = 3.3V - 2 \times 0.6V$$

$$V_{ADCREF0} = 2.1V$$

2.3.1.4 Asignación de Pines

Para la asignación de los terminales del microcontrolador se considera los diferentes periféricos a manejar en el módulo, además del puerto JTAG para programación, puerto UART para el depurado de software, e indicadores tanto visuales como auditivos.

Tabla 2.2 Asignación de pines del microcontrolador AT32UC3C2512C

TERMINALES			DESCRIPCIÓN
NÚMERO	NOMBRE	DESTINO	
1	PA00	TCK	Puerto para programación y depurado (JTAG)
2	PA01	TDI	
3	PA02	TDO	
4	PA03	TMS	
53 - 56 58 - 61	PD11 - PD14 PD27 - PD30	DB0 - DB3 DB4 - DB7	Puerto de datos del módulo GLCD
9	PA06	A0	Puerto de control del módulo GLCD
10	PA07	RW	
11	PA08	E	
21	PA22	CS	
22	PA23	RST	
20	PA21	CONTRASTE	Control del contraste del módulo GLCD
41	PC17	BRILLO	Control del brillo del módulo GLCD
7	PA04	XH	Conexión con el panel táctil resistivo de 4 hilos
8	PA05	YH	
16	PA19	XL	
19	PA20	YL	
34	PC03	TWCK	Bus TWI (I2C) para QTOUCH, RTC y EEPROM
33	PC02	TWD	
45	PC21	QTOUCH	Detección de evento del QTOUCH
46	PC22	RTC	Detección de evento del RTC
47	PD00	MOSI	Puerto SPI para comunicación con la tarjeta SD
48	PD01	MISO	
49	PD02	SCK	
50	PD03	SS	
43	PC19	WP	Detección de protección contra escritura de la tarjeta SD
40	PC16	LED_SD	Indicador para la tarjeta SD
44	PC20	DETECT	Detección de la tarjeta SD
62	PB00	CAN_RX	Bus CAN
63	PB01	CAN_TX	
36	PC04	UART_TXD	Puerto UART para depurado de software
37	PC05	UART_RXD	
39	PC15	BUZZER	Control de alarma auditiva
42	PC18	LED	LED de propósito general

2.3.2 CONEXIÓN CON EL MÓDULO GLCD

El circuito de conexión con el módulo GLCD comprende la comunicación con el controlador de la pantalla, manejo del brillo y contraste, y conexión con el panel táctil resistivo.

2.3.2.1 Descripción del Módulo NHD-320240WG-BoSFH-VZ

El módulo NHD-320240WG-BoSFH-VZ, es una pantalla LCD gráfica monocromática con panel táctil resistivo basada en el controlador SED1335, que presenta un área visible de 5.7 pulgadas con una resolución de 320 x 240 pixeles. Para la iluminación de la pantalla, este módulo cuenta con un LED de retroiluminación (backlight) de alto brillo.

Dentro de sus características tanto eléctricas como ópticas se destacan las siguientes [20]:

- Temperatura de operación: -20 a +70°C.
- Voltaje de alimentación (VDD): +4.5 a +5.5V.
- Corriente de alimentación (IDD): 95 a 110mA.
- Voltaje del LED de retroiluminación: 3.4 a 3.6V.
- Corriente del LED de retroiluminación: 120 a 180mA.
- Tiempo de vida del LED de backlight: 50000hrs a 160mA.
- Angulo de visión horizontal: 45°
- Angulo de visión vertical: 60°



Figura 2.10. Módulo NHD-320240WG-BoSFH-VZ

Para la conexión con circuitos externos el módulo está provisto de un conector tipo FPC de 20 pines cuya descripción se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Descripción de pines del módulo NHD-320240WG-BoSFH-VZ

No. DE PIN	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN DE FUNCIÓN
1	VSS	GND
2	VDD	Fuente de alimentación para los circuitos lógicos.
3	V0	Fuente de alimentación para el contraste de la pantalla (-19V aprox.).
4	A0	Señal de selección de registros de comandos o datos.
5	R/W	Señal de selección para lectura o escritura.
6	E	Señal de activación.
7-14	DB0-DB7	Líneas de bus de datos bidireccional de tres estados.
15	/CS	Señal de selección de chip, activa en bajo.
16	/RST	Señal de reset, activa en bajo.
17	VEE	Voltaje de salida de -25V.
18	NC	Sin conexión.
19	NC	Sin conexión.
20	NC	Sin conexión.

2.3.2.2 Circuito para la conexión del controlador SED1335

Debido a que el controlador SED1335 del módulo GLCD es compatible con microcontroladores, la conexión del mismo con el AT32UC3C2512C se realiza directamente de acuerdo a la asignación de pines de la Tabla 2.2 y la Tabla 2.3. La Figura 2.11 muestra el enlace entre los pines del microcontrolador y los pines del conector FPC.

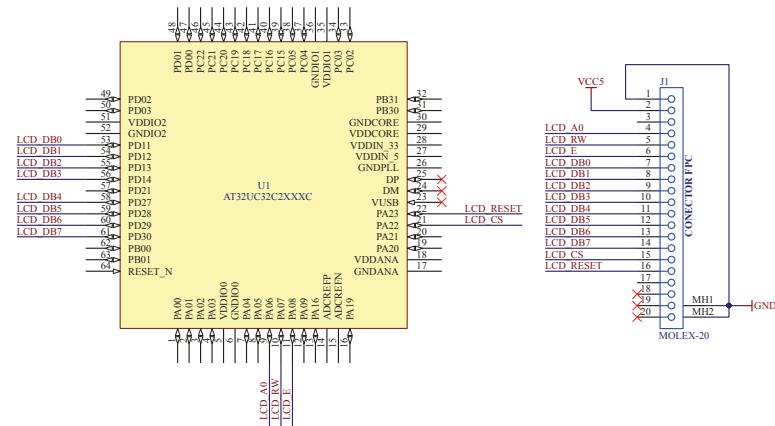


Figura 2.11 Circuito de conexión del controlador SED1335

2.3.2.3 Circuito para el control de brillo de la pantalla

Para el control de brillo de la pantalla de manera digital se usa el circuito de la Figura 2.12 que consiste en variar el voltaje medio del LED de retroiluminación del módulo GLCD mediante una señal PWM de **1KHz** generada por el microcontrolador.

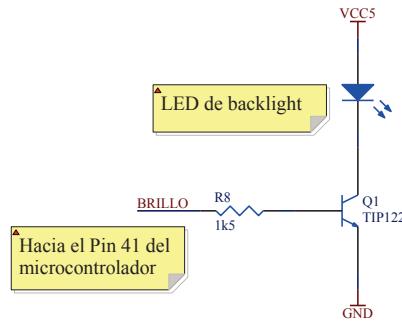


Figura 2.12. Circuito para el control de brillo de la pantalla

De pruebas realizadas al LED de backlight se determinó que este genera un brillo adecuado para la pantalla cuando por él circula una corriente de **200mA** a un voltaje de **5V** y por tal motivo no se hace uso de una resistencia limitadora de corriente.

El transistor TIP122 según la hoja de datos presenta una ganancia de corriente $\beta = 125$ y un $V_{BE} = 2.5V$, de manera que la resistencia de base se calcula como sigue:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{200mA}{125}$$

$$\rightarrow I_B = 1.6mA$$

$$R_{base} = \frac{5V - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_{base} = \frac{5V - 2.5V}{1.6mA}$$

$$R_{base} = 1526.5\Omega$$

$$\therefore R_{base} = 1.5K\Omega$$

2.3.2.4 Circuito para el control de contraste de la pantalla

El contraste de la pantalla se puede controlar mediante la variación de voltaje en el pin **V0** del módulo GLCD, pero considerando que esta variación debe hacerse en un valor cercano a **-19V** aparece un problema en los niveles de voltaje ya que el microcontrolador no trabaja con voltajes negativos. Para solucionar este problema se hace uso de un optoacoplador ya que permite trabajar con los niveles de voltaje requeridos.

El circuito de la Figura 2.13, a través de un conversor digital a analógico presente en el pin 41 del microcontrolador permite la variación del voltaje entre **-25V** y **0V** a la salida del optoacoplador 4N25.

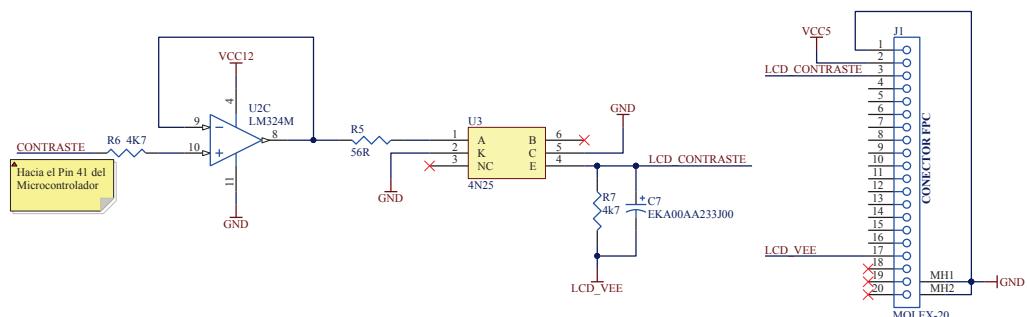


Figura 2.13. Circuito para el control de contraste de la pantalla

2.3.2.5 Conexión del panel táctil resistivo

2.3.2.5.1 Descripción del panel TS-320240BRNO

El panel táctil TS-320240BRNO, es un panel resistivo de 4 hilos diseñado específicamente para módulos de LCD gráficos de 5.7 pulgadas.

Dentro de sus principales características se tiene [21]:

- Temperatura de operación: -10 a +60°C.
- Voltaje de alimentación: 5V.
- Tiempo de respuesta: <10ms.
- Linealidad: <1.5%.

- Transparencia: >85%.
- Fuerza de operación: $65 \pm 15\text{g}$.



Figura 2.14. Panel táctil TS-320240BRNO

2.3.2.5.2 Circuito de Conexión

El panel TS-320240BRNO se conecta a los pines analógicos del microcontrolador a través de cuatro resistencias como se indica en el circuito de la Figura 2.15.

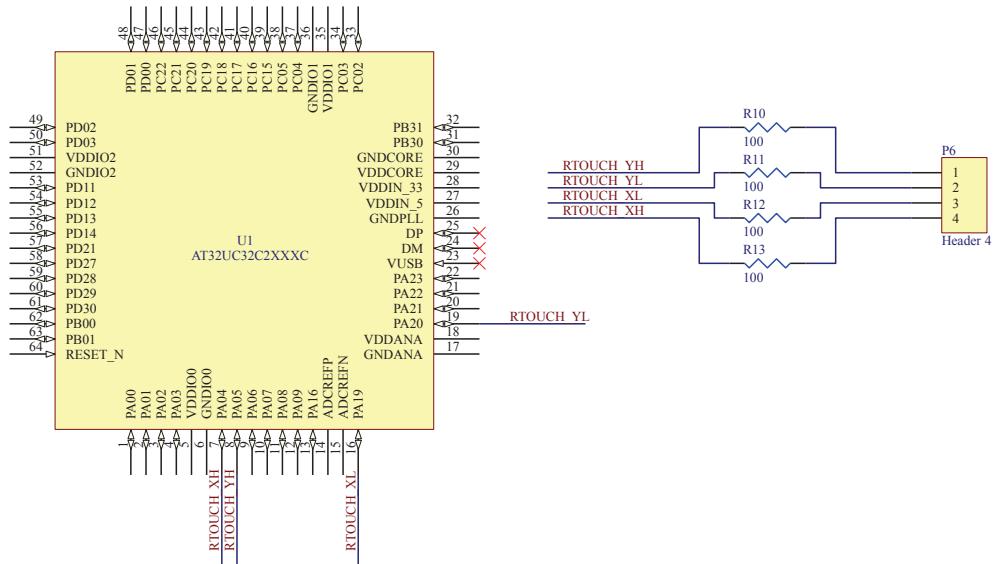


Figura 2.15. Circuito de conexión del panel táctil resistivo de 4 hilos

2.3.3 CONEXIÓN CON LOS DISPOSITIVOS I2C

El módulo principal como se observó en la representación de la Figura 2.2, consta de tres dispositivos que se conectan al bus I2C: el reloj en tiempo real, la memoria EEPROM y el controlador QTouch, a continuación se muestran los circuitos de conexión de cada uno de ellos.

2.3.3.1 Conexión con el RTC DS1307

El DS1307 es un reloj en tiempo real, que permite obtener información de segundos, minutos, horas, días, fecha, mes y año mediante el bus I2C. Adicionalmente este dispositivo posee un circuito interno de medición de la fuente de energía para determinar la pérdida de la misma, y en tal caso conmutar la alimentación a la batería de respaldo de manera automática.

El circuito de conexión de este dispositivo es el que se muestra en la Figura 2.16, como se puede observar, las líneas SDA y SCL que pertenecen al bus I2C se conectan directamente al microcontrolador mediante dos resistencias de Pull-Up de **10KΩ**. Con el objetivo de realizar la lectura de los datos cada segundo, el pin SQW/OUT que es capaz de generar una señal cuadrada de **1Hz**, se conecta a un pin del microcontrolador para que genere una interrupción en cada flanco de bajada de dicha señal.

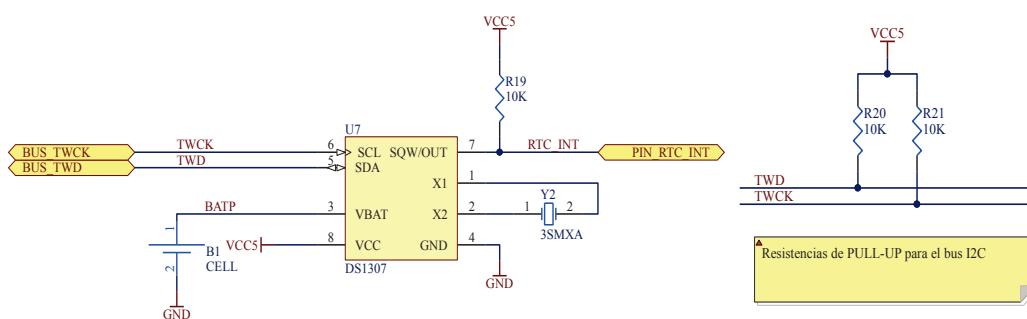


Figura 2.16. Circuito de conexión del RTC DS1307

Para advertir al usuario que la batería de respaldo necesita ser reemplazada debido a un nivel de voltaje bajo, se realiza el circuito de la Figura 2.17 para la detección de esta anomalía mediante un pin digital del microcontrolador.

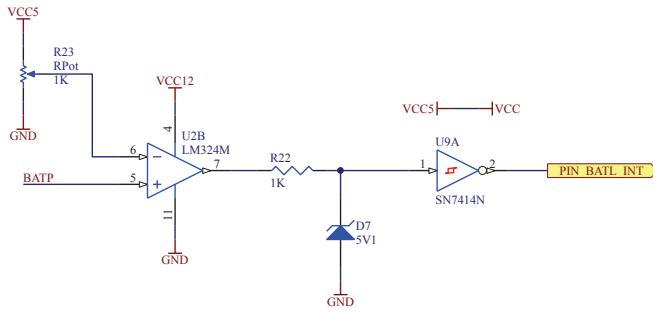


Figura 2.17. Circuito para detección de batería de respaldo

El circuito para detección de la batería de respaldo, simplemente es un comparador de voltaje en base a un amplificador operacional al cual se adiciona en su salida un circuito limitador en base a una resistencia y a un diodo zener 1N4733A con un voltaje de ruptura $V_z = 5.1V$ y una corriente inversa máxima $I_{ZK} = 50mA$.

Para dimensionar la resistencia R_{22} se toma en cuenta que mientras el voltaje de la batería de respaldo presente en la entrada negativa es mayor al presente en la entrada positiva del comparador, este permanece saturado, es decir su salida permanece en un valor cercano a $V_{o_{sat}} = 10V$ por encontrarse alimentado con $12V$.

En estas condiciones la resistencia R22 está dada por:

$$R_{22} = \frac{V_{o_{sat}} - V_z}{I_{ZK}}$$

$$R_{22} = \frac{10V - 5.1V}{5mA} = 980\Omega$$

$$\therefore R_{22} = 1K\Omega$$

En el caso contrario, cuando el voltaje de la batería de respaldo presente en la entrada negativa llegue a ser menor al voltaje en la entrada positiva del comparador, inmediatamente su salida presenta un voltaje muy cercano a $0V$ el cual se ve reflejado en la salida del circuito limitador.

Para acoplar la señal brindada por el circuito limitador al microcontrolador, se hace uso de una compuerta lógica NOT con Schmitt Trigger, la cual asegura que su salida va a tener un voltaje de $0V$ o $5V$.

2.3.3.2 Conexión la memoria AT24C1024

La memoria AT24C1024 provee 1'048.576 bits de memoria ROM borrable y programable eléctricamente (EEPROM) mediante una interfaz a dos hilos (TWI), posee 131.072 palabras de 8 bits de lectura y escritura organizados en 512 páginas de 256 bytes cada una. Está optimizada para ser usada en una amplia variedad de aplicaciones industriales y comerciales donde el bajo consumo de energía y el bajo voltaje de operación son esenciales.

El circuito de conexión de este dispositivo con el microcontrolador es muy sencillo, ya solo hay que conectar los pines SDA y SCL al bus I2C que se creó en la conexión del reloj en tiempo real. Las resistencias del Pull-Up en este caso ya no se requieren ya que solo hace falta una sola por cada línea del bus.

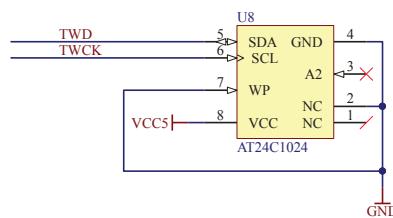


Figura 2.18. Circuito de conexión de la memoria AT24C1024

El pin WP se utiliza para cuando se desee proteger la memoria contra operaciones de escritura, pero como en este caso no es necesario, se lo conecta a GND por recomendación del fabricante puesto que se lo puede dejar flotante, es decir sin conexión alguna.

2.3.3.3 Conexión el controlador AT42QT1070

El dispositivo AT42QT1070 es un sensor de teclas capacitivo que puede detectar de una a siete teclas dependiendo del modo de operación.

Para el desarrollo de este proyecto, se conecta al AT42QT1070 en modo comms, ya que, en este modo el microcontrolador puede leer el estado de las 7 teclas a través el bus I2C. Puesto que en este diseño solamente se necesitan 5 teclas, 2 de ellas se dejan desconectadas tal como se muestra en el circuito de la Figura 2.19.

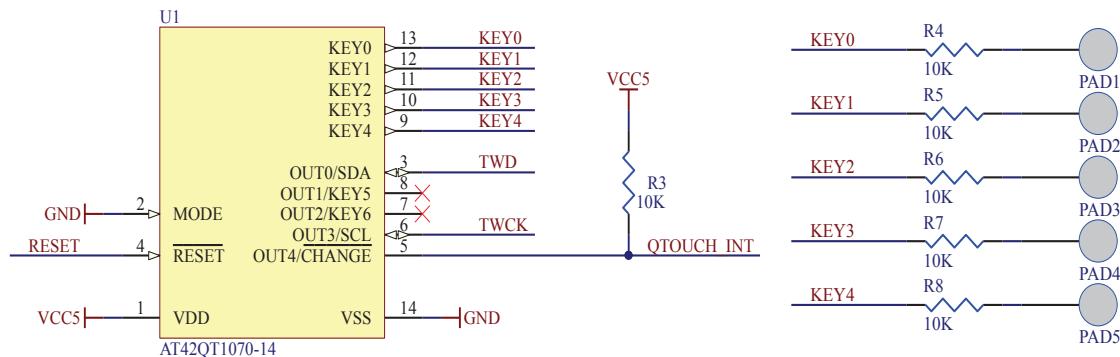


Figura 2.19. Circuito de conexión del controlador Q-Touch AT42QT1070

Para evitar hacer lecturas continuas a través del software con el fin de determinar el estado de cada una de las teclas, se conecta el pin CHANGE al microcontrolador mediante una resistencia de Pull-Up, para de esta manera aprovechar su funcionalidad considerando que este genera una señal para advertir si una tecla ha sido presionada o liberada. Esta advertencia siempre genera un cambio de voltaje **5V a 0V** lo cual es fácilmente detectable por el microcontrolador mediante el uso de una interrupción externa configurada para detectar flancos de bajada.

La construcción del teclado para este dispositivo, se lo realiza simplemente creando electrodos de cobre en el mismo PCB como se muestra en la Figura 2.20. Cabe recalcar que el fabricante en los circuitos de aplicación recomienda usar resistencias de **10KΩ** en serie con cada electrodo como parte del diseño.



Figura 2.20. Construcción del teclado para el controlador AT42QT1070

2.3.4 CONEXIÓN CON LA TARJETA SD

Para manejar las tarjetas de memoria SD y micro SD, es necesario su distribución de pines y sus características eléctricas tomando en cuenta el modo de funcionamiento.

2.3.4.1 Descripción de las memorias SD y micro SD

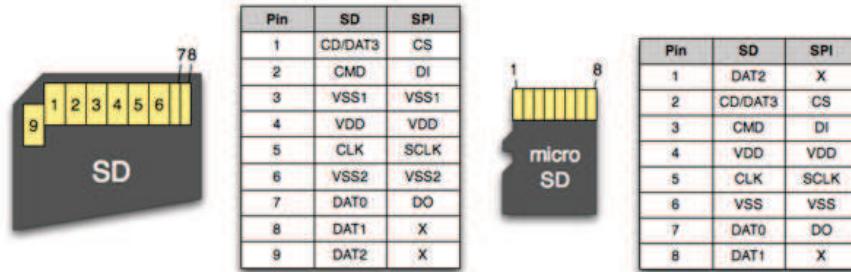


Figura 2.21 Distribución de pines de las tarjetas SD y micro SD

Las tarjetas de memoria SD y micro SD pueden manejarse por dos modos denominados: modo SD y modo SPI, para cada uno de ellos los pines de datos de la tarjeta tienen un nombre y una funcionalidad distinta. En la Figura 2.21 se muestra la distribución de pines según su modo de funcionamiento. Para el diseño del módulo principal se decide utilizar el modo SPI.

Dentro de las características eléctricas principales de las tarjetas de memorias se tiene [22]:

- Voltaje de alimentación (Vdd): +2.0 a +3.6V.
- Voltaje de alimentación (Vss): -0.3V a +0.3V.
- Voltaje de Entrada (VI)
 - a) Nivel bajo (VIL): Vss-0.3V a 0.25Vdd.
 - b) Nivel alto (VIH): 0.625Vdd a Vdd+0.3V
- Voltaje de salida (VO)
 - a) Nivel bajo (VOL): 0.125Vdd (máximo).
 - b) Nivel alto. (VOH): 0.75Vdd (mínimo).

2.3.4.2 Circuito de conexión

Debido a que los pines de entrada de la tarjeta de memoria aceptan niveles de voltaje de hasta **3.6V**, es necesario primero limitar el voltaje de las líneas MOSI, SCK y CS del lado microcontrolador puesto que estás llegan hasta un voltaje de **5V**

en nivel alto (1L). Para solucionar este problema se realiza el circuito de la Figura 2.22.

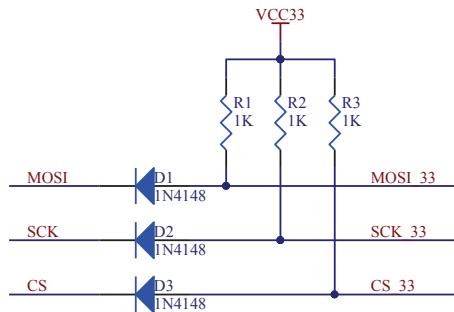


Figura 2.22 Circuito limitador de voltaje para las líneas de entrada de las tarjeta de memoria SD y micro SD.

Cuando se tiene un nivel alto (1L) en cualquiera de las líneas MOSI, SCK o CS, el diodo correspondiente se polariza inversamente (ya que $V_A = 3.3V < V_K = 5V$) permitiendo las líneas MOSI_33, SCK_33 o CS_33 queden conectadas a 3.3V a través de una resistencia de Pull-Up.

Si por el contrario, se tiene un nivel bajo (0L) en cualquiera de las líneas MOSI, SCK o CS, el diodo correspondiente se polariza directamente (ya que $V_A = 3.3V > V_K = 0V$) haciendo que en las líneas MOSI_33, SCK_33 o CS_33 se tenga el voltaje de barrera de potencial del diodo es decir **0.6V** aproximadamente.

Normalmente se suelen poner resistencias de Pull-Up de **10KΩ**, pero en este caso debido a que la velocidad de transmisión de datos a través del bus SPI es de 10Mbps, se eligió el valor de **1KΩ** ya que de pruebas realizadas conjuntamente con los diodos de recuperación rápida 1N4148, este valor resultó ser el más adecuado.

Para el pin de salida de la tarjeta (MISO o pin de entrada del microcontrolador) no es necesario realizar ningún circuito de acoplamiento ya que los niveles **0V** y **3.3V** son detectados directamente por el microcontrolador como bajo y alto respectivamente.

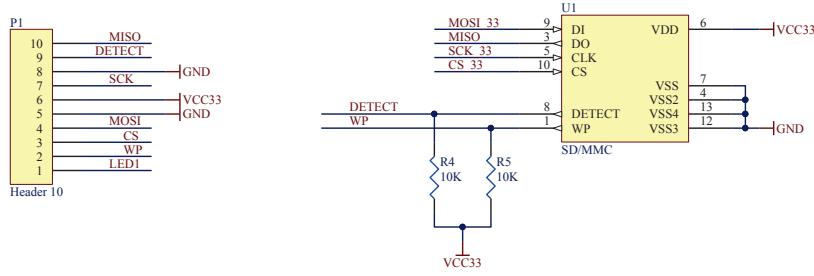


Figura 2.23 Circuito de conexión para las tarjetas de memoria SD y micro SD

Considerando que toda tarjeta de memoria se conecta al PCB de cualquier equipo mediante un conector, en la Figura 2.23 se representa el esquemático del conector utilizado para este diseño el cual añade dos pines adicionales denominados DETECT y WP que sirven para la detección de la tarjeta y protección de escritura de la misma respectivamente. Ya que estos pines facilitan el desarrollo del software se decide conectarlos al microcontrolador mediante dos resistencias de Pull-Up de **10KΩ**.

2.3.5 CONEXIÓN CON EL TRANSCEIVER L9616D

El Transceiver L9616D denominado así por ser un dispositivo capaz de transmitir y recibir datos, es el que se utiliza para realizar la conexión del microcontrolador AT32UC3C2512C con el bus CAN, tal como se muestra en el circuito de la Figura 2.24.

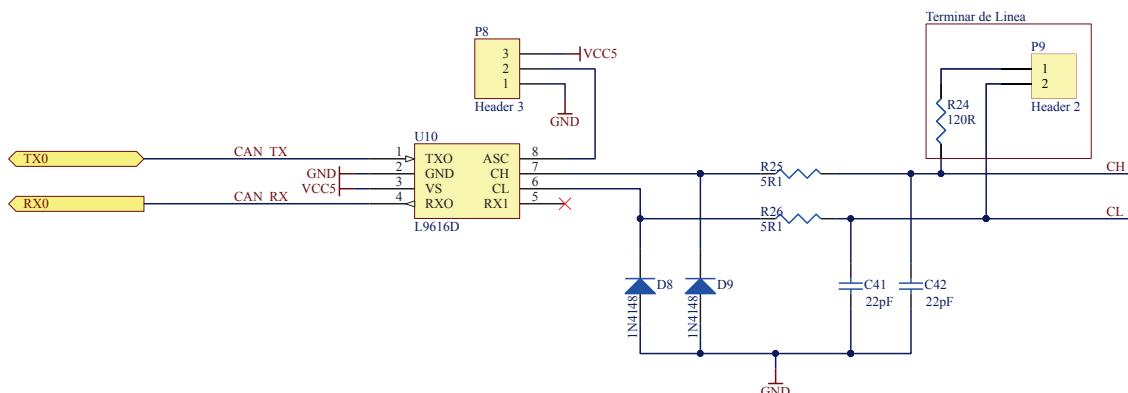


Figura 2.24 Circuito de conexión del Transceiver L9616D

Este dispositivo convierte las líneas del microcontrolador CANRX y CANTX en las líneas diferenciales CANH y CANL. El terminal de línea puede ser fácilmente activado con tan solo hacer un puente en el Jumper P9.

2.4 DISEÑO DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS

Para el diseño de este módulo, se explica primeramente algunas consideraciones adicionales a tomarse en cuenta en relación al microcontrolador AT32UC3C264C que es el mismo microcontrolador utilizado en el módulo principal pero con 64KBytes de memoria flash.

2.4.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO

2.4.1.1 Consideraciones del microcontrolador AT32UC3C264C

En la sección 2.3.1.1, se describió el modo de alimentación del microcontrolador AT32UC3C2512C para una fuente de voltaje de $5V$; en este módulo debido a que se requiere que el microcontrolador AT32UC3C262C funcione a $3.3V$, a continuación se describe este modo de alimentación que es válido para todos los dispositivos que forman parte de la serie UC3C.

2.4.1.1.1 Modo de alimentación a $3.3V$

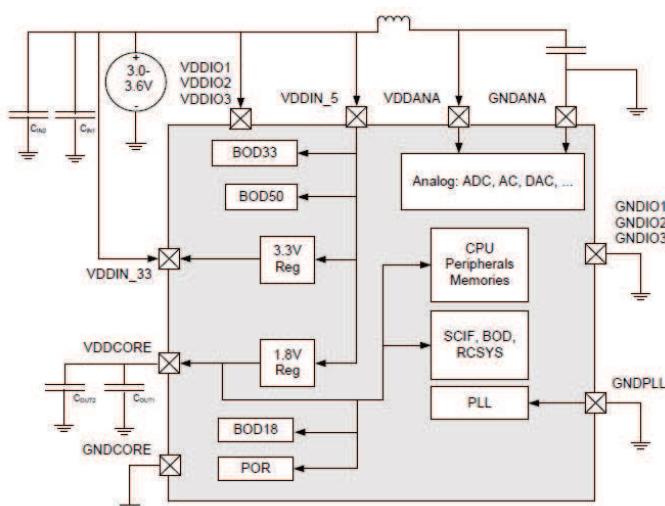


Figura 2.25 Modo de alimentación a $3.3V$ para los microcontroladores UC3C,
tomado de [19]

En este modo de alimentación, los pines VDDIN_5 y VDDIN_33 deben contarse externamente juntos, de esta manera el regulador interno de **1.8V** que alimenta el núcleo queda conectado a la fuente externa de **3.3V** a través del pin VDDIN_5.

Puesto que el pin VDDIN_33 es conectado a la fuente externa, el regulador interno de **3.3V** que habitualmente estaba conectado a este pin debe ser desactivado mediante software una vez que se encienda el circuito.

Todos las líneas de E/S y los bloques analógicos deben tener la misma fuente de alimentación es decir: VDDIN_5 = VDDIN_33 = VDDIOx = VDDANA.

2.4.1.2 Circuito de alimentación

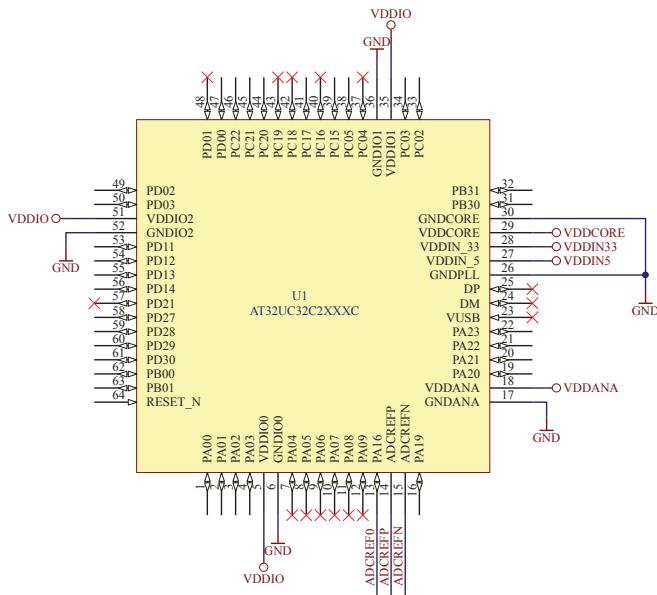


Figura 2.26 Esquemático del microcontrolador AT32UC3C264C

Al igual que en la sección 2.3.1.2, los pins de alimentación del microcontrolador van conectados al grupo de capacitores de desacoplamiento según como se indica en la Figura 2.27.

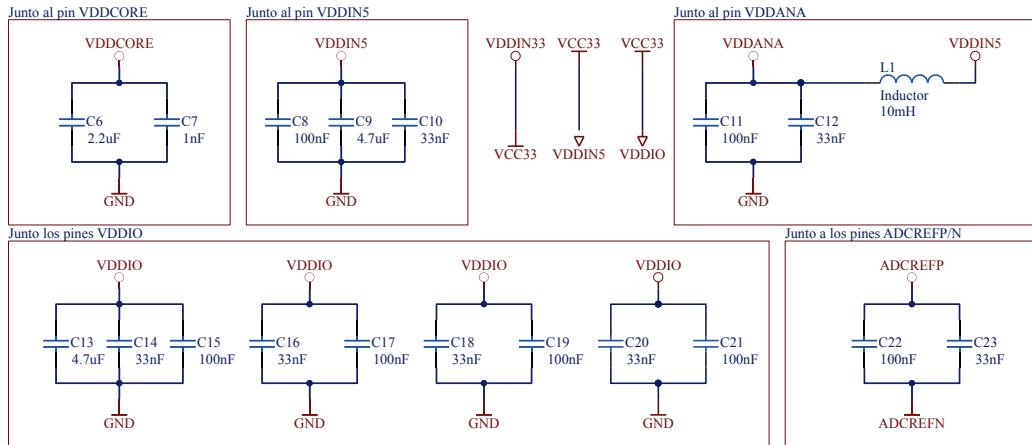


Figura 2.27 Capacitores de desacoplamiento para el microcontrolador
AT32UC3C264C

2.4.1.3 Circuito de Referencia del Conversor A/D

Debido a que el terminal ADCREF0 debe estar sometido a un voltaje comprendido entre **1V** y **3.5V**, se decide alimentarlo con aproximadamente **2V** que se consiguen mediante el circuito de la Figura 2.28.

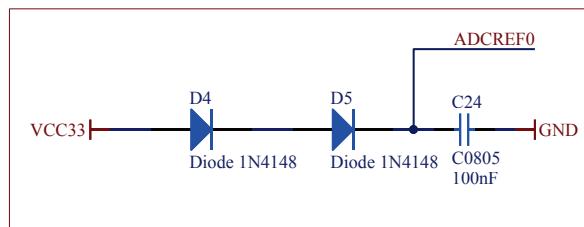


Figura 2.28 Circuito de referencia del Conversor A/D para el microcontrolador
AT32UC3C264C

La justificación es la misma que la explicada en la sección 2.3.1.3, puesto que el circuito es el mismo.

2.4.1.4 Asignación de Pines

Para la asignación de los terminales del microcontrolador a los distintos dispositivos a manejar en el módulo de instrumentos, se consideran adicionalmente el puerto JTAG para programación, puerto UART para depurado software.

Tabla 2.4 Asignación de pines del microcontrolador AT32UC3C264C

TERMINALES			DESCRIPCIÓN
NÚMERO	NOMBRE	DESTINO	
1	PA00	TCK	Puerto para programación y depurado (JTAG)
2	PA01	TDI	
3	PA02	TDO	
4	PA03	TMS	
53 - 56 58 - 61	PD11 - PD14 PD27 - PD30	DB0 - DB3 DB4 - DB7	Puerto de datos del módulo OLED
16	PA19	D/C	Puerto de control del módulo OLED
19	PA20	C/S	
20	PA21	/RST	
21	PA22	E	
22	PA23	R/W	
38	PC05	ENCODER	Pines para la medición de la señal del sensor de velocidad
45	PC21		
39	PC15	LED ROJO	
41	PC17	LED VERDE	Señal PWM para los LEDS RGB
44	PC20	LED AZUL	
46	PC22	FAULT	Señal de falla de driver CS4122
47	PD00	MOSI	
49	PD02	SCK	BUS SPI para el manejo del Driver CS4122
50	PD03	CS	
33	PC02	USART_TXD	Puerto UART para depurado de Software
34	PC03	USART_RXD	

2.4.2 CONEXIÓN CON EL MÓDULO OLED

2.4.2.1 Descripción del Módulo NHD-2.8-25664UCB2

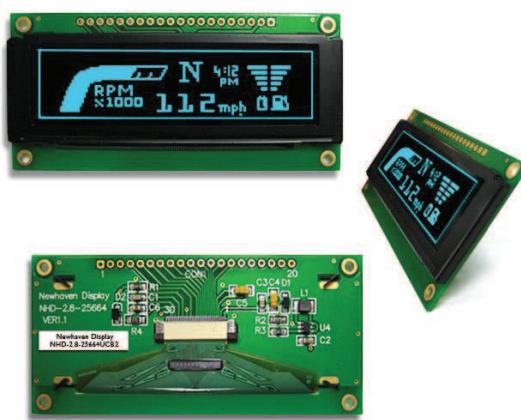


Figura 2.29 Módulo NHD-2.8-25664UCB2

El módulo NHD-2.8-25664UCB2 es una pantalla gráfica de tecnología OLED basada en el controlador SSD1322, que presenta un área visible de 2.8 pulgadas con una resolución de 256x64 pixeles. Cada pixel se puede representar por 4bits lo que significa que en la pantalla se pueden mostrar gráficos con 16 tonos de grises.

El controlador SSD1322 permite que se pueda manejar a la pantalla con una interfaz paralela o serial, esta última mediante tres o cuatro hilos. Para el módulo de instrumentos se usa la interfaz paralela.

Dentro de sus principales características se destacan las siguientes [23]:

- Temperatura de operación: -40 a +85°C.
- Voltaje de alimentación (VDD): +3.0 a +3.3V.
- Corriente de alimentación para los circuitos lógicos (IDD): 5mA.
- Corriente de alimentación para la pantalla (ICC): 150 a 265mA.
- Ángulo de visión: 80°
- Tiempo de vida útil 10000hrs.

Para su conexión con dispositivos externos, este módulo posee un conector de 20 pines cuya descripción para la interfaz paralela se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Descripción de pines del módulo NHD-2.8-25664UCB2, tomado de [23]

No. DE PIN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DE FUNCIÓN
1	VSS	GND
2	VDD	Fuente de alimentación para los circuitos lógicos.
3	NC	Sin Conexión
4	D/C	Señal de selección de registros de comandos o datos.
5	R/W	Señal de selección para lectura o escritura.
6	E	Señal de habilitación del módulo.
7-14	DB0-DB7	Línea de bus de datos de 8 bits bidireccional.
15	NC	Sin conexión.
16	/RST	Señal de reset, activa en bajo.
17	/CS	Señal de selección del chip activa en bajo
18	NC	Sin conexión.
19	BS1	Pines para la selección de la interfaz.
20	BS0	(Paralela o Serial)

2.4.2.2 Circuito de conexión

La conexión de este módulo al microcontrolador AT32UC3C262C se realiza directamente según lo indicado por las Tablas 2.4 y 2.5. Los pines BS1 y BS0 se conectan a VCC33 y GND respectivamente ya que no hay necesidad de cambiar la interfaz durante su funcionamiento.

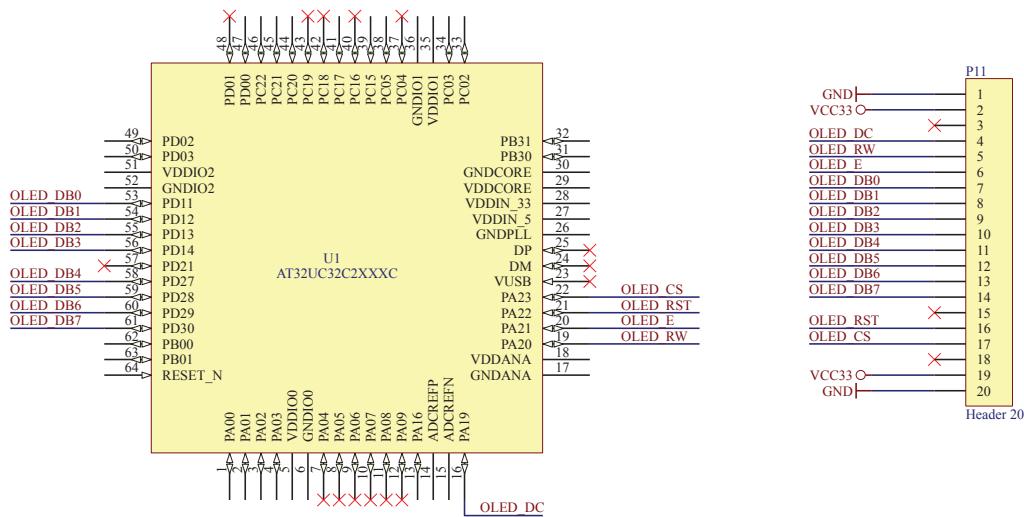


Figura 2.30 Conexión del módulo NHD-2.8-25664UCB2

2.4.3 CONEXIÓN CON EL CONTROLADOR CS4122

2.4.3.1 Descripción del controlador CS4122

El Controlador CS4122 convierte los datos digitales enviados por un microcontrolador en salidas DC complementarias para manejar los indicadores automotrices Micro-Air Core. Este dispositivo está optimizado para manejar un indicador de 360° y dos indicadores de 112° según la configuración indicada en la Figura 2.31.

Los datos digitales son recibidos mediante el bus SPI que soporta una frecuencia de reloj de hasta 2.0MHz. Los datos controlan el voltaje aplicado a cada bobina de los indicadores, en el caso del indicador de 360° se tiene una resolución de 0.35°/bit y en el caso de indicadores de 112° se tiene una resolución de 0.44°/bit.

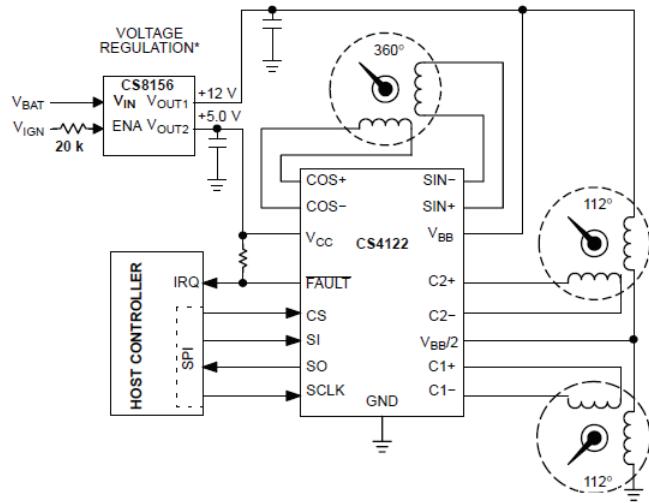


Figura 2.31 Diagrama de aplicación del controlador CS4122, tomado de [2]

Dentro de las características eléctricas más relevantes del dispositivo se tiene [2]:

- Voltaje de alimentación
 - a) Salidas Analógicas V_{BB}: -1.0 a 16.5V
 - b) Circuitos lógicos (V_{CC}): -1.0 a 6.0V
- Voltaje de las entradas digitales
 - a) En nivel alto (1L): 0.7V_{CC} (mín.)
 - b) En nivel bajo (0L): 0.3V_{CC} (máx.)

2.4.3.2 Circuito de conexión

El circuito comprende la conexión del controlador CS4122 con los tres indicadores Micro Air-Core y con el microcontrolador a través del bus SPI. Según las características eléctricas los circuitos digitales del dispositivo se pueden manejar con una fuente de voltaje de 3.3V, pero debido a pruebas realizadas en laboratorio se comprobó que estos circuitos reaccionan únicamente con una fuente de 5V.

Por el inconveniente mencionado se hace uso de las compuertas lógicas 74HC14 para amplificar las señales de 3.3V enviadas por el microcontrolador tal como se muestra en la Figura 2.32.

El pin FAULT (De Colector-Abierto) del controlador sirve para advertir que el dispositivo ha entrado en condición de falla porque las salidas analógicas se

encuentran en cortocircuito o porque se está dando un sobrecalentamiento. Para detectar este evento, dicho pin se conecta al microcontrolador mediante un diodo y una resistencia de Pull-Up.

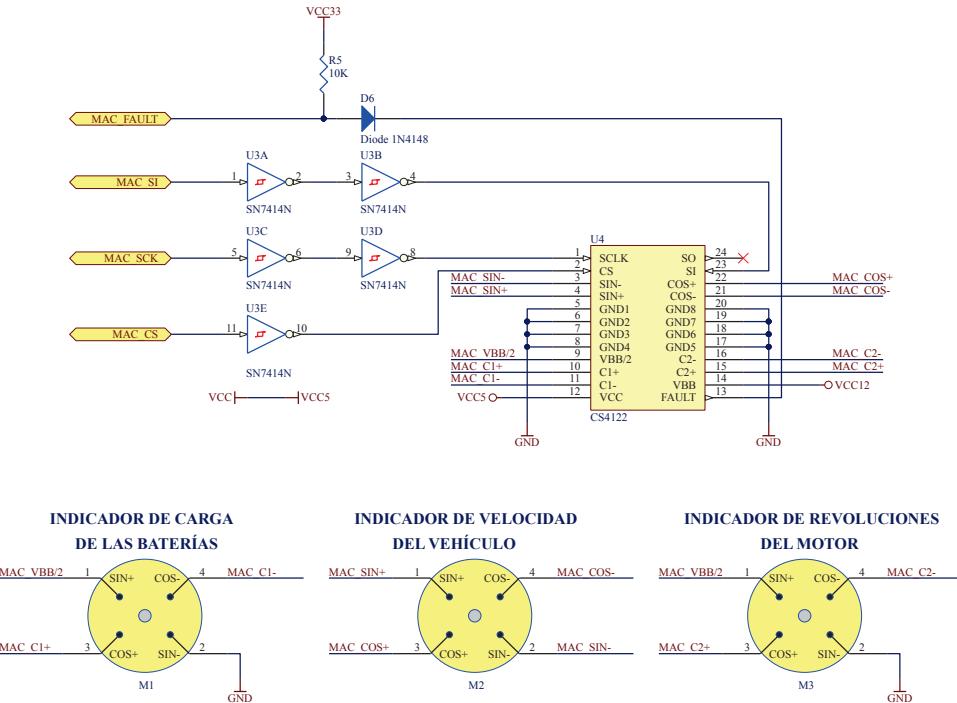


Figura 2.32 Circuito de conexión del controlador CS4122

2.4.4 CONEXIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación del módulo principal, se basa en el uso de diodos LED RGB de alto brillo que son capaces de reproducir una amplia diversidad de colores con tan solo variar el voltaje medio de cada LED interno (Rojo "R", Verde "G", Azul "B") mediante la señales PWM generadas por el microcontrolador.

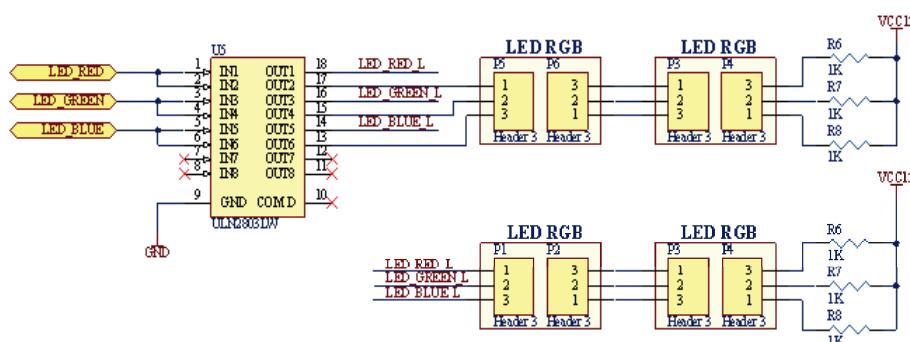


Figura 2.33 Circuito de conexión del controlador CS4122

Puesto que el tablero de instrumentos tiene cuatro LEDs RGB, se decide utilizar un driver UNL2803 conectado como se indica en la Figura 2.33. Cada salida del driver maneja dos LEDs en serie de manera que el circuito equivalente queda como el de la Figura 2.34.

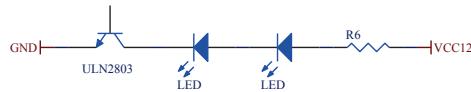


Figura 2.34 Circuito equivalente de cada salida del driver ULN2803

Entonces, las resistencias R6, R7 y R8 se calculan como sigue:

$$R_6 = \frac{V_{CC12} - 2 \times V_D - V_{CE(sat)}}{I_D}$$

$$R_6 = \frac{12V - 2 \times 3,6V \times 0,2V}{20mA} = 306\Omega$$

$$\therefore R_6 = 330\Omega$$

2.4.5 CONEXIÓN CON EL TRANSCEIVER L9616D

El circuito de conexión del transceiver L9616D, es el mismo que se utilizó para el diseño del módulo principal en la sección 2.3.5 pero, considerando que este dispositivo funciona únicamente a $5V$, es necesario que la línea de transmisión RXO que va hacia el microcontrolador sea limitada a $3.3V$. Para ello se añade el circuito compuesto por la resistencia R4 y D1 cuyo funcionamiento es el descrito en la sección 2.3.4.2.

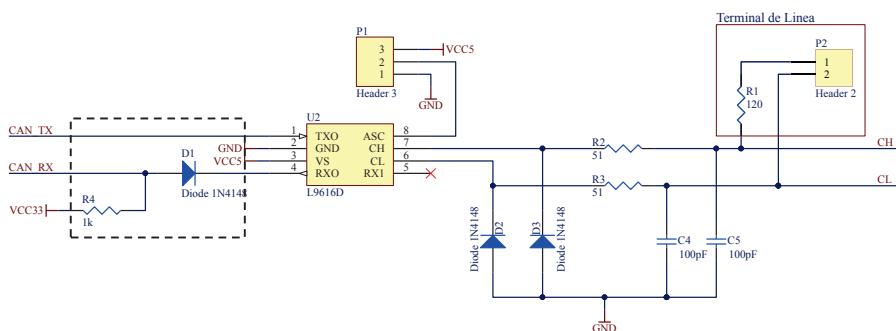


Figura 2.35 Circuito de conexión del Transceiver L9616D

2.4.6 CONEXIÓN CON EL SENSOR DE EFECTO HALL

Para la medición de velocidad del vehículo se usa un sensor de un vehículo comercial que está basado en el circuito integrado *UGS3060KA* desarrollado por la empresa Allegro MicroSystems la cual fabrica una gran cantidad de dispositivos especialmente diseñados para aplicaciones automotrices.

2.4.6.1 Descripción del circuito Integrado UGS3060KA[24]

El circuito integrado UGS3060KA es un dispositivo que posee dos sensores de efecto Hall internos que responden a los cambios magnéticos diferenciales creados por cuerpos ferrosos móviles. Este dispositivo es ideal para detectar la velocidad con que los dientes de los engranajes se desplazan cuando están en movimiento.

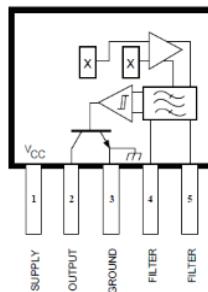


Figura 2.36 Estructura interna del dispositivo UGS3060KA, tomado de [24]

Como se observa en la Figura 2.36, el circuito integrado incluye un regulador de voltaje, dos sensores de efecto Hall, circuitos para compensación de temperatura, un filtro pasa banda, un disparador de Schmitt y una salida de colector abierto. El regulador a bordo permite el funcionamiento del dispositivo con fuentes de alimentación entre **4.5** y **24V**. La salida puede conmutar cargas que exijan como máximo una corriente de **20mA** en todo el rango de frecuencias de trabajo que asciende hasta **30KHz**.

2.4.6.1.1 Modo de Operación

Los dos sensores de efecto Hall internos (E1 y E2) son usados para medir al campo magnético diferencial a través de la cara del dispositivo.

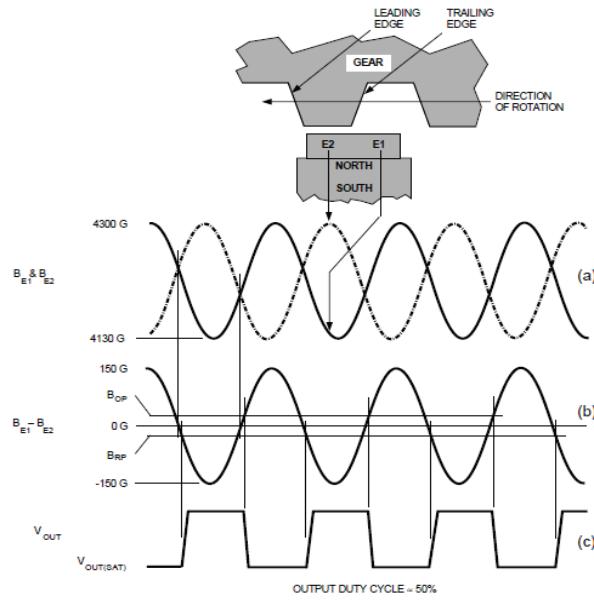


Figura 2.37 Operación del dispositivo UGS3060KA, tomado de [24]

El movimiento del piñón genera un campo magnético desfasado en los sensores E1 y E2 (Figura 2.37 (a)), un circuito interno resta el campo en estos dos elementos (Figura 2.37 (b)), y la señal resultante es pasada por un filtro pasa banda que elimina la componente continua para ser introducida en el disparador de Schmitt. Finalmente el disparador de Schmitt es quien cambia la salida del transistor en los límites BOP y BRP (Figura 2.37 (c)). La polaridad de la salida depende de la orientación del campo magnético generado por el imán detrás de la cara opuesta del circuito integrado.

2.4.6.2 Circuito de Conexión

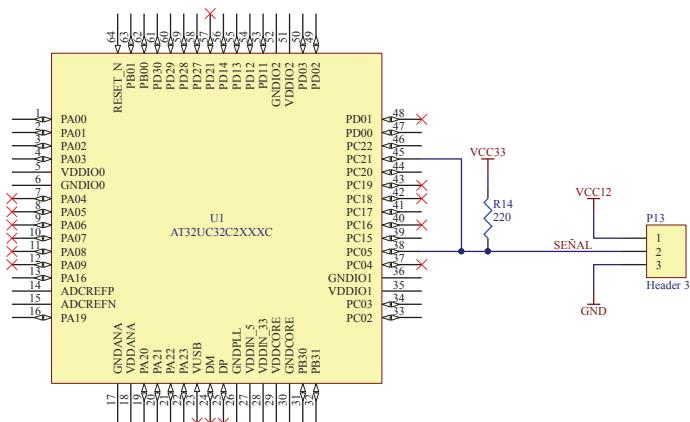


Figura 2.38 Circuito para la conexión del sensor de efecto Hall

Dado que el sensor comercial adquirido solo dispone de dos pines de alimentación y un pin de salida, el circuito solo consta de una resistencia de Pull-Up entre la fuente de **3.3V** y el pin de salida que se conecta directamente a dos pines del microcontrolador cuyas cualidades se describen en el capítulo de software.

Para dimensionar la resistencia de Pull-Up se toma en cuenta que la salida del sensor solo puede manejar una corriente de **20mA**, de manera que despreciando la corriente de entrada al microcontrolador, la resistencia sería:

$$R_{14} = \frac{VCC33 - VCE_{sat}}{I_{R_{14}}}$$

$$R_{14} = \frac{3,3V - 0,2V}{20mA} = 155\Omega$$

Pero para evitar que la corriente exceda los **20mA** se asume una corriente aproximada de **15mA**, entonces:

$$R_{14} = \frac{VCC33 - VCE_{sat}}{I_{R_{14}}}$$

$$R_{14} = \frac{3,3V - 0,2V}{15mA} = 206,6\Omega$$

$$\therefore R_{14} = 220\Omega$$

2.4.7 MÁSCARA DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS

Para el diseño de la máscara del módulo de instrumentos, se toma como referencia el panel de instrumentos del vehículo Chevrolet Spark (Figura 2.39) que contiene tres indicadores analógicos para mostrar el nivel de combustible, velocidad y revoluciones del motor, y también un indicador digital tipo LCD sobre el cual se muestra la hora y el contador de kilómetros recorridos además del odómetro cuando el conductor lo deseé.



Figura 2.39 Tablero de Instrumentos del vehículo Chevrolet Spark

Previo al diseño de la máscara del módulo de instrumentos primero se considera que en lugar del indicador de combustible observado en la Figura 2.39, se debe tener un indicador que muestre el nivel de carga de las baterías dentro del cual el vehículo eléctrico EVEO funciona adecuadamente y, también la velocidad y revoluciones del motor al que podría llegar el prototipo, en este caso 100Km/h y 4000rpm respectivamente según datos otorgados.

Como segunda parte se toma en cuenta los ángulos de variación entre los cuales pueden desplazarse cada una de las agujas, para ello se recurre a la configuración del controlador CS4122 mostrada en la Figura 2.31, donde se puede ver claramente que el driver brinda la posibilidad de desplazar a una aguja un total de 360° y a las otras dos un total de 112° . Con estos antecedentes, se decide entonces que la aguja del indicador de carga en las baterías va a desplazarse 90° , la del indicador de velocidad 220° y la del indicador de revoluciones del motor 110° .

Con todos estos datos mediante el programa de diseño gráfico Adobe Illustrator, se realiza la máscara de la Figura 2.40.



Figura 2.40 Máscara del Módulo de Instrumentos

Las distancias y disposición de los motores son las mismas que en el tablero del vehículo Chevrolet Spark, ya que para la ubicación de las tarjetas electrónicas diseñadas para este módulo se utiliza dicho tablero.

2.4.8 SISTEMA PARA LA UBICACIÓN DEL SENSOR DE EFECTO HALL

Para realizar la medición de velocidad es necesario ubicar el sensor en una parte fija del chasis del vehículo de tal forma que este se encuentre apuntando a un engranaje acoplado al eje que trasmite el movimiento a la rueda.

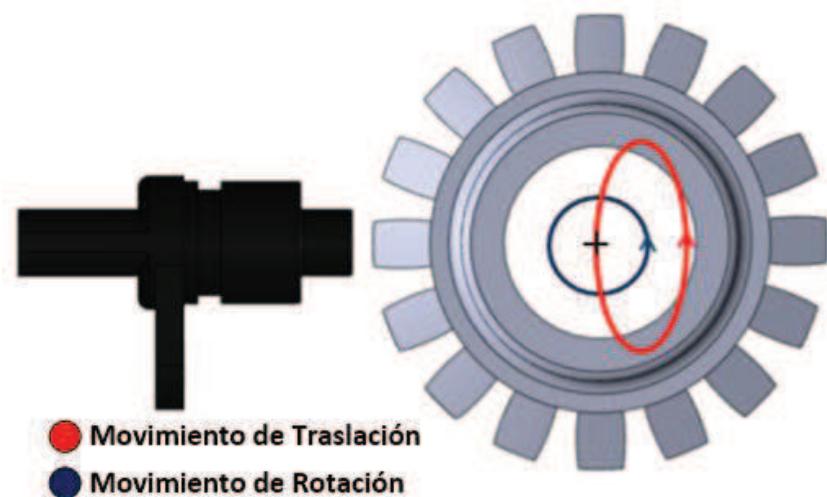


Figura 2.41 Ejemplo del movimiento del eje de la rueda

Sin embargo, debido a pruebas realizadas en el vehículo se observó que el eje más adecuado para este efecto ejecuta un movimiento de translación a más del movimiento de rotación que eventualmente afecta la separación entre el engranaje y el sensor. En la Figura 2.41, se muestra un ejemplo ficticio que ilustra este problema considerando que el sensor de velocidad se está fijo en el chasis y el engranaje se mueve según las trayectorias dibujadas en rojo y azul.

Para solucionar este problema, se idea un sistema que permita que el sensor de velocidad se mantenga fijo respecto del movimiento de rotación, pero que a la vez se mueva en la trayectoria de translación con el objetivo de que el sensor de efecto Hall interno, siempre mantenga una separación de no más de 3mm respecto de la parte más sobresaliente del engranaje.

En la Figura 2.42 se ilustra un despiece de la estructura del sistema mencionado, donde se indican las partes que lo componen y en el orden que van acopladas.

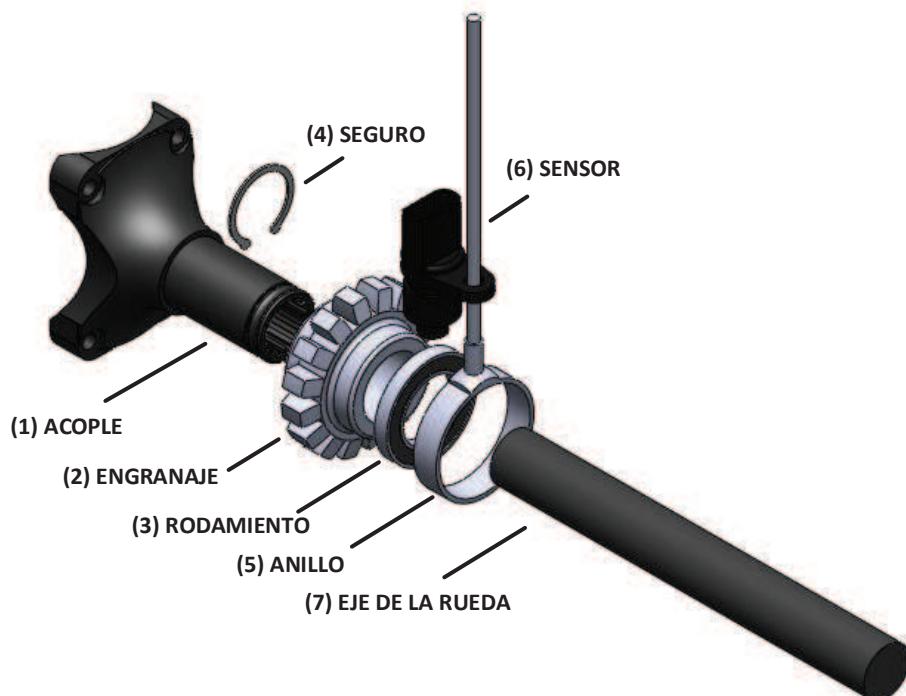


Figura 2.42 Estructura del sistema para la ubicación del sensor de velocidad

En el ensamblaje final del sistema, el engranaje y el rodamiento van montados a presión sobre el parte del acople, luego la parte del anillo va montada sobre la parte externa del rodante hasta que el sensor quede perfectamente alineado sobre el engranaje. La barra vertical que forma parte del anillo, sirve para regular la distancia de separación entre los dientes del engranaje y el sensor y, también para evitar que el sensor rote con el eje de la rueda.

2.5 DISEÑO DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN

En este módulo se procede al diseño de los circuitos necesarios para la medición de los diferentes parámetros especificados en la sección 2.2.3 según el orden que se ha indicado en la Tabla 2.1. Puesto que aquí se hace necesario únicamente el uso de un conversor A/D y una entrada digital, se utiliza el microcontrolador de 8 bits ATmega16M1 por ofrecer estos dos requerimientos además de un módulo interno para la comunicación CAN.

2.5.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO

El circuito de procesamiento de este módulo está basado en el microcontrolador ATmega16M1, cuyo circuito básico que comprende la conexión de los pines de alimentación, reset y cristal externo como se muestra en el circuito de la Figura 2.43.

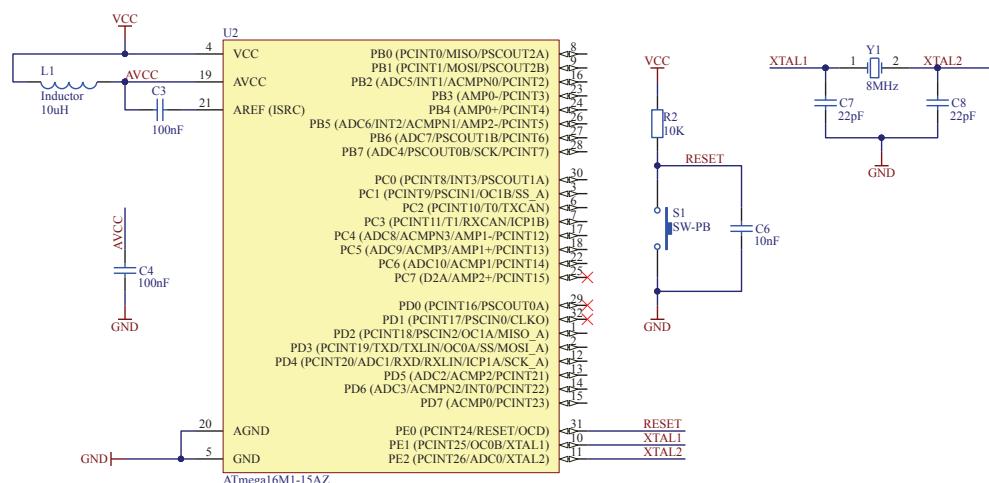


Figura 2.43. Circuito de procesamiento del módulo de adquisición

Para el uso del conversor A/D del microcontrolador es necesario polarizar los pines de alimentación del módulo analógico: AVCC, AGND. Para reducir el ruido a causa de la interferencia electromagnética EMI, el pin AVCC se conecta hacia la fuente VCC mediante una red LC de 10uH y 100nF como se especifica en la hoja de datos.

El conversor A/D requiere adicionalmente alimentar la referencia analógica, la cual puede ser interna o externa; en este caso se usa la referencia externa conectando el pin AREF hacia AVCC mediante un capacitor de 100nF.

Tomando en cuenta que la comunicación a través de la Red CAN es realizada de manera asincrónica se usa un cristal de 8MHz como fuente de reloj primaria del microcontrolador para garantizar que los tiempos en la transmisión de los bits sean los correctos.

2.5.1.1 Asignación de pines

Para realizar esta asignación se toman en cuenta los pines para la programación del microcontrolador y también los pines para la medición de todos los parámetros del vehículo para lo cual es necesario tener 22 entradas analógicas, pero como el microcontrolador solo posee 10, se hace uso de 2 multiplexores analógicos externos con los cuales se consigue incrementar las entradas analógicas a un total de 24.

Tabla 2.6 Asignación de pines del microcontrolador ATmega16M1

TERMINALES			DESCRIPCIÓN
NÚMERO	NOMBRE	DESTINO	
1	PD2	MISO	
2	PD3	MOSI	
12	PD4	SCK	Puerto SPI para programación del microcontrolador
31	PE0	RESET	
6	PC2	TXCAN	
7	PC3	RXCAN	Bus CAN
26	PB5	VO_M0	Salida del multiplexor analógico 0
27	PB6	VO_M1	Salida del multiplexor analógico 1
8	PB0	EN0	Pines de habilitación de los multiplexores 0 y 1
9	PB1	EN1	
16	PB2	A0	Líneas de dirección compartidos por los multiplexores 0 y 1
23	PB3	A1	
24	PB4	A2	
17	PC4	ADC8	
18	PC5	ADC9	
22	PC6	ADC10	Entradas analógicas no multiplexadas externamente
13	PD5	ADC2	
14	PD6	ADC3	
15	PD7	KP_NA	Entrada digital para detección del Contactor Principal
30	PC0	LED1	
3	PC1	LED2	LEDs de propósito general

2.5.2 CIRCUITO DE MULTIPLEXADO

El circuito de multiplexado, está compuesto de 2 multiplexores DG408 cuyas entradas digitales y sus salidas analógicas van conectadas al microcontrolador según lo indicado en la Tabla 2.6.

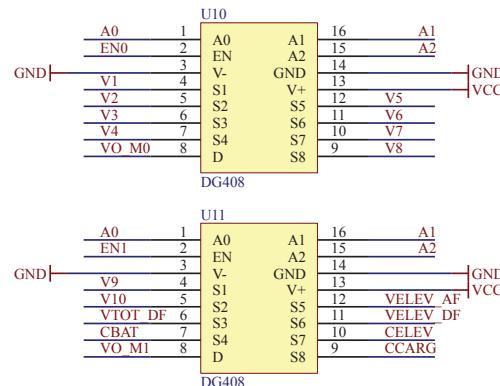


Figura 2.44. Circuito de multiplexado

Las entradas analógicas van conectadas según lo indicado por la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Entradas analógicas del circuito de multiplexado

MUX	ENTRADA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
0	S1	V1	Medición del voltaje de cada una de las 10 baterías que componen el banco
	S2	V2	
	S3	V3	
	S4	V4	
	S5	V5	
	S6	V6	
	S7	V7	
	S8	V8	
1	S1	V9	Medición del voltaje total del banco de baterías después del fusible.
	S2	V10	
	S3	VTOT_DF	
	S4	CBAT	Medición de la corriente suministrada por el banco de baterías.
	S5	VELEV_AF	Medición del voltaje de salida del conversor elevador antes y después del fusible.
	S6	VELEV_DF	Medición de la corriente de salida del conversor elevador y del cargador de las baterías.
	S7	CELEV	
	S8	CCARG	

2.5.3 MEDICIONES EN EL BANCO DE BATERÍAS

En el banco formado por 10 baterías de plomo conectadas en serie se realizan las mediciones de parámetros como el voltaje individual de cada batería, la corriente suministrada, la corriente de carga y la temperatura.

2.5.3.1 Medición de voltaje

La medición de voltaje de cada una de las baterías es necesario realizarla de manera diferencial con el objetivo que cada una de ellas pueda ser medida directamente a través del conversor analógico y de esta manera poder obtener el voltaje total mediante un sumatorio.

Como un antecedente previo al diseño de los circuitos correspondientes a esta parte, se sabe que cada batería completamente cargada tiene un voltaje de **13.8V**, pero por darle un margen de seguridad se asume un máximo de **20V**, ya que de observaciones realizadas durante el momento de carga, se vio que pueden superar fácilmente los **13.8V**.

Entonces para realizar la medición, se idea primeramente el circuito de la Figura 2.45 que permite obtener un voltaje diferencial por cada batería mediante el uso de divisores de voltaje en base a resistencias.

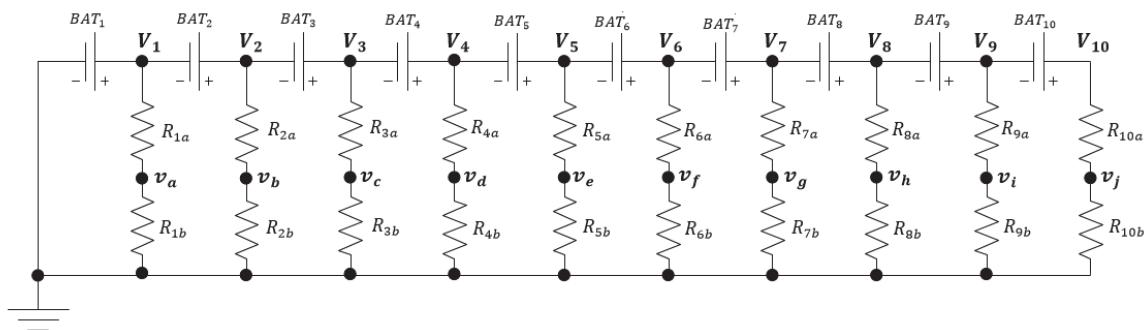


Figura 2.45 Circuito para la obtención de voltajes diferenciales

Para lograr que todas las resistencias superiores e inferiores de cada divisor de voltaje sean iguales entre sí, se hace que el voltaje máximo en v_j sea **5V** y que v_i hasta v_a vayan disminuyendo en una proporción de **0.5V** con el objetivo que cada

batería a **20V** genere un voltaje diferencial de **0.5V** el cual luego será amplificado 10 veces. La Tabla 2.8 ilustra numéricamente lo mencionado en este párrafo.

Tabla 2.8 Voltajes en las baterías y divisores respecto a su referencia

Voltajes de Baterías	Voltajes en el divisor
$V_{10} = 200[V]$	$v_j = 5.0[V]$
$V_9 = 180[V]$	$v_i = 4.5[V]$
$V_8 = 160[V]$	$v_h = 4.0[V]$
$V_7 = 140[V]$	$v_g = 3.5[V]$
$V_6 = 120[V]$	$v_f = 3.0[V]$
$V_5 = 100[V]$	$v_e = 2.5[V]$
$V_4 = 80[V]$	$v_d = 2.0[V]$
$V_3 = 60[V]$	$v_c = 1.5[V]$
$V_2 = 40[V]$	$v_b = 1.0[V]$
$V_1 = 20[V]$	$v_a = 0.5[V]$

De esta manera se puede ver que los voltajes de las baterías respecto a tierra mantienen la misma proporción con los voltajes en los divisores respectivos, es decir:

$$\begin{aligned} V_1 &= 40v_a \\ V_2 &= 40v_b \\ V_3 &= 40v_c \\ &\vdots \\ V_{10} &= 40v_i \end{aligned}$$

Para calcular los valores de las resistencias, se parte desde las relaciones que se pueden extraer fácilmente del circuito de la Figura 2.50:

$$\begin{aligned} v_a &= \frac{R_{1b}}{R_{1a} + R_{1b}} V_1 \\ v_b &= \frac{R_{2b}}{R_{2a} + R_{2b}} V_2 \\ v_c &= \frac{R_{3b}}{R_{3a} + R_{3b}} V_3 \\ &\vdots \\ v_j &= \frac{R_{10b}}{R_{10a} + R_{10b}} V_2 \end{aligned}$$

Concatenando las relaciones obtenidas por la Tabla 2.8 y por la Figura 2.50, se puede concluir que:

$$\frac{R_{1b}}{R_{1a} + R_{1b}} = \frac{R_{2b}}{R_{2a} + R_{2b}} = \frac{R_{3b}}{R_{3a} + R_{3b}} = \dots = \frac{R_{10b}}{R_{10a} + R_{10b}} = \frac{1}{40}$$

Entonces, basta calcular únicamente un divisor de voltaje ya que el resto tiene exactamente los mismos valores de resistencias justo como se quería.

$$\frac{R_{1b}}{R_{1a} + R_{1b}} = \frac{1}{40}$$

$$R_{1a} = 39R_{1b}$$

Asumiendo que la resistencia $R_{1b} = 10K\Omega$ se tiene que $R_{1a} = 390K\Omega$, valores que no necesitan ser aproximados debido a que son valores estándar.

Para el cálculo de la potencia que disipa cada resistencia se toma el caso más crítico que se da en la batería BAT_{10} puesto que el voltaje (V_{10}) en su terminal positivo con respecto a tierra sería $200[V]$, entonces:

$$I_{10} = \frac{V_{10}}{R_{10a} + R_{10b}}$$

$$I_{10} = \frac{200V}{390K\Omega + 10K\Omega} = 500uA$$

$$P_{R_{10a}} = I_{10}^2 \times R_{10a}$$

$$P_{R_{10a}} = (500uA)^2 \times 390K\Omega = 97.5mW$$

$$P_{R_{10b}} = I_{10}^2 \times R_{10b}$$

$$P_{R_{10b}} = (500uA)^2 \times 10K\Omega = 2.5mW$$

Como se puede observar en los cálculos, es más que suficiente utilizar resistencias de $1/4W$.

Ahora, una vez calculados los divisores de voltaje se procede a diseñar los circuitos amplificadores, partiendo de que cada voltaje diferencial de máximo $0.5V$ generado por cada batería, será leído por el conversor A/D del microcontrolador que permite leer hasta máximo $5V$ con una resolución de 10bits.

Puesto que la señal amplificada debe tener la referencia del circuito de lectura, se usa un amplificador diferencial con seguidores de voltaje.

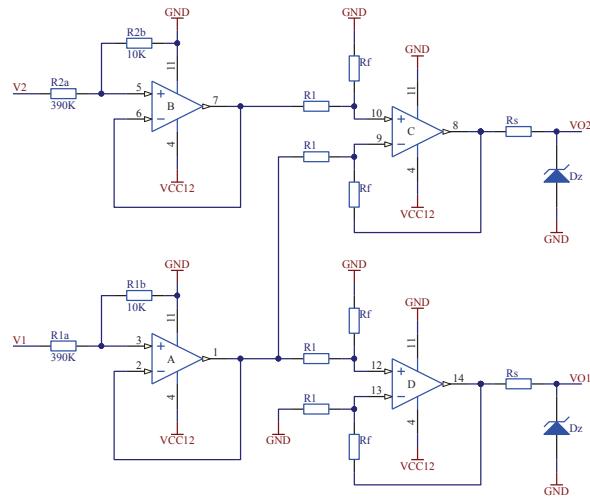


Figura 2.46 Circuito de amplificación para voltajes diferenciales

En el circuito de la Figura 2.46, solo se muestran los 2 primeros amplificadores de los 10 que son en total.

La ganancia del amplificador diferencial está dada por:

$$\Delta_1 = \frac{R_f}{R_1} = 10$$

$$R_f = 10R_1$$

Asumiendo que $R_1 = 10K\Omega$ se tiene que $R_f = 100K\Omega$.

Adicionalmente, para garantizar que la señal de salida del amplificador diferencial nunca supere los **5V** incluso en condiciones de saturación (en esta condición la salida puede llegar a **10V** ya que la fuente de alimentación es de **12V**), se añade el circuito limitador de voltaje en base a la resistencia R_s y el diodo zener 1N4733A cuyo voltaje de ruptura $V_z = 5.1V$ y la corriente inversa máxima $I_{ZK} = 50mA$. El valor de la resistencia R_s se calcula a continuación.

$$R_s = \frac{V_{o_{sat}} - V_z}{I_{ZK}}$$

$$R_s = \frac{10V - 5.1V}{5mA} = 980\Omega$$

$$\therefore R_s \approx 1K\Omega$$

2.5.3.2 Medición de corriente

Para la medición de la corriente suministrada por el banco de baterías y la corriente de carga del mismo, se hace uso del circuito integrado ACS758ECB-200B cuyas características se describen a continuación [25].

2.5.3.2.1 Descripción de C.I. ACS758ECB-200B

El circuito integrado ACS758ECB-200B, es un sensor lineal de corriente basado en el efecto Hall que usa un conductor integrado de una resistencia de **100 $\mu\Omega$** que presenta los siguientes beneficios:

- Ancho de Banda de **120KHz**.
- Salida de voltaje proporcional para señales de corrientes AC y DC.
- Tiempo de respuesta de **3 μ s** para señales de corriente tipo rampa.
- Histéresis magnética muy cercana a cero.

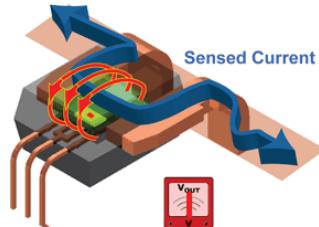


Figura 2.47 Estructura interna del sensor ACS758

Sus principales características tanto eléctricas como de aislamiento son [25]:

- Temperatura de operación: -40 a +85°C.
- Temperatura de almacenamiento: -65 a +165°C.
- Voltaje de alimentación (VCC): +3.3 a +8V.
- Corriente Primaria (IP): $\pm 200A$.
- Sobrecorriente(IPOC)
 - a) A Ta = 25°C 1000A durante 1s.

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| b) A Ta = 85°C | 900A durante 1s. |
| c) A Ta = 150°C | 600A durante 1s. |
| • Sensibilidad: | 10mV/A. |
| • Sobrecorriente (IOP) durante 1s: | 1200A a 25°C, 900A a 85°C. |
| • Voltaje de aislamiento (VISO): | 4800VAC. |

La respuesta del sensor considerando su sensibilidad se puede describir con la siguiente ecuación:

$$v_o(t) = 0,01 \times i(t) + 2,5V$$

De manera que para una corriente $i(t) = 200A \times \text{sen}(wt)$, la respuesta del sensor sería una señal como la que se muestra en la Figura 2.48.

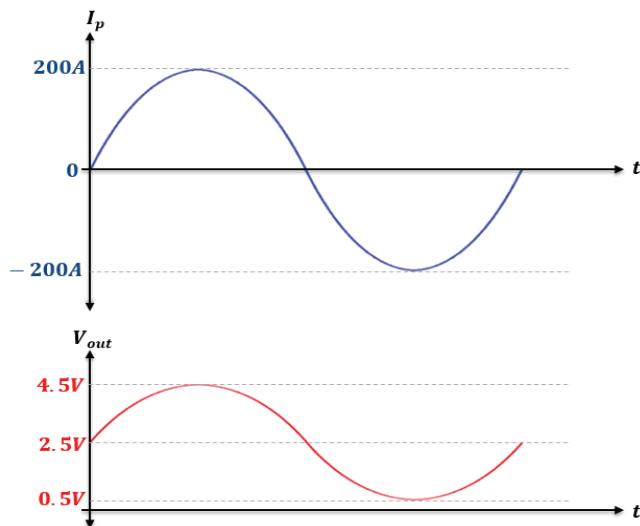


Figura 2.48 Respuesta del sensor ACS758ECB-200B frente a la entrada
 $i(t) = 200A \text{sen}(wt)$

2.5.3.2.2 Circuitos de conexión

Para el diseño de los circuitos se parte de que, tanto la corriente de carga como la corriente suministrada por el banco de baterías no exceden el valor de **50A** lo que significa que la sensibilidad del sensor elegido es baja en relación al rango de medición, por tal motivo se procede a realizar un amplificador que permita mejorar la sensibilidad a **50mV/A** según los parámetros de la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Parámetros para la medición de corriente

Corriente a Medir [A]	Respuesta del sensor [V]	Respuesta del amplificador [V]
50	3	5
0	2,5	2,5
-50	2	0

Graficando estos parámetros, se obtiene la ecuación que describe el amplificador a diseñarse.

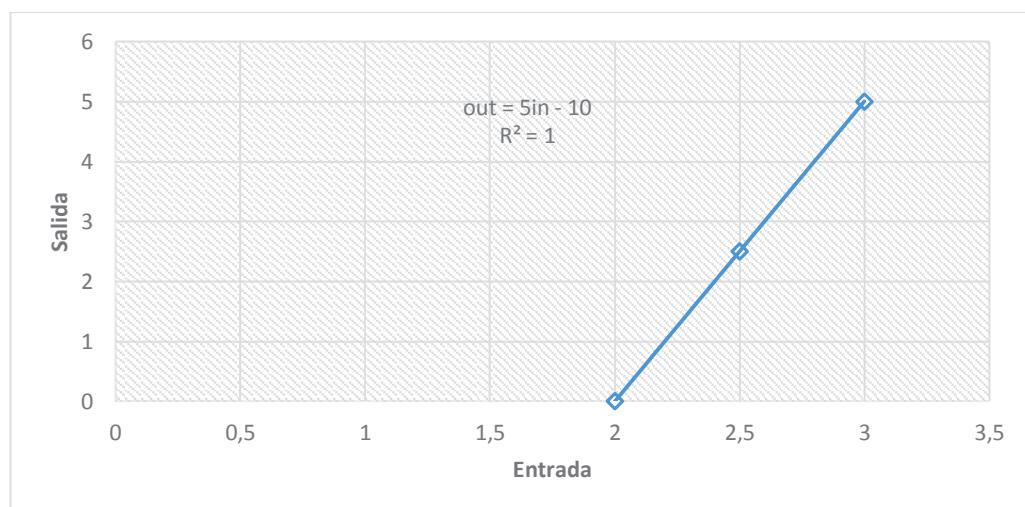


Figura 2.49 Respuesta del amplificador para el sensor ACS758ECB-200B

Escribiendo de otra manera la ecuación que se indica en la Figura 2.49 se tiene:

$$\text{Out} = 5(\text{in} - 2)$$

Lo cual se puede obtener mediante un amplificador diferencial con ganancia de 5 en cuya entrada positiva tiene la señal a amplificar y en su entrada negativa un voltaje fijo de 2V que se puede conseguir mediante un divisor de voltaje con un potenciómetro acoplado a un seguidor emisor, tal como se indica en el circuito de la Figura 2.50.

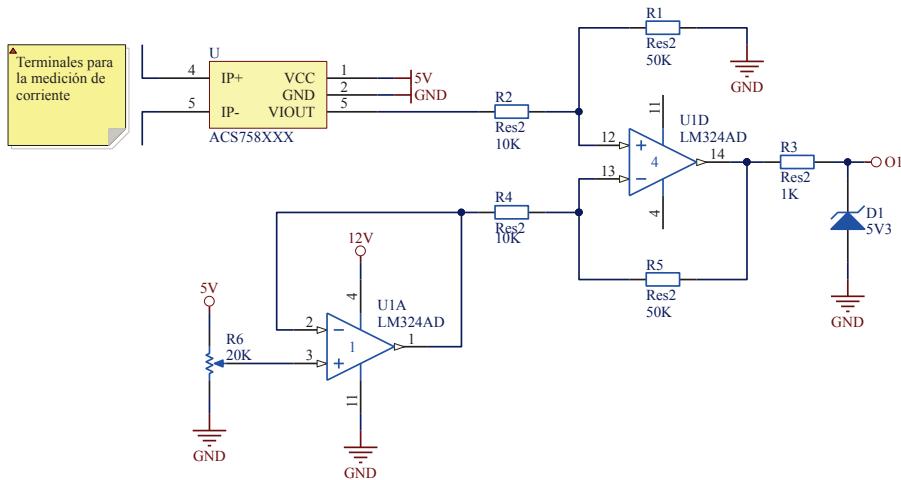


Figura 2.50 Circuito amplificador para el sensor ACS758ECB-200B

Según la Tabla 2.7, la salida de cada amplificador se conecta a la entrada del multiplexor analógico correspondiente a través del circuito limitador entre el diodo zener y la resistencia.

2.5.3.3 Medición de temperatura

Físicamente el banco de baterías está dispuesto en dos grupos y por tal motivo se decide utilizar dos sensores LM35 con el fin de obtener la temperatura de cada uno, tal como se ilustra en la Figura 2.51.

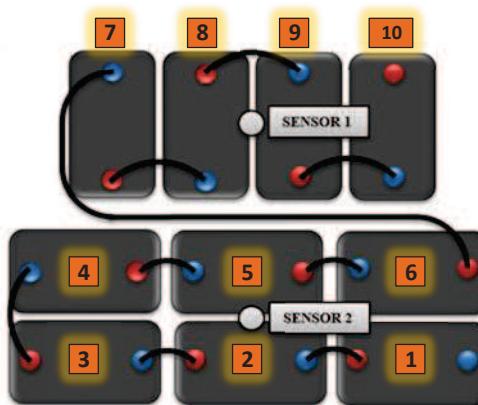


Figura 2.51 Ubicación de los sensores de temperatura.

Puesto que el sensor LM35 brinda una señal de respuesta con una sensibilidad de $10mV/\text{°C}$, se procede a usar un amplificador con una ganancia de 4 para lograr que a 100°C el voltaje de salida alcance una amplitud de $4V$, y con ello tener una mayor precisión en el rango de $0 - 100\text{°C}$.

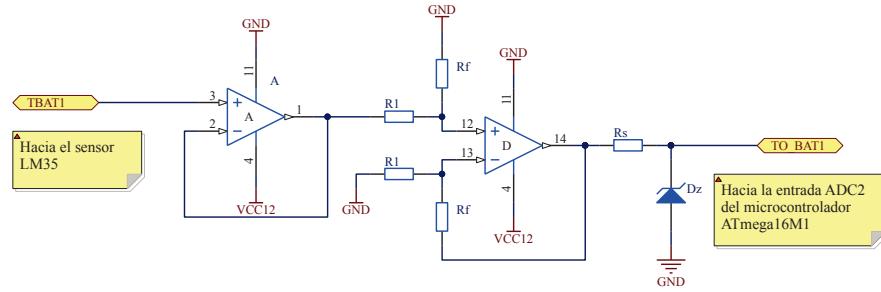


Figura 2.52 Circuito para la medición de temperatura de las baterías

$$\Delta_1 = \frac{R_f}{R_1} = 4$$

$$R_f = 10R_1$$

Asumiendo que $R_1 = 100K\Omega$ se tiene que $R_f = 400K\Omega$, pero debido a que este no es un valor estándar se aproxima a $R_f = 390K\Omega$ con lo que se logra una ganancia de 3.9.

2.5.4 MEDICIONES EN EL CONVERSOR DC/DC

2.5.4.1 Medición del estado del fusible a la entrada

El estado del fusible se determina mediante la medición de voltaje antes y después del mismo, de tal forma que se pueda discernir si este se ha fundido o no, con una simple comparación de voltaje.

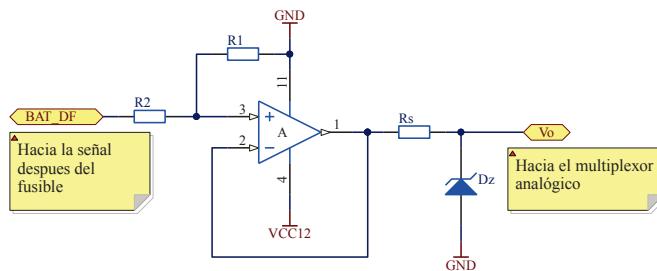


Figura 2.53 Circuito para medición de voltaje después del fusible

Teniendo en cuenta que el voltaje antes del fusible es el mismo que del banco de baterías, solo se realiza la medición después del fusible. Para ello se considera que al voltaje máximo de 200V, la salida del divisor dará 5V.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{BAT\langle DF \rangle}$$

$$5V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 200V$$

$$R_1 = 39R_2$$

Asumiendo que $R_2 = 10K\Omega$ se tiene que $R_1 = 390K\Omega$.

La salida del circuito mostrado en la Figura 2.53, se conecta a un multiplexor analógico según lo indicado en la Tabla 2.7.

2.5.4.2 Medición del voltaje de salida

Para la medición del voltaje de salida se utiliza un divisor de voltaje en base a resistencias de tal manera que en el voltaje máximo este genere una señal de $5V$.

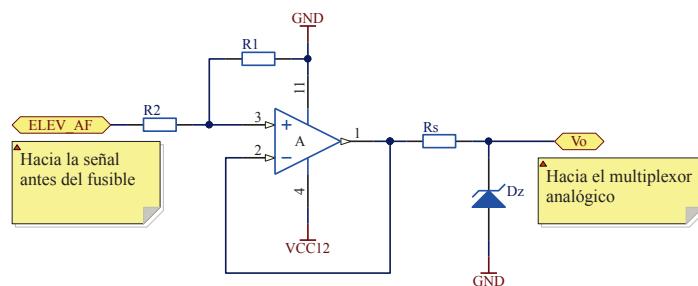


Figura 2.54 Circuito de medición del voltaje de salida del conversor DC/DC

Para establecer el valor del voltaje máximo no solo se considera el voltaje de salida del convertidor, ya que al estar conectado a un puente inversor este valor puede incrementarse debido a los efectos de la regeneración de energía. De los datos proporcionados se tiene que el voltaje máximo puede llegar a $450V$, pero para darle un margen de seguridad se asume $500V$, entonces:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ELEV\langle AF \rangle}$$

$$5V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 500V$$

$$R_1 = 99R_2$$

Asumiendo que $R_2 = 10K\Omega$ se tiene que $R_1 = 990K\Omega$, pero debido a que este no es un valor estándar se aproxima a $R_1 = 1M\Omega$ con lo que se lograría tener un voltaje máximo de hasta $505V$.

2.5.4.3 Medición de la corriente de salida

Para la obtención del parámetro de corriente de salida se usa el circuito integrado ACS758ECB-200B y el circuito amplificador descrito en la sección 2.5.3.2.2

2.5.5 MEDICIONES EN EL INVERSOR TRIFÁSICO

El inversor trifásico es el encargado de convertir la señal de voltaje de corriente continua proveniente del conversor DC/DC elevador en una señal de voltaje de corriente alterna con magnitud y frecuencia variable apta para alimentar el motor trifásico de inducción.

2.5.5.1 Medición del estado del fusible a la entrada

Al igual que en la sección 2.5.4.2, el estado del fusible se determina a través de una comparación de voltajes. Considerando que el voltaje de salida del conversor DC/DC elevador es el mismo voltaje antes del fusible, solo se hace la medición del voltaje después del fusible mediante el circuito de la Figura 2.55.

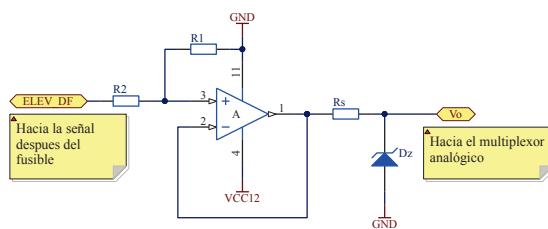


Figura 2.55 Circuito para medición de voltaje después del fusible

2.5.5.2 Medición de la frecuencia de salida

La frecuencia de salida que tiene una variación de **0 a 80Hz** es controlada por un algoritmo en el sistema de pedales que permite generar rampas de aceleración y desaceleración según la posición de los pedales del acelerador y el freno.

Para la medición de este parámetro se procede a hacer una réplica del acondicionamiento usado en el sistema de pedales que consiste en aplicar un filtro pasa bajos a la señal tipo PWM correspondiente al acelerador.

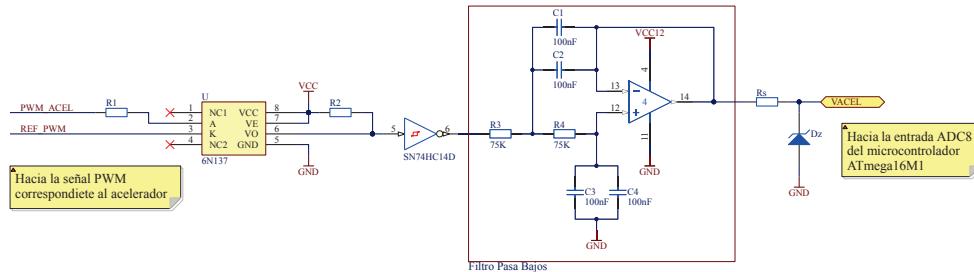


Figura 2.56 Circuito para la medición de la frecuencia del inversor

Como se observa en la Figura 2.56, primeramente se reproduce la señal PWM con la nueva referencia mediante un optoacoplador 6N137 y una compuerta NOT, luego se aplica el filtro pasa bajos con los valores originales de resistencias y capacitores de manera que no haya ninguna variación de la señal de salida respecto de la original. Según la hoja de datos del optoacoplador, para garantizar el encendido del emisor cuando la entrada está en **1L** (es decir $V_{1L} = 5V$), se tiene que la corriente y voltaje del LED son $I_F = 15mA$ y $V_F = 1.8V$ respectivamente. De manera que la resistencia limitadora de corriente R_1 se calcula mediante:

$$R_1 = \frac{V_{1L} - V_F}{I_F}$$

$$R_1 = \frac{5V - 1.8V}{15mA} = 213.3\Omega$$

$$\therefore R_1 = 220\Omega$$

Considerando que la salida del optoacoplador es de colector abierto, se ubica la resistencia de Pull-Up cuyo valor recomendado es $R_2 = 1K\Omega$.

2.5.5.3 Medición del estado del freno

La señal proveniente del pedal del freno es acondicionada de la misma manera que la señal de acelerador, de manera que el circuito de medición de este parámetro es muy semejante al circuito de la Figura 2.57.

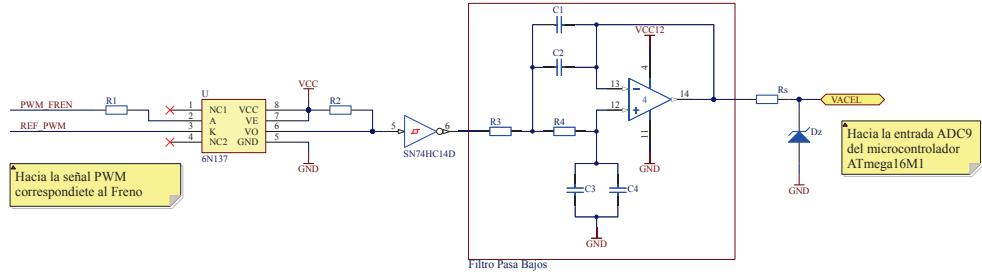


Figura 2.57 Circuito para la medición del estado del freno

2.5.6 MEDICIONES EN EL MOTOR

2.5.6.1 Medición de temperatura

Para la medición de temperatura se usa un sensor de LM35 ubicado en la carcasa del motor, el circuito de acondicionamiento sigue las mismas reglas de diseño consideradas en la sección 2.5.3.3 y por tanto los valores de los elementos usados son los mismos.

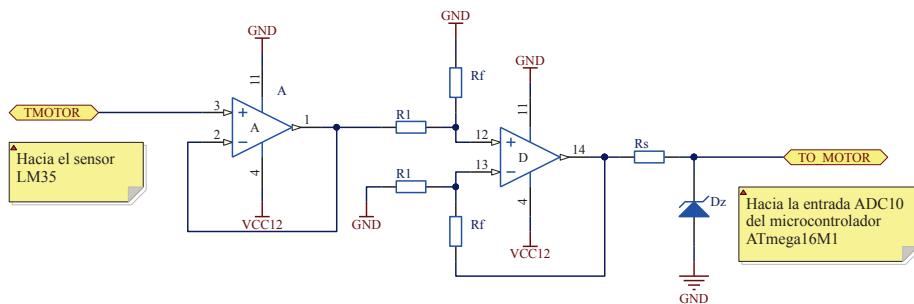


Figura 2.58 Circuito para la medición de temperatura del motor

2.5.6.2 Medición de las revoluciones

La obtención de la velocidad del motor se realiza por software mediante una estimación en base la frecuencia de salida del inversor y el número de polos del motor según la siguiente ecuación:

$$\omega_s = \frac{120f}{p}$$

Debido al deslizamiento del motor existe un ligero error respecto de la velocidad real.

2.6 DISEÑO DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA

En este módulo se realiza el diseño de los circuitos necesarios para el indicador de hora del vehículo, para ello se hace uso del microcontrolador ATmega16M1 trabajando en modo extendido con la finalidad de incrementar el número de salidas digitales que son utilizadas para encender cada uno de los segmentos del display de tecnología VFD elegido.

2.6.1 CIRCUITO DE PROCESAMIENTO

El circuito de procesamiento que está basado en el microcontrolador ATmega16M1, se realiza las conexiones de los pines de alimentación, circuito de reset, cristal externo de la manera que se indica en la Figura 2.59. Los pines AVCC, AREF y AGND que forman parte del conversor A/D no son conectados a fin de reducir el consumo de energía.

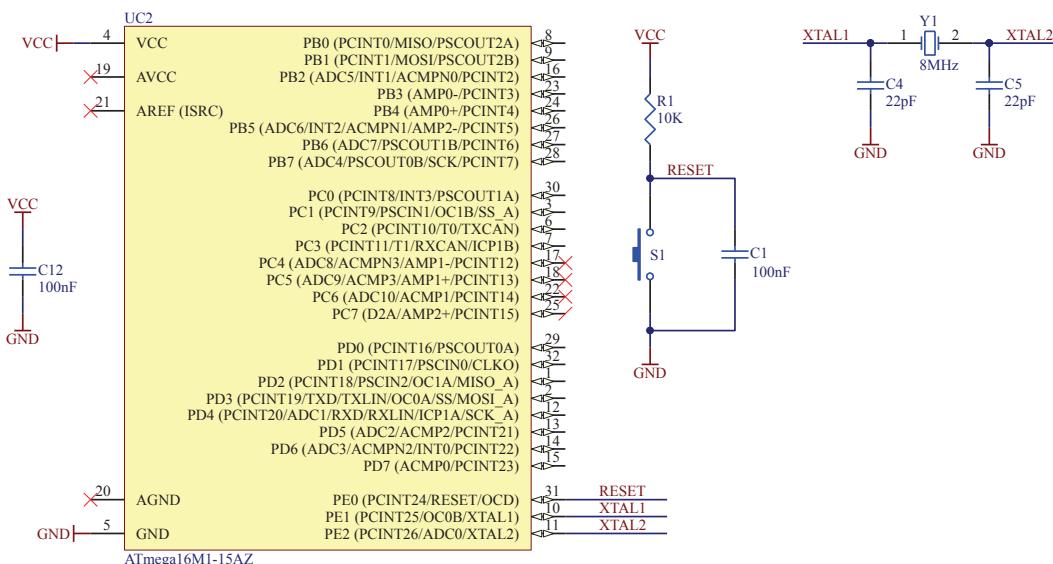


Figura 2.59 Circuito de procesamiento del módulo indicador de hora

2.6.1.1 Asignación de Pines

La asignación de pines del microcontrolador se realiza de tal manera que mediante dos puertos de 8 bits se puede realizar el control de los 22 segmentos que conforman el display VFD.

Tabla 2.10 Asignación de pines del microcontrolador ATmega16M1

NÚMERO	TERMINALES		DESCRIPCIÓN
	NOMBRE	DESTINO	
8	PB0	ENTRADAS DEL DRIVER ULN2803	Este puerto se conecta al driver ULN2803 para encender los segmentos del display VFD
9	PB1		
16	PB2		
23	PB3		
24	PB4		
26	PB5		
27	PB6		
28	PB7		
29	PD0	ENTRADAS DIGITALES (LATCH 0 Y 1)	Este puerto controla los segmentos del display VFD a través de los LATCH 0 y 1.
32	PD1		
1	PD2		
2	PD3		
12	PD4		
13	PD5		
14	PD6		
30	PC0	LATCH0	
3	PC1	LATCH1	Habilitación de los LATCH 0 y 1
6	PC2	TXCAN	Bus CAN
7	PC3	RXCAN	

Los pines PD2, PD3 y PD4 que corresponden a los pines MISO, MOSI y SCK se encuentran compartidos con el puerto SPI que se usa para la programación del microcontrolador.

2.6.2 CONEXIÓN CON EL DISPLAY VFD

2.6.2.1 Descripción del módulo D0103MT-20-0108

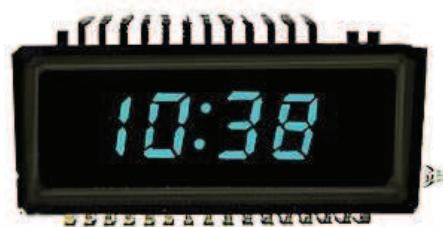


Figura 2.60 Módulo D0103MT-20-0108

El módulo D0103MT-20-0108, es un display de 7 segmentos diseñado específicamente para indicadores de hora.

Un total de 32 pines permiten alimentar al módulo y encender cada uno de los segmentos. En la Tabla 2.11 se identifica cada pin de acuerdo a su función.

Tabla 2.11 Conexión de los segmentos de acuerdo al número de pin

No. De PIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Conexión	F(-)	G	4b 4c	3g	3e	3d	3c	2g	2e	2c	1g	1e	1d	1c	G	F(+) NX	
No de PIN	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
Conexión	NX	NP	1b	1a	1f	2b	2a 2d	2f	col	G	3b	3a	3f	G	NX		

Los segmentos del indicador, están dispuesto físicamente como se ilustra en la Figura 2.61.

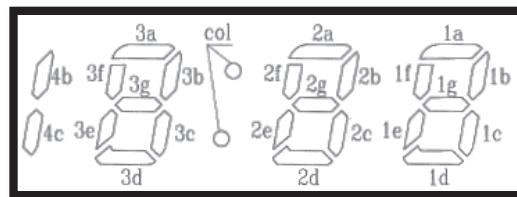


Figura 2.61 Disposición de los segmentos

Para encender cada uno de los segmentos se debe polarizar la rejilla (G) de display con un voltaje entre **8 y 16V**; los filamentos (F) deben tener un voltaje entre **1.65 y 1.85V**.

2.6.2.2 Circuito de conexión

Para la polarización de la rejilla del display VFD se usa fuente de **12V** y para la polarización de los filamentos se usa una fuente de **5V** con una resistencia en serie que permita reducir el voltaje hasta **1.5V** considerando que por el filamento pasará una corriente entre **90 y 110mA**. El valor de la resistencia se calcula mediante:

$$R_2 = \frac{VCC - V_{FIL}}{I_{FIL}}$$

$$R_2 = \frac{5V - 1.7V}{100mA}$$

$$\therefore R_2 = 33\Omega$$

Puesto que la corriente es alta comparada con el valor de la resistencia, se calcula su potencia:

$$P_{R_2} = I_{R_2}^2 \times R_2$$

$$P_{R_2} = (0.1mA)^2 \times 33\Omega$$

$$P_{R_2} = (0.1mA)^2 \times 33\Omega$$

$$P_{R_2} = 330mW$$

$$\therefore P_{R_2} = \frac{1}{2}W$$

El circuito que comprende la conexión del display VFD con el microcontrolador a través de dos Latch 74573 y tres drivers ULN2803 según la asignación dada en la Tabla 2.10, se muestra en la Figura 2.62.

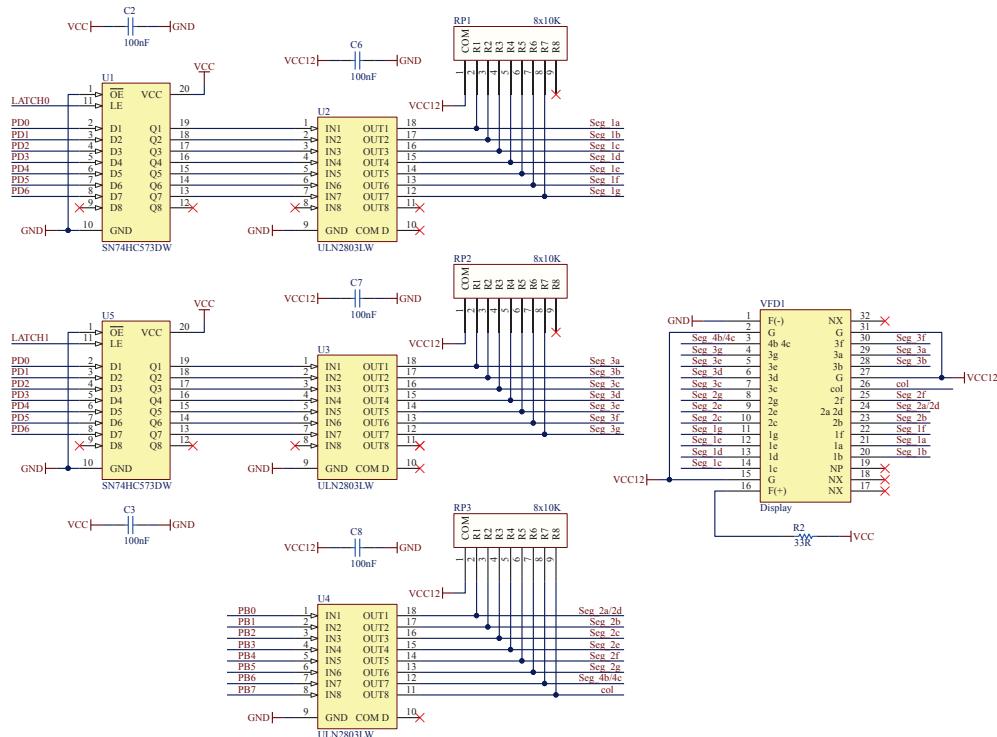


Figura 2.62 Circuito de conexión del módulo indicador de hora

El circuito que contiene el transceiver CAN L9616D es el mismo que se presentó en el módulo principal.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL

El presente capítulo hace una introducción de Atmel Studio 6 y de los módulos de Atmel Software Framework que son los recursos de software utilizados para la realización de los programas de control de los microcontroladores que intervienen en la construcción de este proyecto de titulación, además se describen los aspectos necesarios al momento del desarrollo de los programas y se realizan diagramas generales de las subrutinas de control.

3.1 ATMEL STUDIO 6

Atmel Studio 6 es una plataforma de desarrollo integrado para desarrollar y depurar aplicaciones de microcontroladores Atmel de arquitecturas AVR o ARM, ofrece un entorno integrado y fácil de usar para escribir, generar y depurar aplicaciones escritas en código C/C++ o ASM, soporta todos los microcontroladores AVR de 8 y 32 bits, la familia inalámbrica SoC y las series SAM3 y SAM4; además se conecta a la perfección con los depuradores y kits de desarrollo de Atmel [26].

El instalador de Atmel Studio 6 puede ser descargado directamente de la página de Atmel después de registrarse.

3.1.1 CREACIÓN DE NUEVOS PROYECTOS

Atmel Studio 6 a más de la creación de proyectos en blanco ofrece proyectos de ejemplo para las tarjetas de evaluación comerciales de Atmel como la UC3C-EK, EVK-1101, etc, para abrir uno de estos seleccione *New Example Project* en la ventana principal (Figura 3.1) y aparecerá una ventana como la de la Figura 3.2 en

la cual existen varios métodos de búsqueda, una vez seleccionado el ejemplo se puede cambiar su ubicación y nombre. Para abrirlo simplemente dar clic en OK.

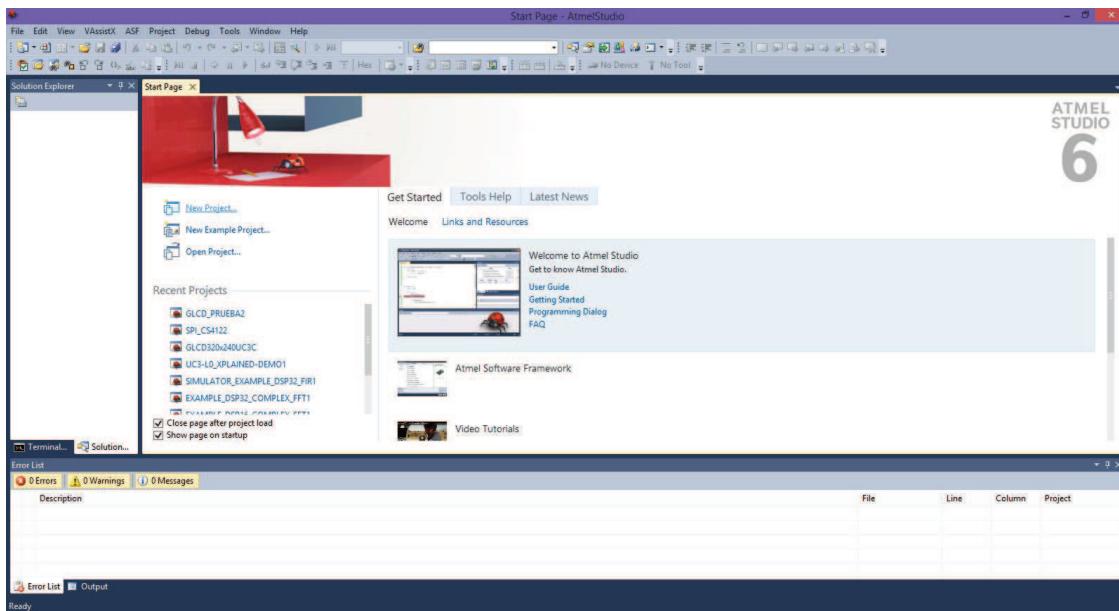


Figura 3.1 Ventana principal de Atmel Studio 6

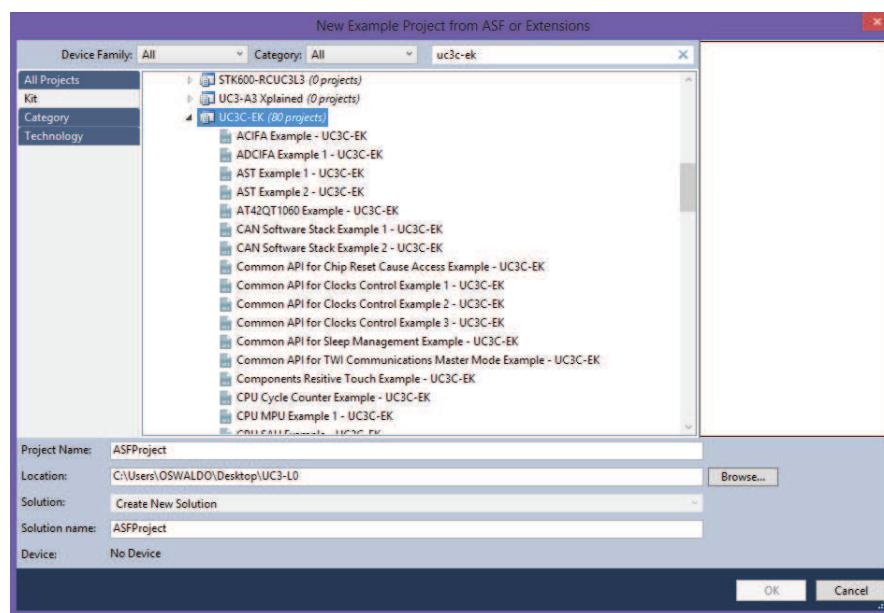


Figura 3.2 Ventana de selección de código y tarjeta para programas ejemplo

Estos ejemplos utilizan las librerías provistas por *Atmel Software Framework (ASF)* para configurar y usar la mayoría de los módulos de los microcontroladores montados en los kits, brindando una valiosa ayuda para los programadores.

A continuación se establecen los pasos a seguir para crear un nuevo proyecto en Atmel Studio 6. El proceso que se describe es el utilizado para los programas de los microcontroladores que conforman el módulo principal y el módulo de instrumentos, es decir para los microcontroladores AT32UC3C2512C y AT32UC3C264C respectivamente.

- 1) Después de abrir Atmel Studio aparece la ventana de la Figura 3.1, en la cual se debe seleccionar *New Project*.
- 2) Se desplegará la ventana de la Figura 3.3 en la que se puede seleccionar C/C++ o ASM que son los tipos de lenguaje de programación disponibles, si se selecciona como para este caso código C/C++ se puede escoger el tipo de tarjeta con la que se trabajará, pueden ser tarjetas comerciales de Atmel, Arduinos o tarjetas de usuario según el microcontrolador que se utilice, para este proyecto se requiere de esta última opción para la serie UC3 C. También es posible cambiar la ubicación y nombre del proyecto.

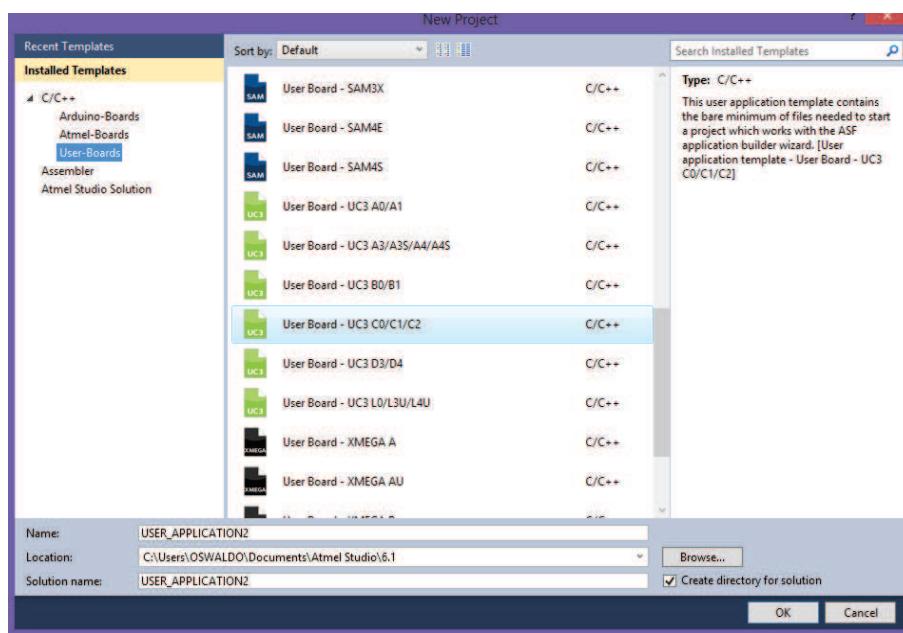


Figura 3.3 Ventana de selección de código y tarjeta

- 3) Al dar OK en la ventana de la Figura 3.3 aparece una nueva ventana en la que se debe seleccionar el microcontrolador específico montado en la tarjeta, puede ver esto en la Figura 3.4.

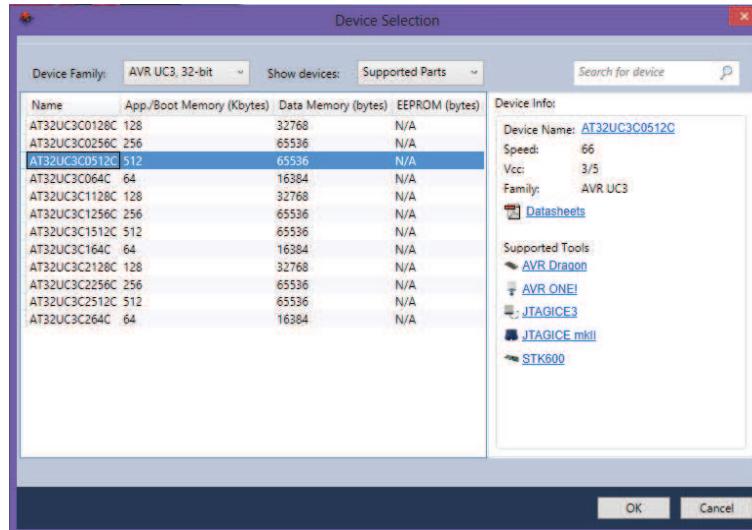


Figura 3.4 Ventana de selección del microcontrolador

- Una vez creado el proyecto se puede editar el código en el archivo main.c tal como se ve en la Figura 3.5.

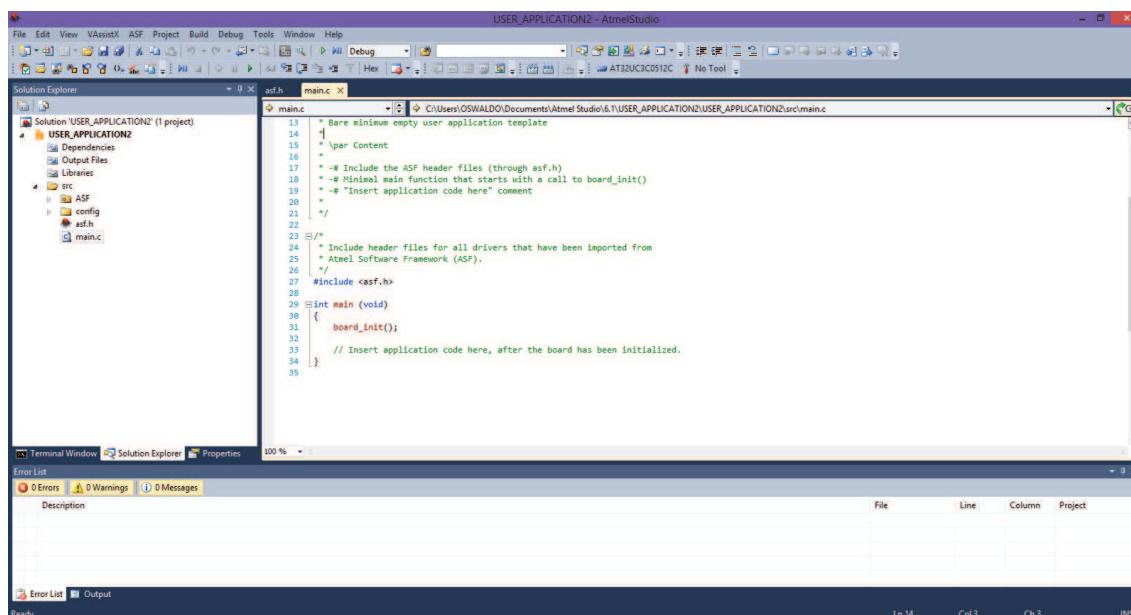


Figura 3.5 Archivo main.c

- Para crear y/o añadir librerías de usuario, es decir creadas por el programador simplemente dar clic derecho sobre la carpeta src y aparecerá una ventana como la de la Figura 3.6. Estas librerías deben tener un archivo de inclusión con extensión .h para poder llamar a sus subrutinas donde sean necesarias.

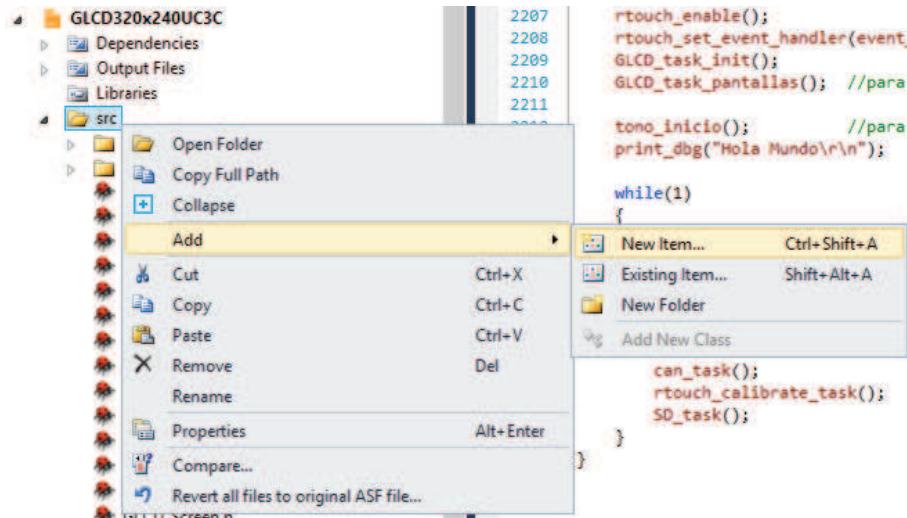


Figura 3.6 Inclusión de librerías de usuario

En vista de que los microcontroladores utilizados en el módulo de adquisición y en el módulo indicador de hora (ATMEGA16M1) poseen una arquitectura diferente, más simple que la AVR32 no es necesario la utilización de librerías de Atmel Software Framework (ASF) ya que se puede trabajar directamente de manera sencilla con los registros de configuración para los módulos, periféricos y memoria del microcontrolador.

La creación de los proyectos difiere en el segundo paso donde simplemente se debe dar clic en el tipo de lenguaje a utilizar y no seleccionar el tipo de tarjeta, también se puede cambiar el nombre del proyecto y su ubicación, una vez confirmado esto se procede normalmente con los siguientes pasos, es decir se selecciona el microcontrolador, y se escribe el programa en el archivo main.c y si se desea añadir librerías se sigue el paso 5.

3.1.2 ATMEL SOFTWARE FRAMEWORK (ASF) [27]

3.1.2.1 Introducción

ASF provee software, controladores y librerías para construir aplicaciones para dispositivos ATMEL como AVR MEGA, AVR XMEGA, AVR UC3 y SAM. Brinda valiosa ayuda en el desarrollo de software ya que puede trabajar por si solo o integrarse fácilmente a sistemas operativos diseñados para microcontroladores.

3.1.2.2 Estructura del directorio ASF

ASF está dividido en seis partes principales, el directorio `avr32/`, el directorio `xmega/`, el directorio `mega/`, el directorio `common/`, el directorio `sam/`, y el directorio `thirdparty/`. Los cuatro primeros directorios representan a las arquitecturas de Atmel; AVR UC3, megaAVR, AVR XMEGA y SAM, el directorio `common/` es común para las cuatro arquitecturas y el `thirdparty/` para librerías que no sean de Atmel.

Cada directorio de arquitectura y el directorio común están divididos en algunos subdirectorios que contienen varios módulos; tarjetas, controladores, componentes, servicios y utilitarios. La Figura 3.7 muestra cómo están conectados los diferentes módulos del ASF.

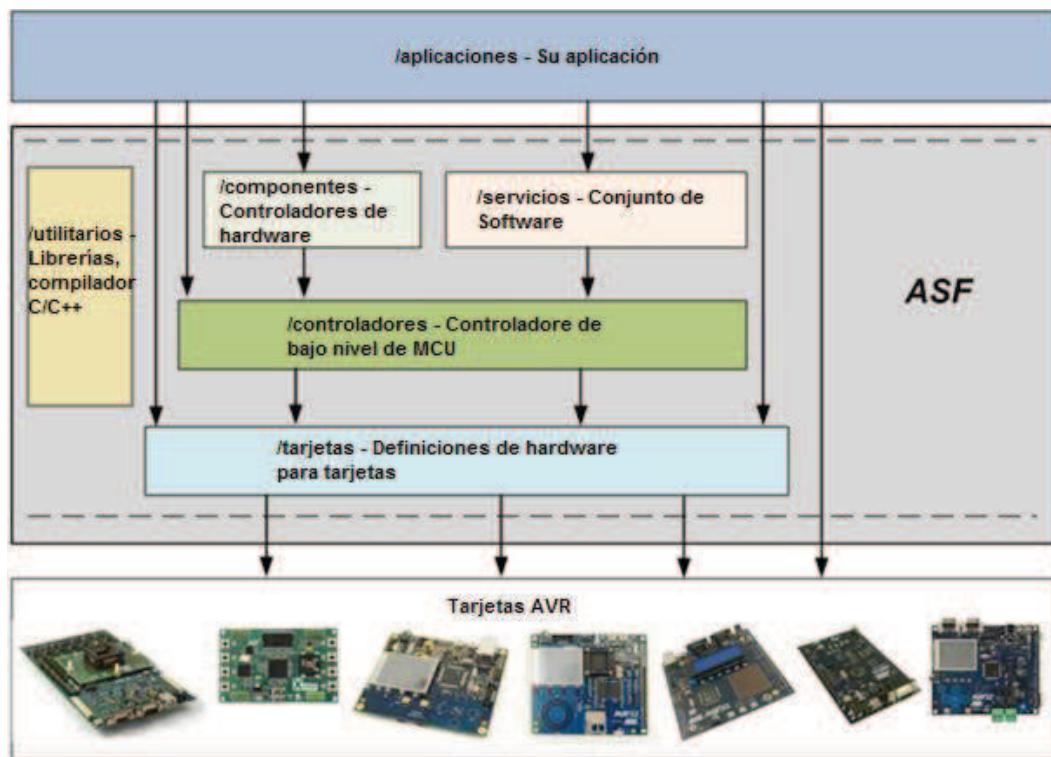


Figura 3.7 Estructura de los módulos en ASF, tomado de [27]

3.1.2.2.1 Aplicaciones/

Este directorio provee ejemplos de aplicaciones que están basados en servicios, componentes y drivers. Estas aplicaciones son de un nivel elevado y tienen

múltiples dependencias con otros módulos para la realización de demos, por ejemplo en aplicaciones USB, web, bootloader, reproductores de audio, etc.

3.1.2.2.2 *Servicios/*

Este directorio provee aplicaciones orientadas a software como USB, sistemas de archivos FAT, librerías DSP, librerías gráficas, etc. Los servicios están ubicados en el directorio *common/* si son compartidos entre las diferentes arquitecturas, de otra manera se ubican en el directorio apropiado según cada arquitectura.

3.1.2.2.3 *Componentes/*

Este directorio provee el software necesario para acceder a dispositivos físicos externos como: memorias (DataFlash, SDRAM, SRAM, NAND), displays, sensores, wireless, etc. El componente se ubica en el directorio *common/* si este es compartido entre las diferentes arquitecturas, de otra manera éste se ubica en el directorio apropiado según cada arquitectura.

3.1.2.2.4 *Controladores/*

Cada driver está compuesto de dos archivos driver.c y driver.h que proveen un acceso de bajo nivel a los registros que permiten configurar y manipular dispositivos o periféricos específicos. Los servicios y componentes requieren de la interacción con los drivers.

3.1.2.2.5 *Tarjetas/*

Este directorio contiene varias definiciones de tarjetas de evaluación o de usuario, el código describe conexiones físicas, inicialización de puertos entrada/salida, inicialización de dispositivos externos, etc. Además tendrá identificadores para características propias de los dispositivos montados en la tarjeta.

3.1.2.2.6 *Utilitarios/*

Este directorio provee algunos archivos que están compuestos de comandos necesarios para el compilador, archivos comunes para la construcción de sistemas, archivos con definiciones usadas en C/C++, macros y funciones.

3.1.2.3 Estructura del directorio *thirdparty/*

Este directorio se crea en el caso de que se introduzca cualquier software que no tenga una licencia de Atmel Corporation, por ejemplo: *cyberom/*, *freertos/*, *qtouch/*, etc. Cada uno de estos módulos debería incluir un archivo de licencia en el directorio *thirdparty/*<módulo>/license.txt para que se reconozca en el ASF.

3.1.2.4 Soporte para el compilador

Atmel Software Framework tiene como objetivo ser independiente del compilador que se use, de manera que las diferencias entre compiladores son consideradas en un archivo de cabecera específico para cada arquitectura. Este archivo está ubicado en el directorio *utils/compiler.h*. ASF viene integrado en el programa Atmel Studio 6 que utiliza el compilador GNU GCC y actualmente se encuentra en la versión 3.12.

3.1.3 INCLUSIÓN DE MÓDULOS ASF

Los pasos para incluir o eliminar módulos de ASF a un proyecto se detallan a continuación:

- 1) Ir a la pestaña ASF en la barra de herramientas o dar clic derecho sobre el proyecto y seleccionar ASF Wizard (Figura 3.8).

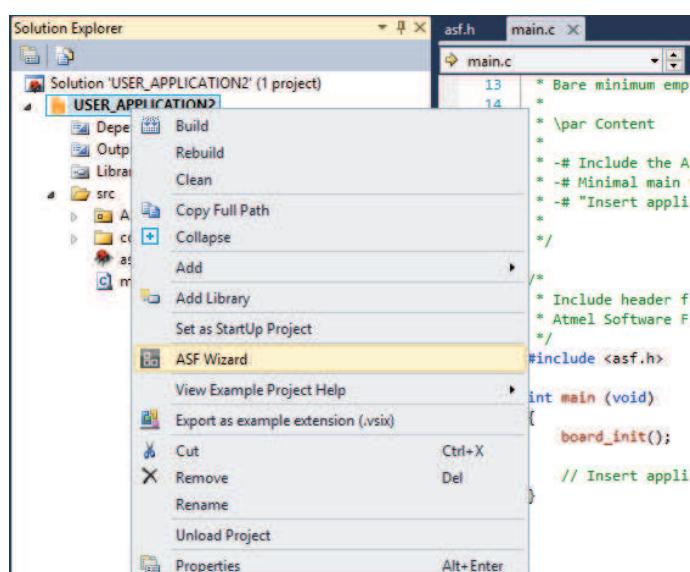


Figura 3.8 Abrir ASF Wizard

- 2) Una vez abierto el ASF Wizard se tiene una ventana como la de la Figura 3.9 en la que fácilmente se puede añadir o remover módulos de ASF, como ejemplo se incluye el módulo para configurar y trabajar con el ADCIFA del microcontrolador AT32UC3C2512C. Después de dar clic en Add se observa que a la derecha aparece el módulo en cursiva y de color verde, esto significa que aún no está incluido en el proyecto, para que esto suceda es necesario una confirmación dando clic en Apply.

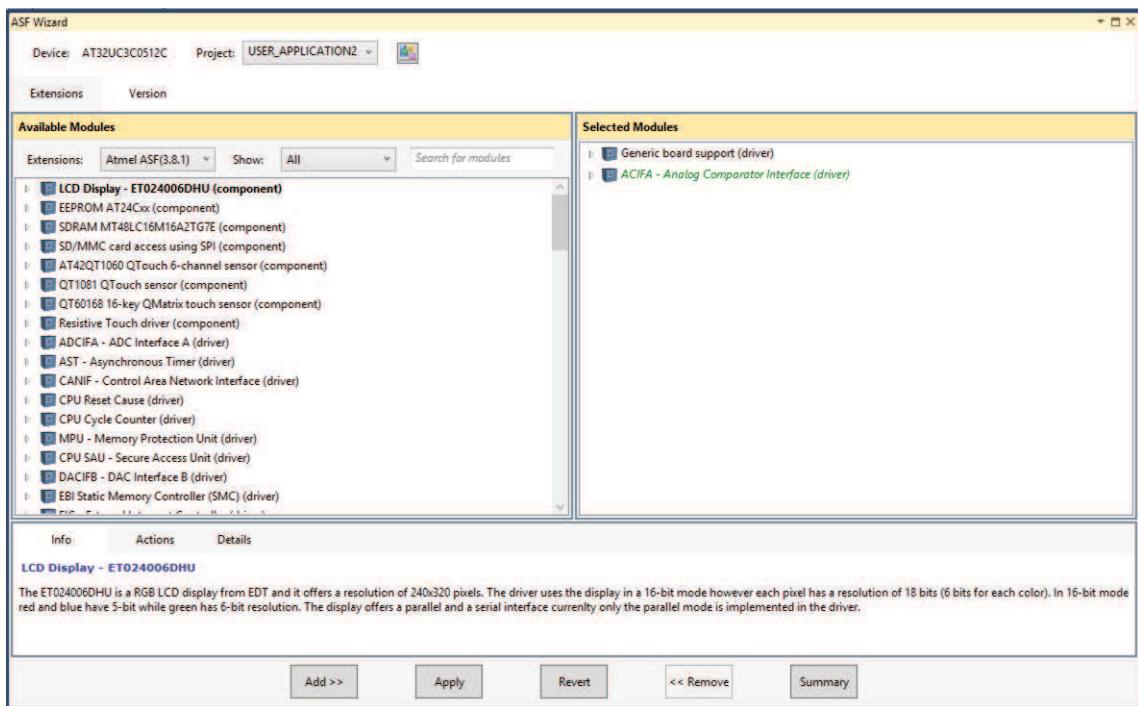


Figura 3.9 Ventana del ASF Wizard

Para ver los archivos que tiene el módulo añadido se puede ir a la solución del proyecto y buscarlo en el directorio correspondiente tal como se explicó en el apartado 3.1.2.2, para el ADCIFA se ve en la Figura 3.10 cómo y dónde este debería ubicarse.

Es importante recalcar que al incluir librerías o drivers de esta manera no es necesario escribir el archivo de cabecera al inicio del archivo main.c, estas ya se incluyen en único archivo creado por defecto denominado asf.h.

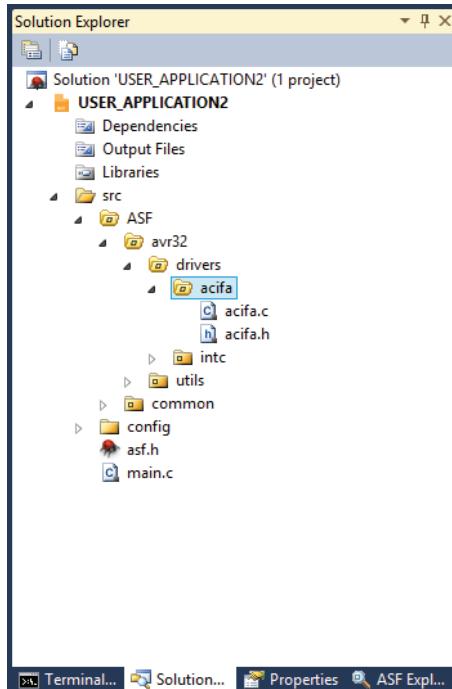


Figura 3.10 Archivos del módulo ADCIFA

3.2 DESARROLLO DEL SOFTWARE

En esta sección se explica cómo están elaborados los programas de control de los microcontroladores, además se hace referencia de los recursos utilizados de Atmel Software Framework.

3.2.1 PROGRAMA DEL MÓDULO PRINCIPAL

Como cerebro de éste módulo se escoge un microcontrolador AT32UC3C2512C por las excelentes prestaciones que brinda explicadas anteriormente. De acuerdo a la Figura 3.11 será el encargado de manejar 5 periféricos:

- 1) Pantalla GLCD monocromática,
- 2) Panel táctil resistivo,
- 3) Bus I2C que incluye:
 - a) Driver para las teclas Q-Touch
 - b) RTC (reloj en tiempo real) para manejo de hora y fecha

- c) Memoria EEPROM en la que se almacenan variables necesarias el momento del encendido.
- 4) Manejo de memoria SD mediante comunicación SPI
- 5) Bus CAN para interactuar con los otros módulos del sistema.

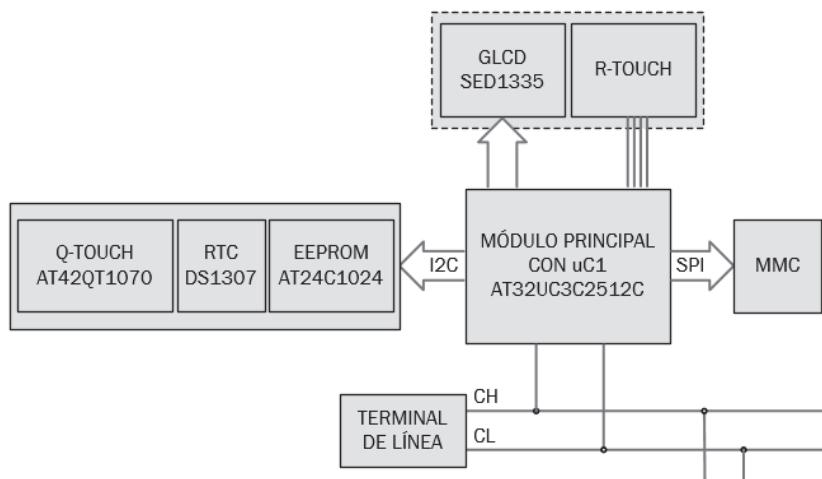


Figura 3.11 Módulo principal con sus periféricos

3.2.1.1 Módulos ASF incluidos

Para la elaboración del programa de éste módulo se requiere de la inclusión de algunos módulos de Atmel Software Framework. Note la Figura 3.12 con el ASF Wizard.

Todo proyecto creado en Atmel Studio 6 para una tarjeta de usuario incluirá por defecto el driver Generic board support el cual permite tener archivos para configuraciones propias de la tarjeta como son puertos, pines, comunicaciones, etc.

En este caso como se desea configurar la velocidad del reloj con el que se va a trabajar los puertos y demás módulos internos del microcontrolador es necesario incluir el controlador para PM (Power Manager), el servicio System Clock Control y para crear retardos se incluye el servicio Delay routines.

Para el manejo de los puertos E/S se incluye el controlador GPIO (General Purpose Input/Output), y como el programa maneja interrupciones es necesario el controlador INT (Interrupt Controller).

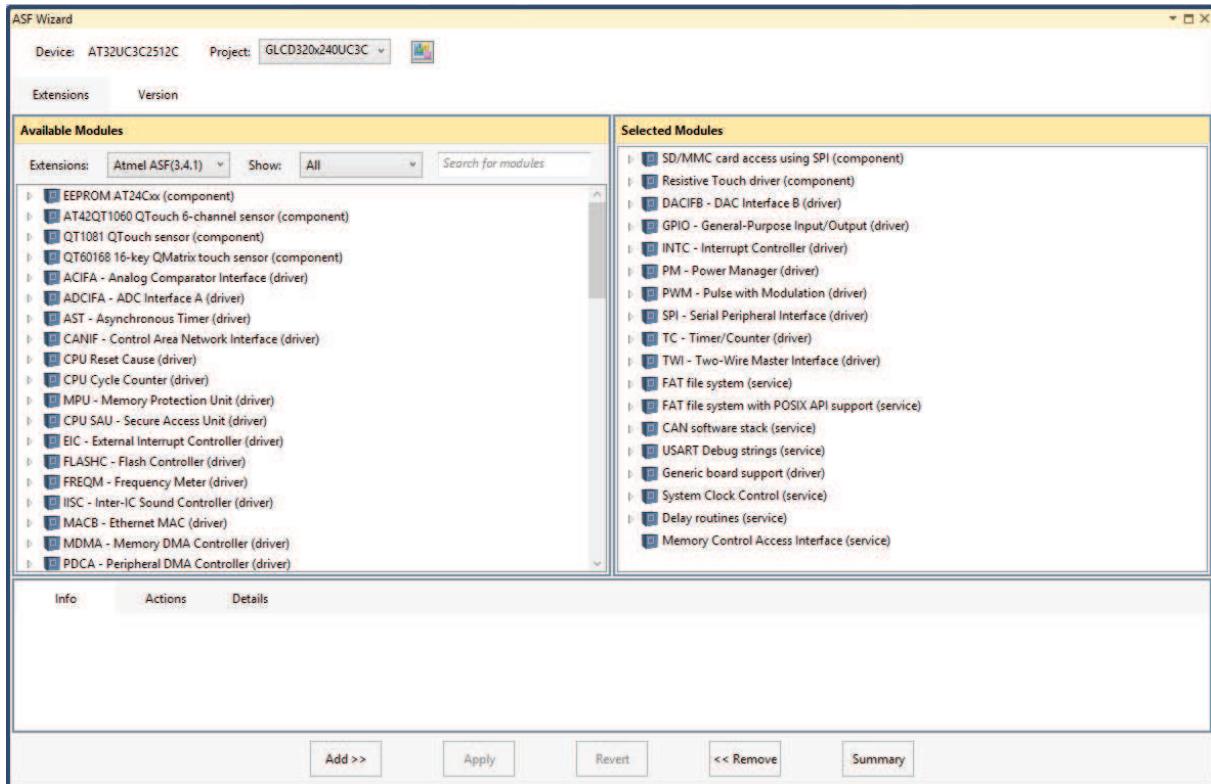


Figura 3.12 ASF Wizard del programa del módulo principal

En lo que corresponde al manejo del panel táctil resistivo, ASF provee de manera rápida y sencilla el componente Resistive Touch driver, el cual trabaja con el módulo ADC interno del microcontrolador para saber dónde ha sido presionado.

Para el Bus I2C existe el controlador TWI (Two-Wire Master Interface), mientras que el control de la comunicación en protocolo CAN se lo realiza mediante el servicio CAN software stack y el servicio USART Debug strings es utilizado en el proyecto para funciones de depurado durante el desarrollo.

Se añade el controlador PWM (Pulse Width Modulation) para controlar el nivel de brillo de la pantalla GLCD y generar una señal auditiva mediante un buzzer. Para el caso del contraste se lo realiza con la ayuda del controlador DACIFB (DAC Interface B) para generar una señal continua variable.

Algunas aplicaciones dentro del programa requieren la utilización de temporizadores/contadores por ello se incluye el controlador TC (Timer/Counter).

La tarjeta de memoria requiere la inclusión de algunos módulos de ASF, el controlador SPI (Serial Peripheral Interface) para controlar el módulo interno del microcontrolador, el componente SD/MMC card Access using SPI que permite la comunicación con la SD, el servicio FAT file system para la utilización del sistema de archivos FAT y del servicio Memory Control Access Interface con el que se establece una capa de aplicación entre el microcontrolador y la tarjeta MMC/SD.

3.2.1.2 Archivo main.c

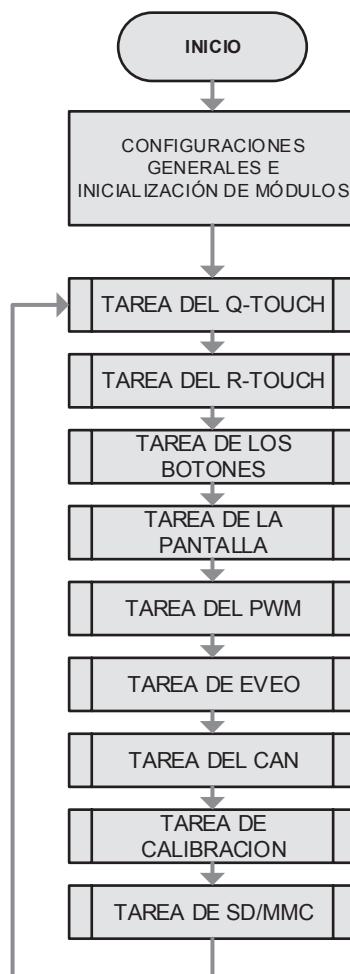


Figura 3.13 Diagrama de flujo del main

El archivo main.c contiene la función main que es la que se ejecuta el momento de encender el microcontrolador y contiene el lazo principal de trabajo, note en la Figura 3.13 que al igual que cualquier microcontrolador se ejecuta una tarea netamente secuencial. El programa se inicia mediante la realización de configuraciones generales de periféricos, controladores del microcontrolador y

módulos de Atmel Software Framework, posteriormente se ejecutan las subrutinas de control que son denominadas tareas por tratarse de librerías específicas para cada sección y por ejecutar un proceso detallado y exclusivo. Para las subrutinas de interrupción existen vectores propios dentro del microcontrolador que hacen que se ejecuten en secciones de memoria diferentes y exclusivas para cada una.

3.2.1.3 Tarea del Q-Touch

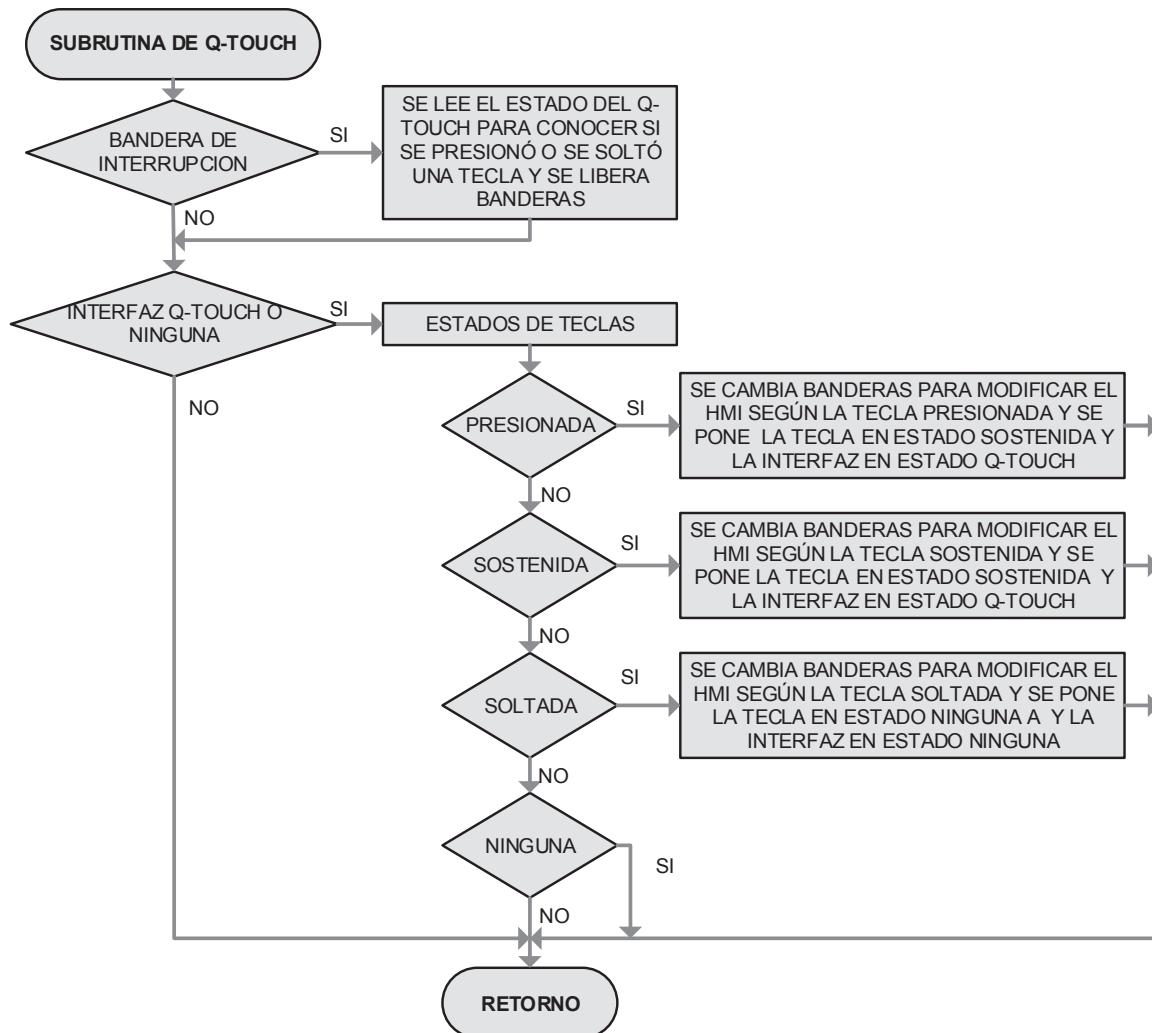


Figura 3.14 Diagrama de flujo de la subrutina del Q-Touch

Gracias a que el controlador para las teclas posee un pin que genera un flanco de bajada el momento de presionar o soltar una tecla, se configura una interrupción del microcontrolador para conocer dicho evento. En dicha interrupción únicamente

se eleva una bandera que es chequeada el momento que se pasa por la subrutina para saber si hubo o no cambio del estado de alguna tecla.

Un diagrama generalizado de como la subrutina trabaja se ilustra en la Figura 3.14. Un cambio en el estado de la tecla se realiza sólo si se detectó un nuevo evento, pero la subrutina siempre pasa por una máquina de estados para saber el estado actual de la última tecla, con esto se consigue saber si se presionó por primera vez, si se mantiene presionada o si se soltó la tecla.

3.2.1.4 Tarea del R-Touch

Anteriormente se mencionó que ASF provee un componente para el manejo de pantallas táctiles resistivas de 4 hilos, este hace uso de interrupciones externas y lecturas del conversor análogo digital tal como se explicó en el capítulo primero.

El componente realiza una tarea de interrupción con el dato de las coordenadas presionadas o soltadas. El diagrama de flujo para la subrutina de interrupción se ilustra en la Figura 3.15. Note que si existe interrupción debido a que el usuario presione el panel táctil no tendrá efecto si anteriormente se mantenía presionada una tecla del Q-Touch debido a que la interfaz se encuentra en Q-Touch, y cosa semejante ocurre en el lado contrario, es decir si presionamos primero la entrada Q-Touch la entrada táctil resistiva quedará inhibida.

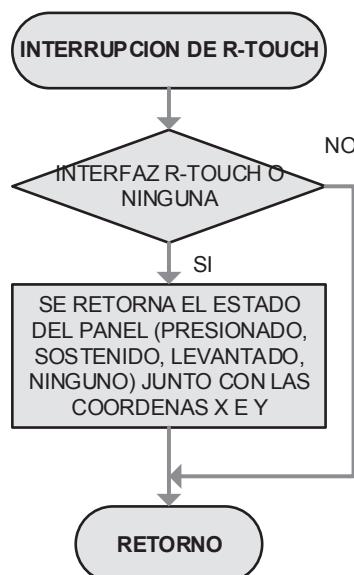


Figura 3.15 Diagrama de flujo de la subrutina de interrupción del R-Touch

Para realizar la subrutina de control, se considera que pueden existir cuatro estados del panel táctil: presionado, moviéndose, levantado o sin evento, en este proyecto sólo se necesita por simplicidad detectar los eventos presionado y/o levantado.

Al igual que en la subrutina del Q-Touch se realiza una máquina de estados para poder determinar las condiciones antes mencionadas, la Figura 3.16 muestra el diagrama de flujo para esta parte.

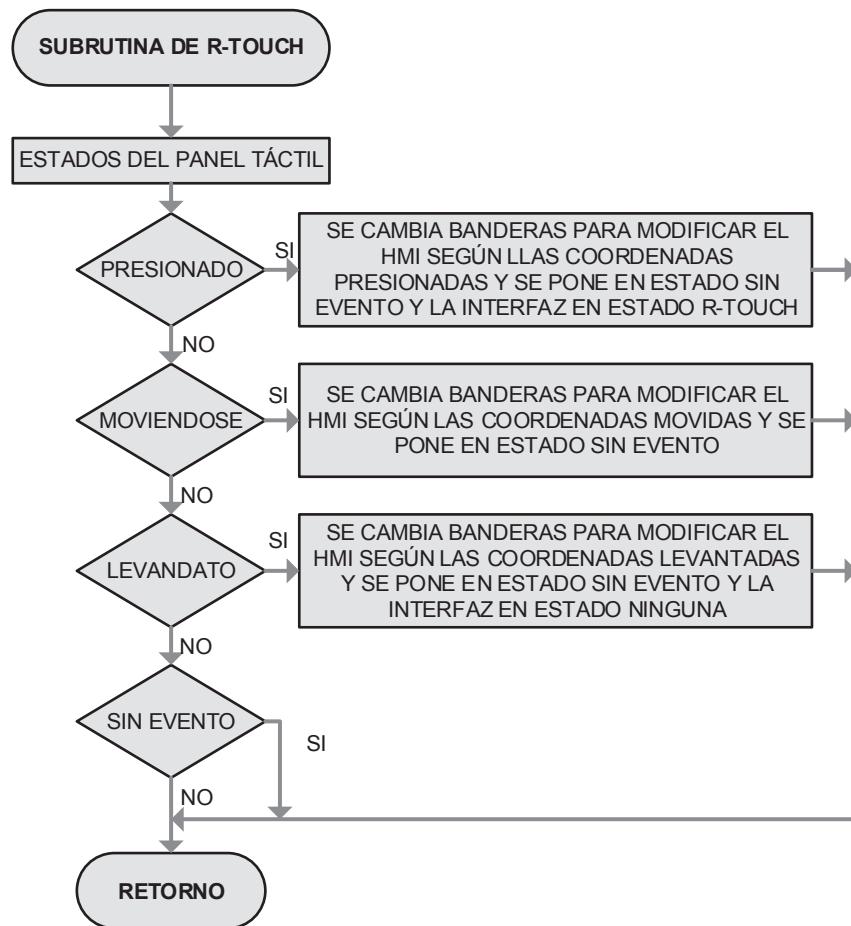


Figura 3.16 Diagrama de flujo de la subrutina del R-Touch

3.2.1.5 Tarea de los botones

Esta parte del programa se encarga de dibujar aplastados y/o levantados los botones en la pantalla, lo realiza después que el usuario haya interactuado mediante el panel táctil resistivo o las teclas Q-Touch ya que en sus respectivas subrutinas se modifican las banderas para que esta subrutina pueda saber cómo proceder. Un diagrama simplificado de la tarea se muestra en la Figura 3.17.

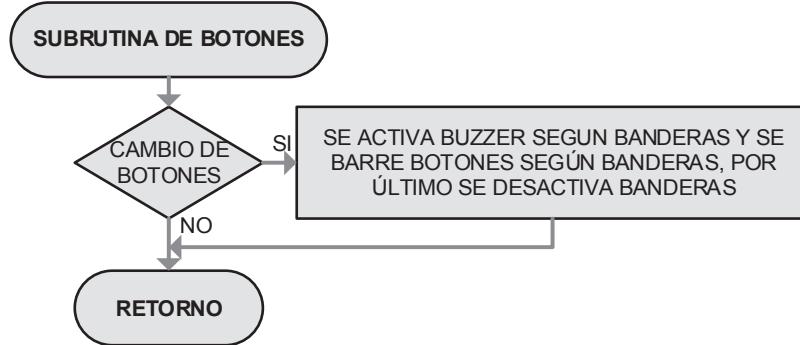


Figura 3.17 Diagrama de flujo de la subrutina de chequeo de botones

3.2.1.6 Tarea de la pantalla

La tarea de la pantalla se encarga de mantener actualizados los datos en el GLCD, lo hace de manera periódica para que la lectura pueda ser claramente legible, de lo contrario datos muy variables no se podrían observar. Trabaja conjuntamente con la librería encargada de barrer el GLCD para saber qué pantallas y qué variables mostrar, esto lo realiza gracias a la modificación de las banderas el momento que el usuario interactúa con el sistema. En la Figura 3.18 se puede ver un diagrama de flujo generalizado de como la subrutina trabaja y en la Figura 3.19 se ilustra la estructura del menú, nótese que es un menú por niveles.

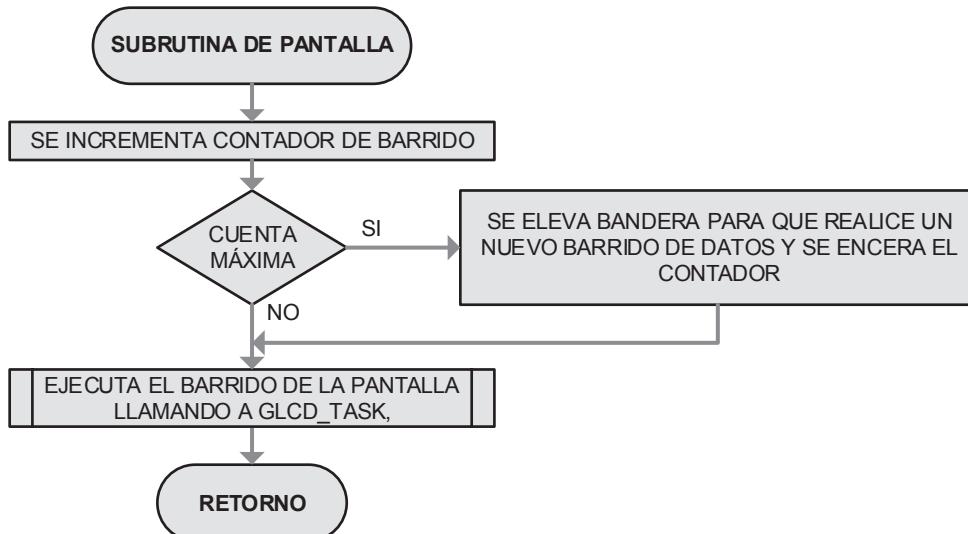


Figura 3.18 Diagrama de flujo de la subrutina de pantalla

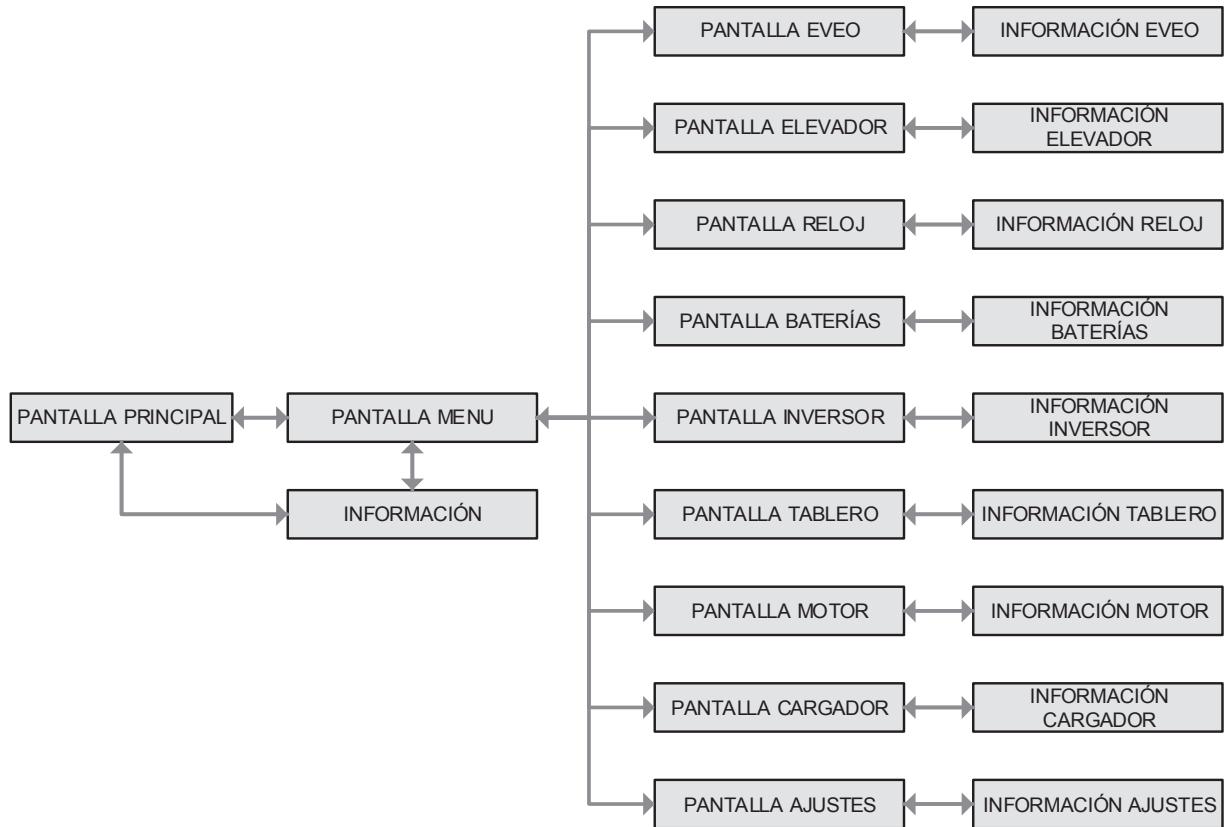


Figura 3.19 Estructura del menú del sistema de visualización

3.2.1.6.1 *Pantalla Principal*

Esta pantalla aparece al encender el sistema, contiene un gráfico de presentación alusivo al vehículo eléctrico.

3.2.1.6.2 *Pantalla Menú*

Contiene nueve cuadros, cada uno enlaza una nueva pantalla según el tipo de información que se desee observar.

3.2.1.6.3 *Pantalla Eveo*

La pantalla Eveo muestra: el tiempo de encendido del vehículo, kilometraje, velocidad y alarmas para niveles de voltaje de las baterías, niveles críticos de temperatura, problema en fusibles y cambio de pila del DS1307.

Además incorpora una función de odómetro la cual se puede iniciar, detener o resetear según la necesidad del usuario.

3.2.1.6.4 *Pantalla Elevador*

La pantalla Elevador contiene: estado del contactor, estado del fusible a la entrada, voltaje a la entrada y salida del circuito elevador, y su corriente de salida.

3.2.1.6.5 *Pantalla Reloj*

Muestra la hora en formato 24H y la fecha en dd/mm/aa, se incluye además el día de la semana y la posibilidad de ser igualado.

3.2.1.6.6 *Pantalla Baterías*

En esta pantalla se puede observar el nivel de voltaje de las 10 baterías que conforman el banco para la parte de potencia, y también de la batería de control del sistema. También se puede observar el voltaje total del banco, la corriente de salida y la temperatura promedio.

3.2.1.6.7 *Pantalla Inversor*

El usuario puede ver el circuito de la parte de potencia del conversor DC-AC, junto con el estado del contactor, el estado del fusible de entrada, el voltaje de entrada al conversor y la frecuencia de salida al motor.

3.2.1.6.8 *Pantalla Tablero*

La pantalla tablero contiene 5 cuadros, uno para encender o apagar las luces del fondo del tablero, otro con una opción de calibración para las agujas indicadoras, al activarla deben ubicarse al 50 por ciento de su correspondiente rango de medida, si no es así se debería calibrar manualmente. Los tres últimos recuadros se utilizan para las variables Rojo, Verde y Azul de los LEDs RGB del tablero, realizando una combinación de estos se puede obtener cualquier color.

3.2.1.6.9 *Pantalla Motor*

En lo concerniente a la información del motor se tiene la temperatura, frecuencia, revoluciones por minuto y el estado del freno en porcentaje.

3.2.1.6.10 *Pantalla Cargador*

La pantalla cargador se habilita únicamente cuando se ha conectado el módulo de carga del banco de baterías, de lo contrario aparece el mensaje no conectado. En esta pantalla se puede observar el nivel de voltaje del banco, la corriente de carga y la temperatura promedio del banco.

3.2.1.6.11 *Pantalla Ajustes*

Esta pantalla contiene 5 opciones, una para calibrar la pantalla a valores de usuario o a valores por defecto, la segunda para detectar la SD y poner a guardar datos en esta, otra para ajustar el brillo de la pantalla GLCD, la cuarta para ajustar el contraste, y la última para ajustar el volumen del buzzer.

3.2.1.6.12 *Pantalla Información General*

Muestra el logotipo de la Escuela Politécnica Nacional, el tema del proyecto y el nombre de los desarrolladores.

3.2.1.6.13 *Pantallas de Información*

Existe una pantalla denominada de información exclusiva para cada pantalla de datos, éstas explican en pocas palabras qué se muestra y cómo el usuario puede interactuar con la misma.

3.2.1.7 *Tarea de PWM*

Como se explicó anteriormente el control del brillo se realiza mediante un conversor DC-DC reductor, por tal motivo se necesita una señal PWM con ciclo de trabajo variable y frecuencia fija. Esta subrutina es la encargada de refrescar el ancho del PWM según las modificaciones que realice el usuario. Dentro de la librería de PWM se incluyen además algunas funciones para generar tonos mediante una señal modulada en frecuencia es decir con ciclo de trabajo fijo pero con frecuencia variable, estas funciones son manejadas directamente por el programa cuando existe la necesidad de generar el sonido, por ejemplo al presionar un botón, al insertar la SD, al calibrar el R-Touch, etc.

3.2.1.8 Tarea de Eveo

Esta subrutina se encarga de chequear algunas variables propias del automotor como son el kilometraje, el odómetro, las alarmas, y también si el cargador de baterías es conectado se determina el estado de la carga. Un diagrama básico de la subrutina se puede observar en la Figura 3.20.



Figura 3.20 Diagrama de Flujo de la subrutina de EVEO

3.2.1.9 Tarea de CAN

La Tarea del CAN es la encargada de gestionar la transmisión y recepción de las tramas. Un diagrama del trabajo que se realiza se ilustra en la Figura 3.21. En la transmisión se realiza una máquina de estados para que en cada vuelta se transmita una trama y no saturar el bus y mientras no se trasmite se deja activada la interrupción de recepción para cualquier trama que ingrese al medio.

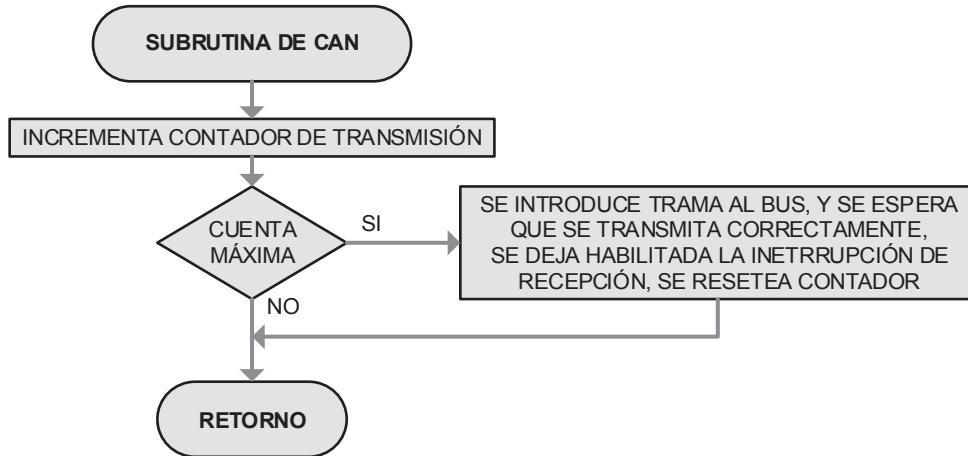


Figura 3.21 Diagrama de Flujo de la subrutina de CAN

Tomando en cuenta todas las variables y datos que se necesitan introducir en el Bus CAN se establece el contenido adecuado para las tramas en lo que respecta a identificadores, longitud y datos, en la Tabla 3.1 se puede observar cómo están conformadas las tramas de salida del módulo principal y en la Tabla 3.2 las de entrada al módulo.

Puede notar que en las tablas se describen las tramas en orden similar a cómo se introducen en el Bus, es decir, primero ingresa el identificador, seguido del byte 0 y como último dato el byte 7. Importante es recalcar que el controlador del microcontrolador determina el ingreso desde el byte más significativo al menos significativo, de ahí que variables que requieren de más de un byte primero se escriben los más significativos.

En total son 14 tramas que se introducen en el bus CAN, divididas mediante ocho identificadores diferentes asignados según la importancia de los datos que transportan, para tramas que comparten el mismo identificador por contener datos de la misma especie, se discriminan mediante los dos primeros bytes dentro de la trama, tal como se observa en la Tabla 3.2.

La velocidad a la que se transmiten los datos es de 500 Mbps debido a que esta es ampliamente usada en vehículos comerciales.

Tabla 3.1 Tramas de salida del módulo principal

TRAMAS	BYTES	DESCRIPCIÓN	
		1	2
RELOJ	LUCES ALARMA	OLED	TABLERO
0x1FC	0x1F7	0x1F5	0x1F4
0x00	0x00	Odómetro [3]	Baterías [1]
0x00	0x00	Odómetro [2]	Baterías [0]
Decena de Hora	Voltaje del Banco	Odómetro [1]	Revoluciones [1]
Unidad de Hora	Voltaje de Control	Odómetro [0]	Revoluciones [0]
Decena de Minuto	Temperatura Baterías	Kilometraje [3]	Bit 1 Bit 0 Luces Agujas
Unidad de Minuto	Temperatura Motor	Kilometraje [2]	Rojo
Decena de Segundo	Fusibles	Kilometraje [1]	Verde
Unidad de Segundo	0x00	Kilometraje [0]	Azul
	Estos datos exclusivos para el módulo indicador de hora.	Cada byte útil contiene el estado de su respectiva alarma para mostrar indicadoras en la pantalla OLED.	Datos de kilometraje y odómetro a ser mostrados en la pantalla OLED.

Tabla 3.2 Tramas de entrada al módulo principal

ELEVADOR	TRAMAS	BYTES								DESCRIPCIÓN
		1	2	3	4	5	6	7	8	
6	BATERÍAS	0x1F9	0x1F8	0x01	0x01	0x01	0x01	0x01	0x01	Transmite datos de la lectura del ADC para las baterías 1, 2 y 3 del banco.
0x02	0x01	0x05	0x04	0x03	0x02	0x01	0x01	0x01	D0	Transmite datos de la lectura del ADC para las baterías 4, 5 y 6 del banco.
Voltaje [1]	Batería Control [1]	Batería 10 [1]	Batería 7 [1]	Batería 4 [1]	Batería 1 [1]	D1	D2	D3	D4	Transmite datos de la lectura del ADC para las baterías 7, 8 y 9 del banco.
Voltaje [0]	Batería Control [0]	Batería 10 [0]	Batería 7 [0]	Batería 4 [0]	Batería 1 [0]	D0	D1	D2	D5	Transmite datos de la lectura del ADC para la batería 10 del banco, la corriente de salida del banco y la temperatura promedio.
Corriente [1]	0x00	Corriente [1]	Batería 8 [1]	Batería 5 [1]	Batería 2 [1]	D4	D6	D7		Transmite datos de la lectura del ADC para la batería de control y la corriente de carga de las baterías.
Corriente [0]	0x00	Corriente [0]	Batería 8 [0]	Batería 5 [0]	Batería 2 [0]	D5				Transmite datos de la lectura del ADC para el voltaje de salida del circuito elevador y su corriente de salida.
0x00	Corriente Carga [1]	Temperatura [1]	Batería 9 [1]	Batería 6 [1]	Batería 3 [1]	D6				
0x00	Corriente Carga [0]	Temperatura [0]	Batería 9 [0]	Batería 6 [0]	Batería 3 [0]	D7				

7	MOTOR	0x1FB	0x1FA	0x03	0x03	0x01	Temperatura [1]	Temperatura [0]	Frecuencia [1]	Frecuencia [0]	Freno [1]	Freno [0]	Transmite datos de la lectura del ADC para la temperatura del motor, la frecuencia de salida del circuito inversor y el nivel del freno.
8		0x04		0x02			Velocidad [1]	Velocidad [0]					Transmite datos de la velocidad actual del vehículo, y en 32 bits el contador de metros para que se pueda calcular el kilometraje.
9	ACCIONAMIENTOS	0x01			Contactor								Transmite estado del contactor principal y de los fusibles a la entrada de los circuitos elevador e inversor.

3.2.1.10 Tarea de Calibración

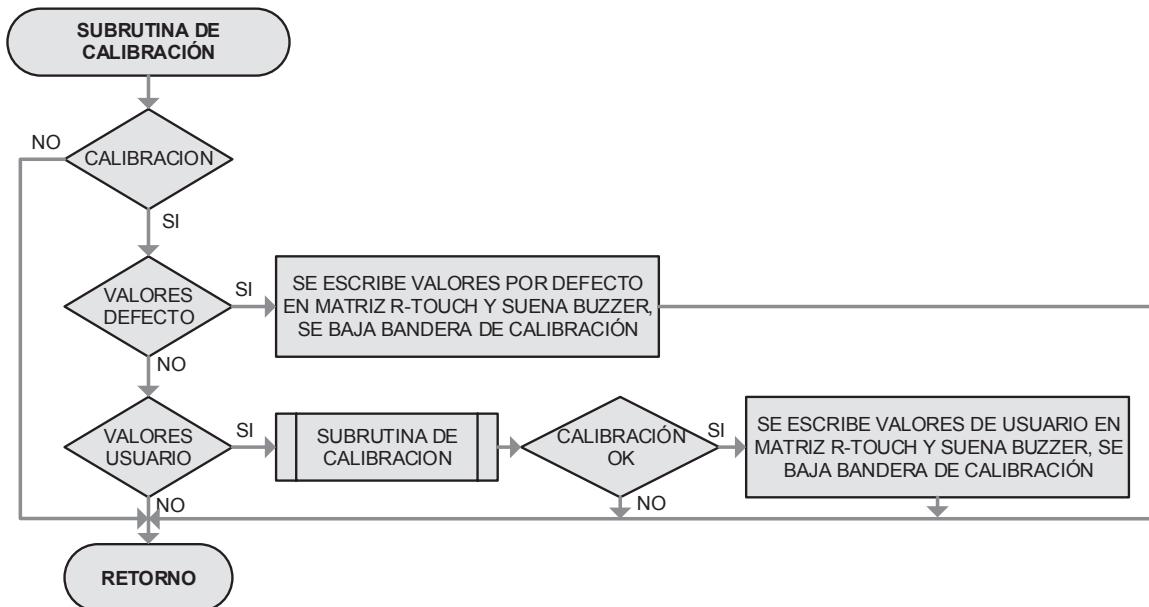


Figura 3.22 Diagrama de Flujo de la subrutina de Calibración

En esta subrutina se chequea la necesidad del usuario de cambiar la calibración del panel táctil resistivo. En la Figura 3.22 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina en la que se puede ver que existen dos posibilidades de calibración, una es por defecto en la que se calibrará con valores adecuados para el funcionamiento pregrabado en la memoria EEPROM y otra es por el usuario mediante una subrutina de calibración.

3.2.1.11 Tarea de SD/MMC

La subrutina de SD/MMC es la encargada de realizar las tareas concernientes a la tarjeta SD/MMC, empieza por un chequeo físico para asegurarse que la tarjeta ingresó y después un chequeo mediante comunicación SPI para verificar el correcto funcionamiento de la misma. Si el usuario desea almacenar los datos de voltaje, corriente y temperatura del banco debe iniciar el modo de grabación, al realizar esto la subrutina se encarga de armar los paquetes de datos, crear el directorio y almacenarlos, previamente se vuelve a hacer un chequeo del estado de la tarjeta.

Incluye además una sección para extraer la SD de una manera segura y no alterar el estado de trabajo del microcontrolador.

SD es un formato de tarjeta de memoria inventado por Panasonic. Se utiliza en dispositivos portátiles tales como cámaras fotográficas digitales, PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, entre muchos otros. Sus dimensiones son 32 mm x 24 mm x 2,1 mm. Los dispositivos con ranuras SD pueden utilizar tarjetas MMC, que son más finas (1,4 mm), pero las tarjetas SD no caben en las ranuras MMC [28].

La escritura y/o lectura de datos en una tarjeta de memoria se puede realizar de algunas maneras, una es tratándola como una memoria, es decir escribiéndola en determinados sectores que posteriormente podrán ser leídos, y otra es usando sistemas de archivos como FAT, NTFS, etc. En el desarrollo de este trabajo se utiliza FAT (File Allocate Table) que permite agrupar los datos de una manera ordenada mediante la creación de archivos y carpetas, lo que los hace fáciles de ubicar, leer, editar o eliminar incluso desde un computador ya que FAT es admitido por todos los sistemas operativos existentes.

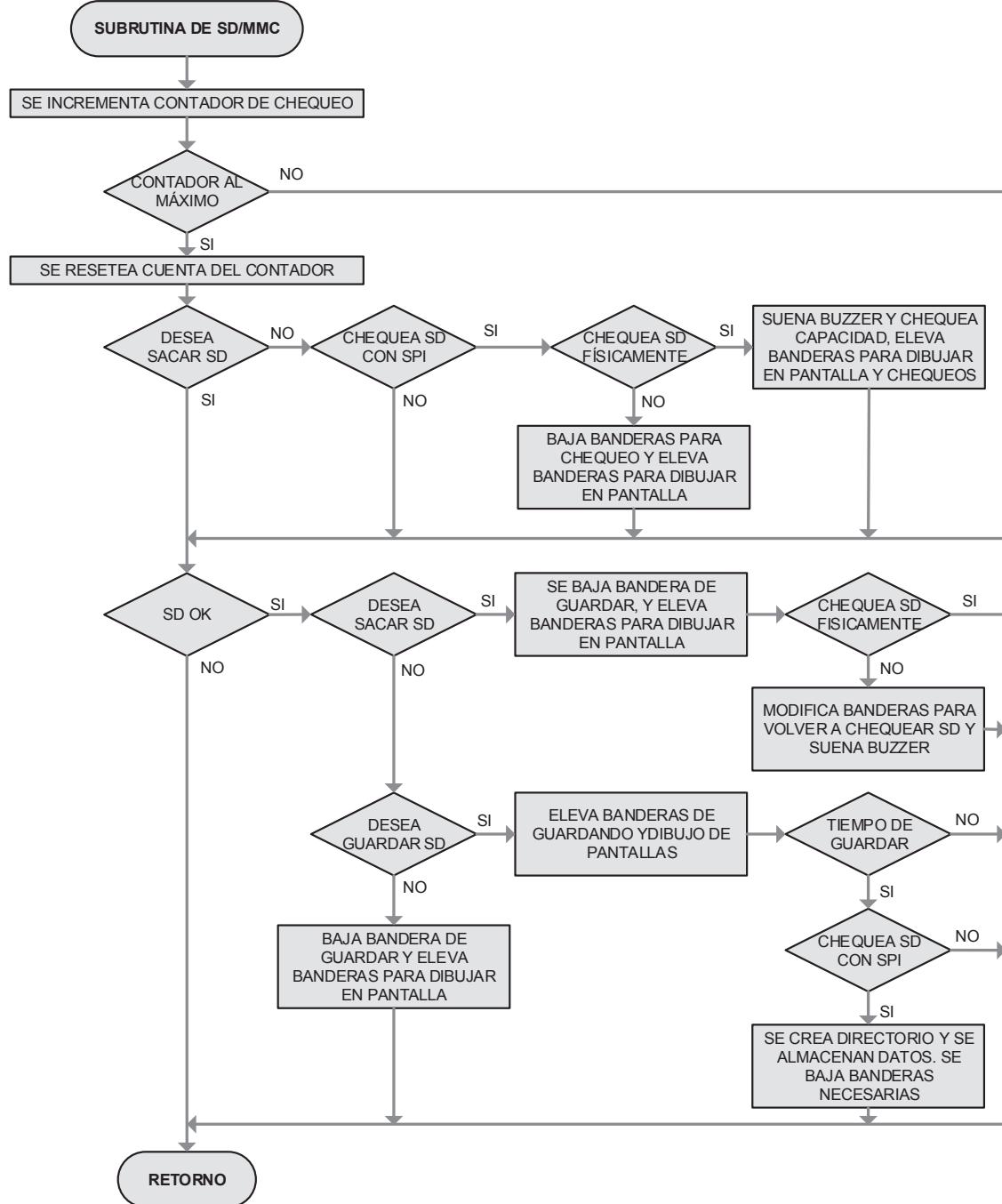


Figura 3.23 Diagrama de Flujo de la subrutina de SD/MMC

3.2.1.12 Tareas adicionales

Se desarrollan librerías adicionales con funciones necesarias para el trabajo correcto del programa en general, estas librerías incluyen subrutinas que son llamadas desde las tareas principales del lazo de trabajo o desde las subrutinas de interrupción.

Para la discriminación de las tramas del Bus CAN, almacenamiento y transformación de datos se crea la librería Adquisición.c, esta es utilizada cuando una nueva trama ingresa al Bus y la interrupción de recepción es activada. De igual manera mediante una interrupción externa originada por el reloj en tiempo real DS1307 cada segundo se ingresa a las funciones de la librería RTC.c con las que se revisa la hora y fecha, se almacena en la EEPROM el tiempo de encendido y además se realiza una temporización para el almacenamiento en la tarjeta SD/MMC.

Se crea además la librería DAC.c con funciones utilizadas para actualizar el estado del conversor digital análogo del microcontrolador, utilizado para el control del contraste, se accede a esta función cada 10 milisegundos con la ayuda de un temporizador/contador.

Finalmente la librería EEPROM.c contiene funciones para escribir y/o leer la memoria EEPROM externa mediante comunicación I2C, una descripción de los datos y localidades de memoria que se utilizan se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Mapa de memoria EEPROM externa

DIRECCIÓN	VARIABLE
0x00	Selección de matrices r-touch
0x01 a 0x28	Valores r-touch por defecto
0x29 a 0x56	Valores r-touch por usuario
0x60	Porcentaje de brillo
0x61	Porcentaje de contraste
0x62	Porcentaje del volumen del buzzer
0x63	Nivel de Rojo
0x64	Nivel de Verde
0x65	Nivel de Azul
0x70 a 0x73	Cuenta del kilometraje
0x74 a 0x77	Cuenta del tiempo de encendido
0x78 a 0x81	Cuenta del odómetro
0x82	Odómetro ON

3.2.2 PROGRAMA DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS

Para este módulo como no es necesario una cantidad de memoria considerable se utiliza un microcontrolador AT32UC3C264C, con iguales características que el del módulo principal pero con tan solo 64 kbytes en flash, en la Figura 3.24 se estructura el microcontrolador con sus periféricos que son:

- 1) Pantalla OLED,
- 2) Comunicación SPI para el controlador de los Micro Core Air Gauges,
- 3) LEDs RGB para las luces del tablero controlado mediante PWM,
- 4) Conexión al sensor de velocidad A3060,
- 5) Bus CAN para interactuar con los otros módulos del sistema.

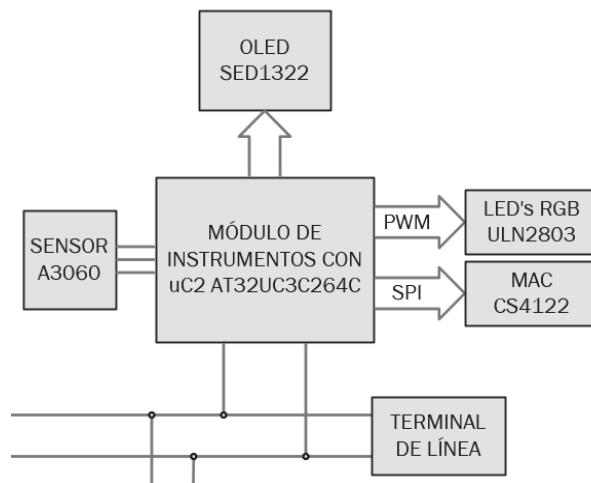


Figura 3.24 Módulo de instrumentos con sus periféricos

3.2.2.1 Módulos ASF incluidos

La Figura 3.24 muestra el ASF Wizard con los módulos incluidos para esta parte del proyecto. Como se explicó anteriormente por defecto se incluye el controlador Generic board support para configuraciones propias de la tarjeta, el controlador PM (Power Manager) y el servicio System Clock Control para configurar los relojes de los módulos internos del microcontrolador y para retardos se incluye el servicio Delay routines.

Los puertos E/S se manejan mediante el controlador GPIO (General Purpose Input/Output), y para las interrupciones es necesario el controlador INT (Interrupt Controller).

El controlador CS4122 para los Micro Air Core Gauges trabaja con comunicación SPI por tal motivo se incluye el controlador SPI (Serial Peripheral Interface). La comunicación CAN se lo realiza mediante el servicio CAN software stack y el servicio USART Debug strings es utilizado en el proyecto para funciones de depurado durante el desarrollo.

Se añade el controlador PWM (Pulse Width Modulation) para generar tres señales PWM con las que se podrá controlar el color de los LEDs RGB ubicadas en el fondo del tablero.

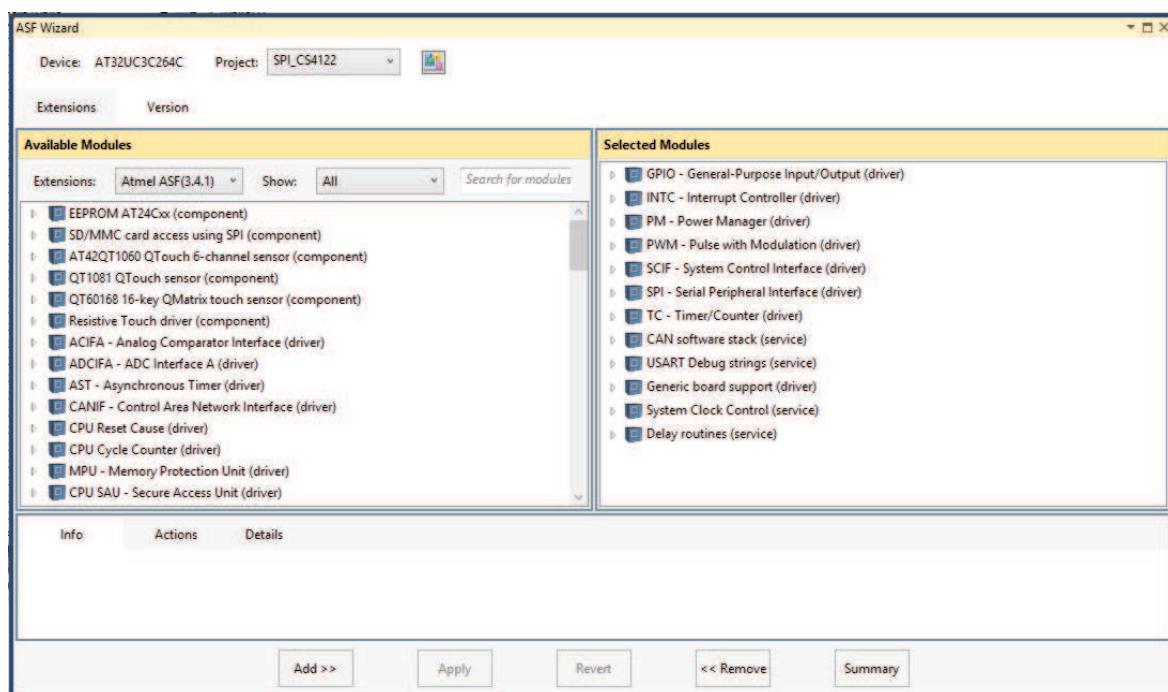


Figura 3.25 ASF Wizard del programa del módulo de instrumentos

Y por último el controlador TC (Timer/Counter) es utilizado para manejar un temporizador/contador interno del microcontrolador en modo contador con lo que se puede determinar el periodo de la señal entregada por el sensor de efecto hall A3060 de Allegro instalado en el vehículo.

3.2.2.2 Archivo main.c

En la Figura 3.26 se muestra cómo se ejecuta el programa, iniciando por las configuraciones generales de periféricos, controladores del microcontrolador y módulos del Atmel Software Framework, posteriormente se ingresa al lazo de trabajo principal para ejecutar de manera secuencial las subrutinas de control. Las subrutinas de interrupciones mantienen su propio espacio de memoria y se ejecutan independientemente del lazo principal pero siempre retornan a éste.

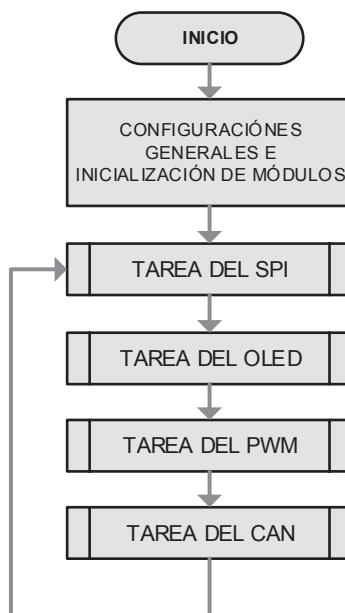


Figura 3.26 Diagrama de flujo del main

3.2.2.3 Tarea del SPI

La subrutina del SPI se encarga de calcular el ángulo que debe girar cada Micro Air Core Gauge según los datos que se tengan de nivel de voltaje del banco, velocidad y revoluciones del motor. La Figura 3.27 ilustra de manera simplificada el trabajo que realiza la subrutina.

La primera aguja se utiliza para representar en porcentaje el nivel de carga del banco de baterías, siendo la resolución de los datos 256 y el rango que se puede manejar 112 grados se tiene una resolución de 0,44 grados por bit. En este caso sólo se varía la aguja en 90 grados por lo que al 0% del valor de voltaje para

funcionamiento normal se envía el dato 0 y para el 100% de nivel de voltaje en el banco de baterías se envía el dato 204.

Para la aguja más grande se tiene una resolución de 1024 y el rango total de control 360 grados por lo que la precisión es de 0,352 grados por bit, con ésta se indica de 0 a 100 km/h en un rango de 210 grados, por lo tanto para 0 km/h se envía un 0 y para 100 km/h se envía un dato de valor 600.

La tercera aguja tiene su rango y precisión iguales a la primera, por ende su resolución también lo es. En esta se muestra de 0 a 4000 revoluciones por minuto en un rango de 110 grados, por lo que para 0 revoluciones se envía un dato 0 y para 4000 revoluciones un dato 250.

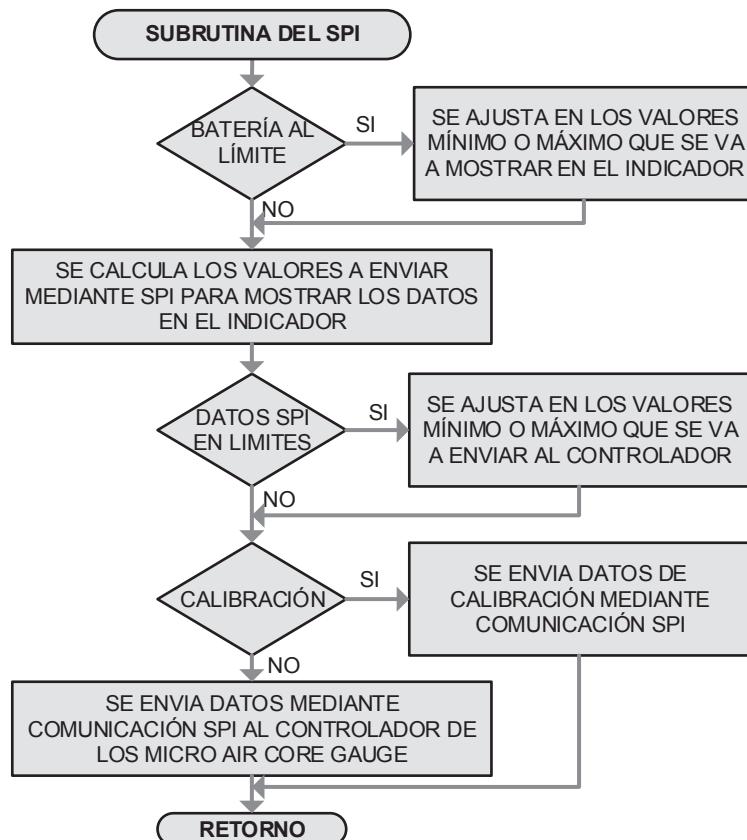


Figura 3.27 Diagrama de flujo de la subrutina del SPI

Dentro de las funciones importantes de la subrutina está la de limitar los valores dentro de los rangos adecuados para que no existan conflictos en la comunicación con el controlador CS4122.

3.2.2.4 Tarea del OLED

Esta subrutina es la encargada de mantener actualizada la información que se muestra en la pantalla OLED. Se despliega valores de kilometraje, odómetro y existen tres señales de alarma para niveles de voltaje bajo, sobretemperatura y una para el resto de alarmas, para conocer el problema específico el usuario debe ingresar al submenú EVEO en la pantalla GLCD.

La tarea trabaja en conjunto con librerías desarrolladas para manejar el controlador SSD1322 de la pantalla OLED, este se comunica con el microcontrolador mediante 8 bits de datos y 5 de comandos. En la Figura 3.28 puede observar un diagrama de flujo del trabajo de la subrutina.

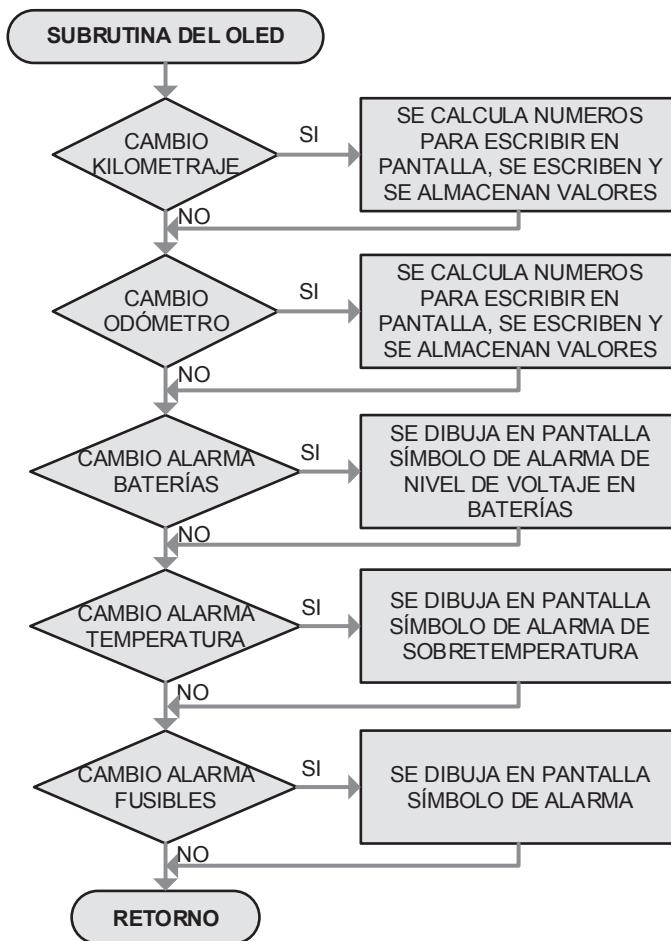


Figura 3.28 Diagrama de flujo de la subrutina del OLED

3.2.2.5 Tarea del PWM

La tarea del PWM se encarga de mantener el color actual del tablero con los valores seleccionados por el usuario, además se chequea que ingresen valores dentro de los límites y existe la discriminación de encender los LEDs cargando los anchos de pulso de los colores Rojo, Verde y Azul que se conocen mediante la comunicación en protocolo CAN desde el módulo principal o apagar las luces. En la Figura 3.29 se ilustra el trabajo de la subrutina.

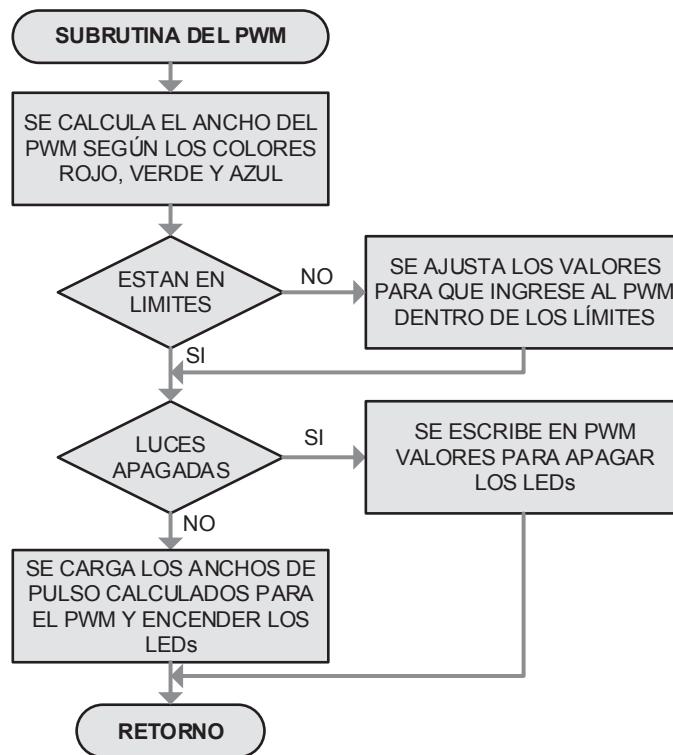


Figura 3.29 Diagrama de flujo de la subrutina del PWM

3.2.2.6 Tarea del CAN

La tarea del CAN es la encargada de la transmisión y recepción de las tramas de datos. Desde este módulo se transmite una trama con datos de velocidad y metros recorridos, como la de la número ocho de la Tabla 3.2 y le son de interés para la recepción las tres primeras tramas de la Tabla 3.1 provenientes del módulo principal con datos de LEDs RGB, baterías, kilometraje, odómetro, revoluciones por minuto y alarmas. La configuración de la comunicación es exactamente igual a la del módulo principal realizando la transmisión mediante chequeo de la bandera de

transmisión completa haciéndolo de manera pausada para no saturar el bus y la recepción mediante interrupción. La velocidad de comunicación es de 500 Mbps.

Como la estructura de la subrutina es exactamente igual a la del módulo principal el diagrama de flujo para esta resulta ser el mismo que el que se ilustró en la Figura 3.21.

3.2.2.7 Tareas Adicionales

Para la obtención de la velocidad del vehículo se acopla a la tracción un piñón de 16 dientes, al cruzar cada diente por el sensor A3060 su señal crea un flanco de subida al ingresar y un flanco de bajada al salir, obteniéndose una señal cuadrada cuya frecuencia será dependiente de cuán rápido se movilice el vehículo. Gracias a esto se determina la velocidad mediante la utilización de interrupciones externas y contadores del microcontrolador.

El trabajo empieza cuando la señal entregada por el sensor en el flanco de subida activa una interrupción en el microcontrolador, la subrutina de interrupción inicia un contador que es detenido en el siguiente flanco de subida, de tal manera que se obtiene la cuenta por cada período y como la frecuencia del oscilador es conocida como también lo es el escalador del contador se puede determinar el periodo de la siguiente manera:

$$\text{período [s]} = \frac{\text{cuenta por período}}{\frac{f_{osc}}{\text{escalador}}} = \frac{\text{escalador} \times \text{cuenta por período}}{f_{osc}}$$

La distancia recorrida, se determina mediante regla de tres conociendo que el piñón tiene 16 dientes y que el perímetro es igual al diámetro por pi, entonces:

$$\frac{16 \text{ pulsos}}{1 \text{ pulso}} \frac{\text{diámetro de la rueda} \times \pi}{\text{distancia}} \rightarrow$$

$$\text{distancia [m]} = \frac{\text{diámetro de la rueda} \times \pi}{16}$$

Con estos dos últimos datos es fácil conocer la velocidad, ya que es una relación directa entre distancia y período:

$$\text{Velocidad } \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{distancia } [\text{m}]}{\text{periodo } [\text{s}]}$$

Las fórmulas utilizadas para conocer la velocidad en metros por segundo y en kilómetros por hora quedan así:

$$\text{Velocidad } \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{diámetro de la rueda} \times \pi \times f_{osc}}{16 \times \text{escalador} \times \text{cuenta por periodo}}$$

$$\text{Velocidad } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = \frac{3.6 \times \text{diámetro de la rueda} \times \pi \times f_{osc}}{16 \times \text{escalador} \times \text{cuenta por periodo}}$$

En la Figura 3.30 se ilustra cómo se realiza la cuenta por cada periodo, note que para frecuencias bajas es necesario conocer el número de veces que el contador se desborda con el fin de conocer la cuenta completa en dicho periodo.

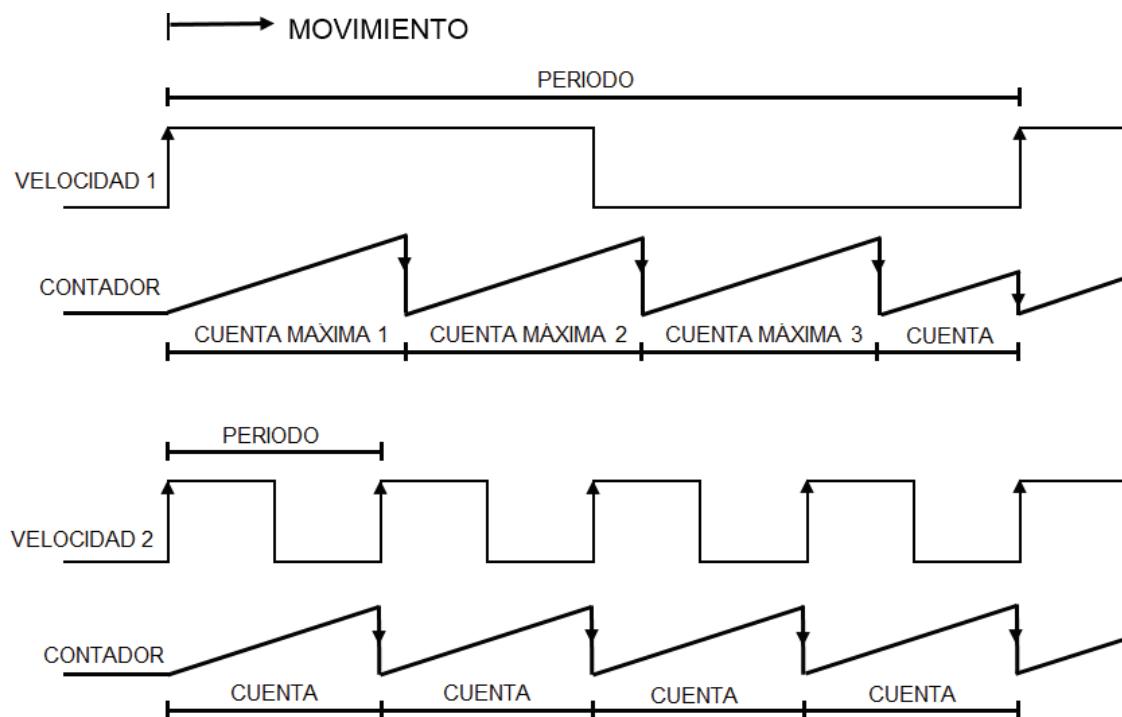


Figura 3.30 Medición de velocidad

En un intervalo de tiempo extremadamente pequeño se define la velocidad como:

$$v = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

De la ecuación anterior se puede fácilmente conocer que la distancia recorrida en un intervalo de tiempo es igual a la integral de la velocidad respecto al tiempo en dicho intervalo, de ésta manera:

$$d = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$

Para casos prácticos no es necesario resolver la integral y más bien se puede realizar aproximaciones mediante un sumatorio de rectángulos, tal como se muestra en la Figura 3.31.

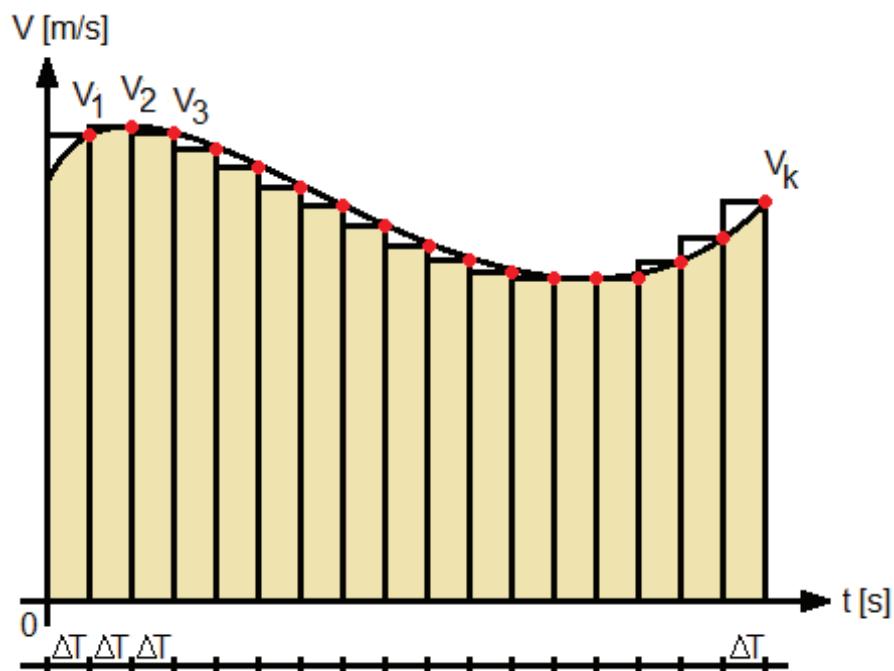


Figura 3.31 Curva de velocidad

El intervalo de tiempo ΔT es creado mediante un temporizador/contador interno del microcontrolador, se configura de tal manera que cree una interrupción cada 10 milisegundos la cual será el tiempo de muestreo, la velocidad instantánea del vehículo también es conocida por el procedimiento explicado anteriormente, y por ende con estos dos datos se puede ir calculando mediante un sumatorio la distancia recorrida:

$$\text{distancia recorrida} = \sum_{n=0} V_n \times \Delta t$$

Al encender el vehículo la distancia recorrida empieza en cero, desde este momento el programa cuenta los metros recorridos y envía al módulo principal para que calcule el kilometraje y almacene en la memoria EEPROM.

Al igual que en el módulo principal se crea la librería Adquisición.c con funciones específicas para la comunicación en protocolo CAN.

3.2.3 PROGRAMA DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN

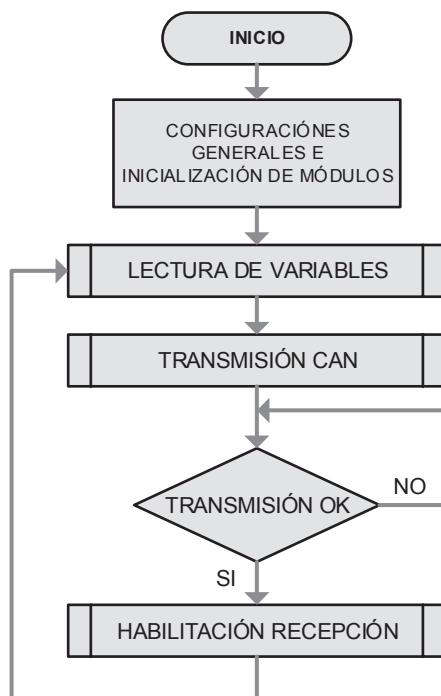


Figura 3.32 Diagrama de flujo del programa del módulo de adquisición

Para este módulo se escoge un microcontrolador ATMEGA16M1, especial para aplicaciones automotrices, posee un conversor análogo digital con resolución de 10 bits y un controlador para comunicación en protocolo CAN, lo que lo vuelve ideal para efectuar la tarea de medición de las señales acondicionadas de los parámetros del vehículo eléctrico y transmitirlas hacia el módulo principal.

El archivo main.c contiene el lazo principal de control, la Figura 3.32 representa un diagrama de flujo de éste.

3.2.3.1 Lectura de variables

En esta parte se realiza una digitalización de las señales acondicionadas de los parámetros del vehículo eléctrico. En la Figura 3.33 se ilustra mediante un diagrama de flujo el trabajo de esta subrutina.

Para el desarrollo del programa se considera que se utiliza dos multiplexores análogos cada uno con ocho canales, tres bits de selección y uno de habilitación, gracias a esto con tan solo dos canales ADC del microcontrolador se logra ampliar a dieciséis.

Se implementa un filtro digital ya que las señales poseen ruido de alta frecuencia debido a las conmutaciones de las fuentes switching utilizadas, el filtro consiste en realizar un promedio de dieciséis muestras tomadas secuencialmente por cada canal con lo que se disminuye la probabilidad de tomar un único dato que pueda estar fuera del rango.

3.2.3.2 Transmisión de datos

El microcontrolador ATMEGA16M1 posee un controlador interno para la comunicación en protocolo CAN, gracias a éste se puede realizar las configuraciones, entrramado y chequeo del protocolo de manera rápida y sencilla.

En este nodo no se configura la recepción debido a que no existe ninguna trama de interés para el mismo, pero más bien resulta ser el nodo que más tramas introduce al bus, porque es el encargado de transmitir los datos de la mayoría de parámetros del vehículo, en la Tabla 3.2 puede observarse las tramas que transmite que resultan ser todas a excepción de la número ocho.

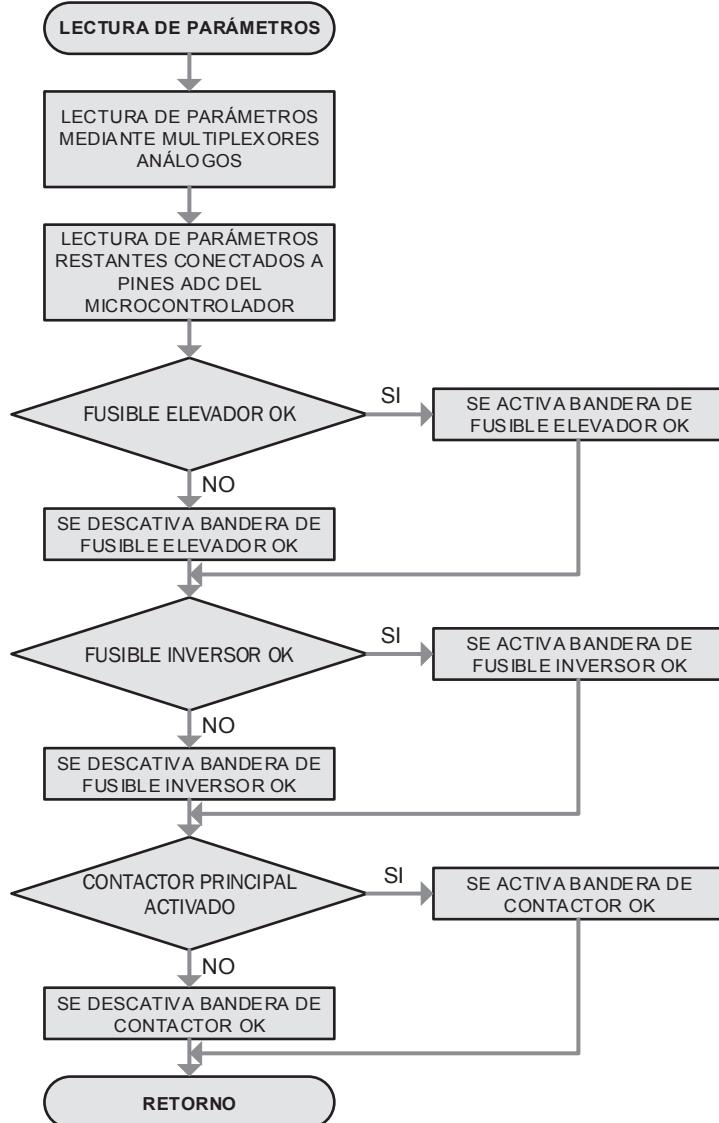


Figura 3.33 Diagrama de flujo de la subrutina de lectura de parámetros

3.2.4 PROGRAMA DEL MÓDULO INDICADOR DE HORA

Este módulo se encarga de manejar el display siete segmentos que muestra la hora en formato 12 horas, se tiene de igual manera un microcontrolador ATMEGA16M1 con controlador CAN para el bus de comunicaciones.

El nodo de comunicación resulta bastante sencillo debido a que solo maneja una trama en la recepción y no existen tramas de transmisión, puede ver en la Tabla 3.1 en la posición 4 la trama con los datos de hora, minutos y segundos.

Al ser recibida la trama se analiza su contenido para determinar los respectivos segmentos que deben ser encendidos, además existe una protección de tiempo en espera para el controlador CAN, puede ver en la Figura 3.34 un diagrama de flujo representativo de cómo trabaja el programa de control de esta sección.

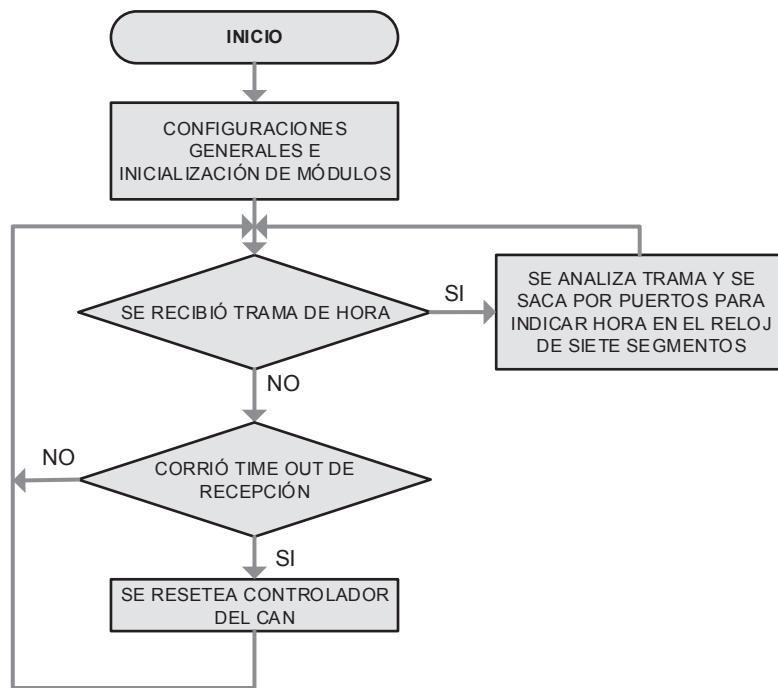


Figura 3.34 Diagrama de flujo del programa de control del módulo indicador de hora

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra el sistema final construido, se detalla la medición de cada uno de los parámetros establecidos en los objetivos, se describen las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento y se enuncian los resultados obtenidos.

4.1 SISTEMA FINAL CONSTRUIDO

El sistema construido consta de cuatro tarjetas electrónicas que establecen cuatro nodos de comunicación para el sistema de comunicación CAN, se denomina tarjeta principal a la tarjeta encargada de gestionar la información recibida por los otros módulos y manejar la HMI diseñada mediante la utilización de la pantalla GLCD. El segundo nodo se implementó mediante una tarjeta electrónica denominada de tablero debido a que esta también se le encargó el control de la pantalla OLED y los indicadores. En la parte posterior del vehículo se instaló una tarjeta denominada de adquisición encargada de recolectar las mediciones de los parámetros e introducirlos en el Bus CAN. La cuarta tarjeta maneja un indicador siete segmentos para la hora.

Puede observar el tablero del nuevo sistema de visualización en la Figura 4.1 y compararlo con el sistema de visualización de parámetros antiguo ilustrado en la Figura 4.2.

El proyecto de titulación como puede observarse se enfocó ampliamente en mejorar la apariencia del tablero del automotor.



Figura 4.1 Sistema de visualización de parámetros nuevo



Figura 4.2 Sistema de visualización de parámetros antiguo

4.2 SOFTWARE PARA VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El “Visualizador de Parámetros del Vehículo Eléctrico” es un programa desarrollado en el paquete informático Microsoft Visual Studio mediante la Aplicación Windows Forms, utilizando la librería ZedGraph para crear las gráficas de:

- Voltaje total del banco de baterías
- Corriente de salida del banco de baterías
- Temperatura promedio del banco de baterías
- Corriente de salida del módulo elevador
- Temperatura del motor
- Frecuencia de salida del módulo inversor

Estas gráficas se crean leyendo los datos que el sistema de monitoreo almacena en la memoria MMC/SD cuando el usuario lo requiere. La librería ZedGraph utilizada es de licencia libre.

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En los objetivos del proyecto de titulación se establecieron los parámetros de medición y las características que debería cumplir el sistema, a continuación se detallan las pruebas realizadas para verificar la eficacia de la construcción e implementación.

4.3.1 MEDICIÓN DEL VOLTAJE DEL BANCO DE BATERÍAS

Como se ha explicado anteriormente el vehículo consta de un banco de baterías con diez baterías de plomo ácido conectadas en serie con las que se alimenta la etapa de potencia que mueve el automotor. El hardware para la medición de las baterías necesariamente debe ser diferencial debido a que la referencia de cada una es diferente, para verificar el buen funcionamiento del mismo se probó conectando cuatro fuentes aisladas en serie obteniéndose los resultados de la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Pruebas de funcionamiento del circuito para medición de voltaje del banco de baterías

	Medición con Multímetro Fluke 87 V [V]	Medición con sistema de visualización [V]	Error Absoluto	Error Relativo [%]
FUENTE 1	8.05	8.1	0,05	0,62
	9.12	9.2	0,08	0,88
	10.14	10.2	0,06	0,59
	11.12	11.2	0,08	0,72
	12.08	12.1	0,02	0,17
	13,08	13.2	0,12	0,92
FUENTE 2	8.12	8.2	0,08	0,99
	9.03	9.1	0,07	0,78
	10.04	10.1	0,06	0,60
	11.16	11.2	0,04	0,36
	12.15	12.2	0,05	0,41
	13.12	13.2	0,08	0,61
FUENTE 3	8.15	8.2	0,05	0,61
	9.01	9.0	-0,01	-0,11
	10.12	10.2	0,08	0,79
	11.08	11.2	0,12	1,08
	12.12	12.2	0,08	0,66
	13.02	13.1	0,08	0,61
FUENTE 4	8.07	8.1	0,03	0,37
	9.03	9.1	0,07	0,78
	10.08	10.1	0,02	0,20
	11.12	11.2	0,08	0,72
	12.04	12.1	0,06	0,50
	13.04	13.1	0,06	0,46

Para tener resultados óptimos como los que se observan fue necesario la utilización de resistencias con tolerancia del 1 % y de amplificadores operacionales de buena calidad.

En el grupo de Figuras 4.3 se observan las mediciones de las baterías con un multímetro comercial marca Fluke modelo 87V, y en la Figura 4.4 se observa la medición mediante el sistema de visualización implementado.



Figura 4.3 a) Medición batería 1



Figura 4.3 b) Medición batería 2



Figura 4.3 c) Medición batería 3



Figura 4.3 d) Medición batería 4



Figura 4.3 e) Medición batería 5



Figura 4.3 f) Medición batería 6

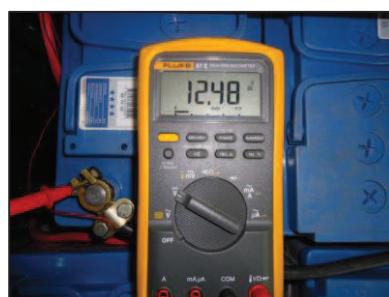


Figura 4.3 g) Medición batería 7



Figura 4.3 h) Medición batería 8



Figura 4.3 i) Medición batería 9



Figura 4.3 j) Medición batería 10

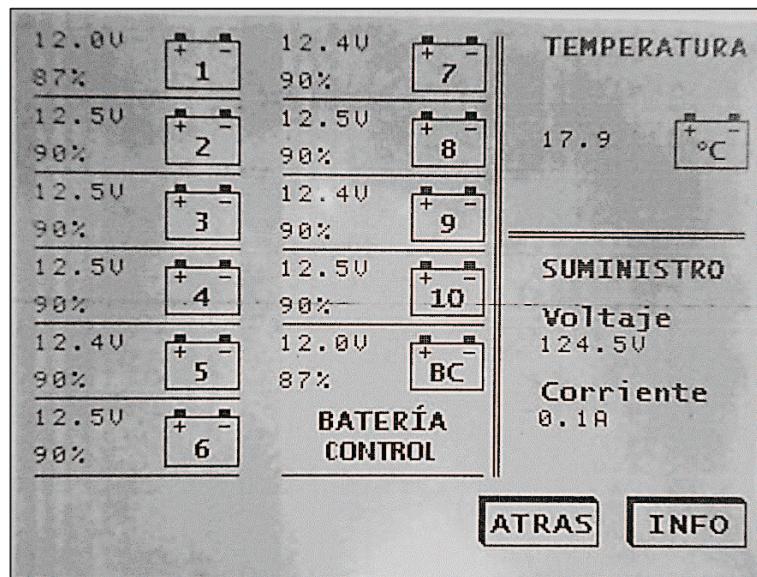


Figura 4.4 Medición de baterías mediante el sistema de visualización



Figura 4.5 Medición del voltaje total del banco de baterías

Para el voltaje total del banco se realiza también la respectiva medición ilustrada en la Figura 4.5 con lo que se obtiene un error de 200 mV que significan un error del 0,6 %.

4.3.2 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE SUMINISTRADA POR EL BANCO DE BATERÍAS

Para verificar la medición de la corriente suministrada por el banco de baterías se utilizó el software “Visualizador de Parámetros del Vehículo Eléctrico” debido a dos aspectos influyentes, el primero es que dicha corriente excede de un valor considerable únicamente al acelerar el motor y la segunda es que su valor es demasiado cambiante por lo que resulta complicado mantenerlo fijo como para comparar con un amperímetro digital.

La señal obtenida en estas tres pruebas se la compara con la señal de un osciloscopio digital marca Tektronix modelo TD220 conectada una pinza ampermétrica marca Fluke modelo 80i-110s para la captura de la corriente.

4.3.2.1 Medición de corriente del banco de baterías en neutro y sin carga

En la Figura 4.6 puede observar en rojo la curva de la corriente, en azul la del voltaje del banco de baterías y en café se tiene una referencia de la frecuencia de salida del módulo inversor. Esta gráfica fue capturada después de haber accionado el contactor principal, por lo que se observa claramente un pico de corriente inicial y después se mantiene en un nivel aproximado de 1 amperio debido a las fugas y al consumo de los sistemas de control conectados a las baterías del banco.

La Figura 4.7 en cambio muestra la gráfica obtenida mediante el osciloscopio digital bajo las mismas condiciones de la Figura 4.6. Considerando que el muestreo de la Figura 4.6 se realiza a una tasa de una muestra por segundo, y que el osciloscopio digital lo realiza a un millón de muestras por segundo se marcan diferencias bastante notorias en las gráficas, pero en ambas se conserva la tendencia de la curva y los mismos niveles de corriente por lo que se considera que la medición está en un rango bastante aceptable, no mostrará de manera exacta las señales pero sí da una idea bastante aproximada de cómo está el sistema.

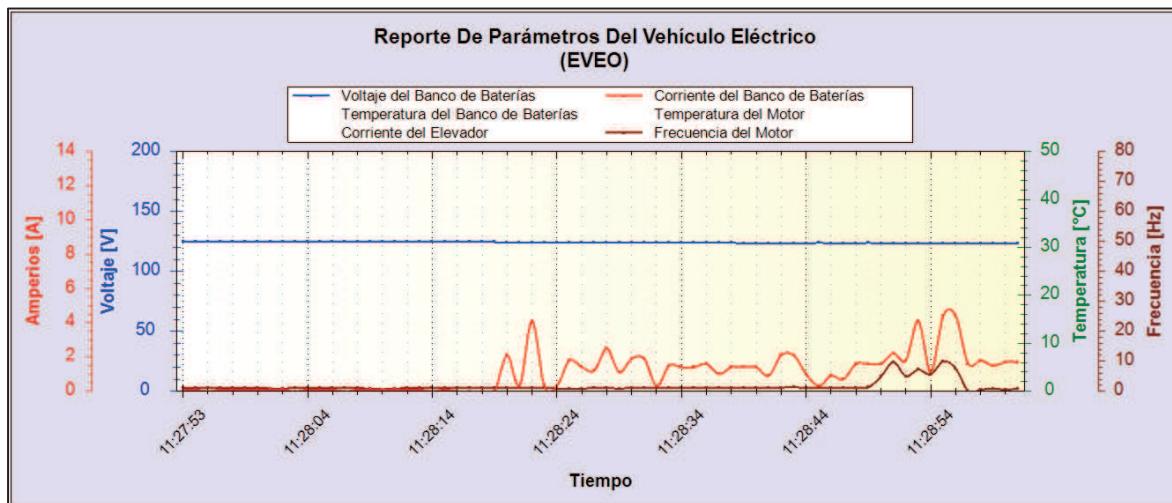


Figura 4.6 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en neutro y sin carga capturada con el visualizador de parámetros del EVEO

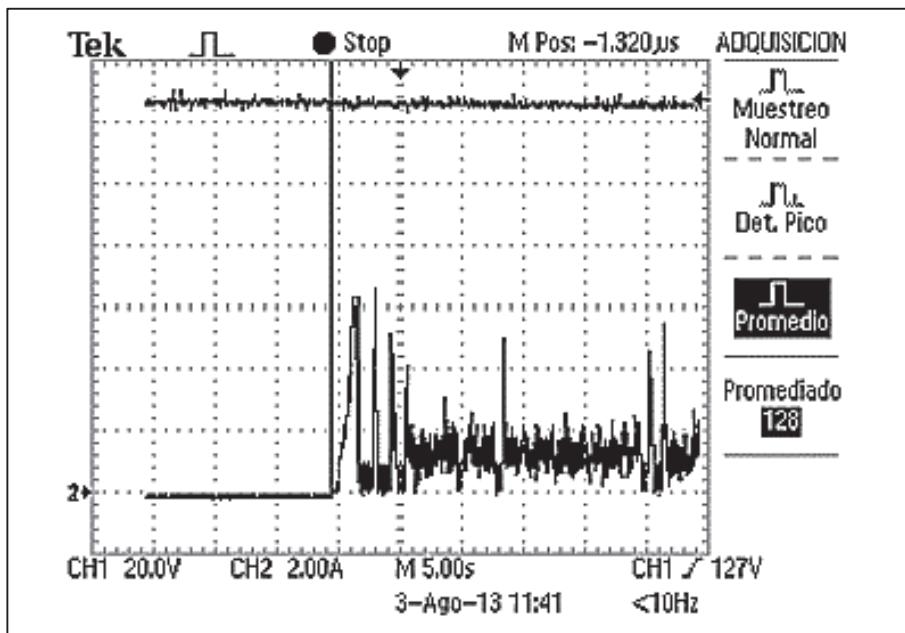


Figura 4.7 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en neutro y sin carga capturada con el osciloscopio digital

4.3.2.2 Medición de corriente del banco de baterías en neutro y con carga

Las Figuras 4.8 y 4.9 se tomaron acelerando el motor de inducción pero sin acoplarlo a la caja de cambios, es decir en neutro. Se observa en ambas un pico de corriente bastante elevado el momento de acelerar y una corriente estable cuando se llega a la velocidad deseada.

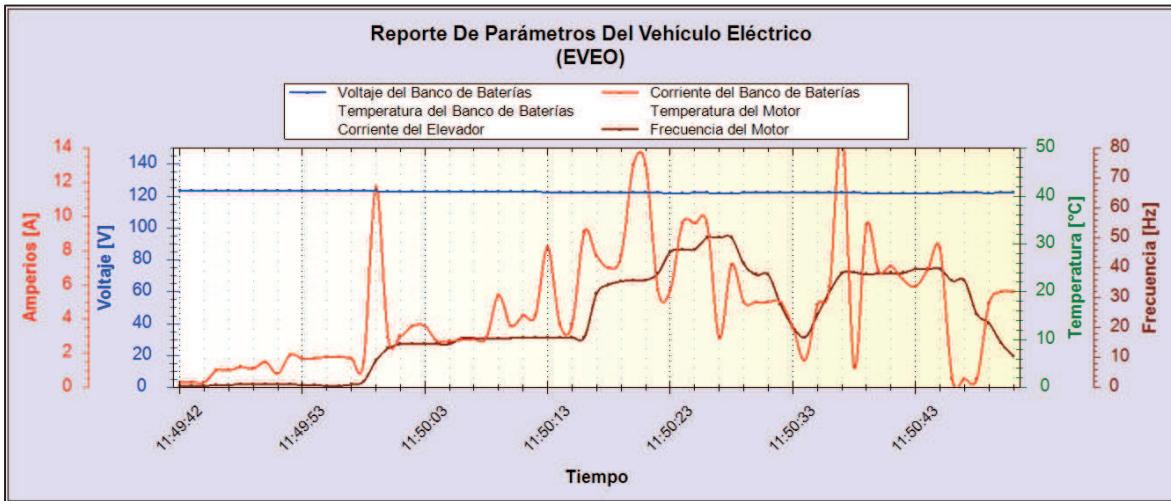


Figura 4.8 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en neutro y con carga capturada con el visualizador de parámetros del EVEO

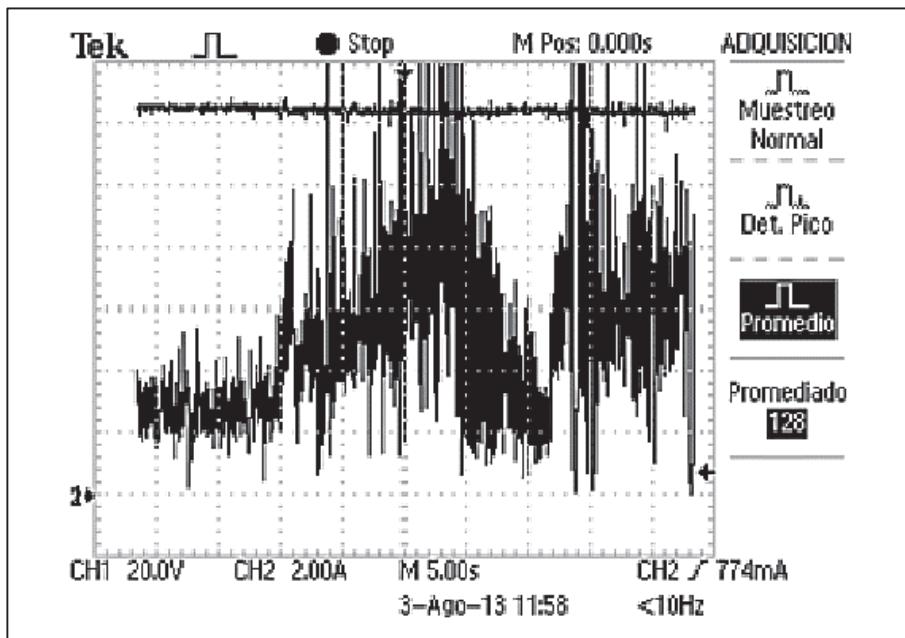


Figura 4.9 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en neutro y con carga capturada con el osciloscopio digital

De igual manera que en la prueba anterior se ve una similitud bastante grande entre las dos gráficas, considerando que la capturada por el osciloscopio tiene 25000 puntos de muestreo mientras que la capturada por el sistema únicamente 50.

4.3.2.3 Medición de corriente del banco de baterías en marcha y con carga

Las Figuras 4.10 y 4.11 se capturaron acelerando el automóvil en marcha número cuatro, se ve en ambas gráficas claramente que conforme se aumenta la frecuencia del motor aumenta la corriente de salida del banco de baterías, con lo que se ve la eficacia del sistema implementado de monitoreo.

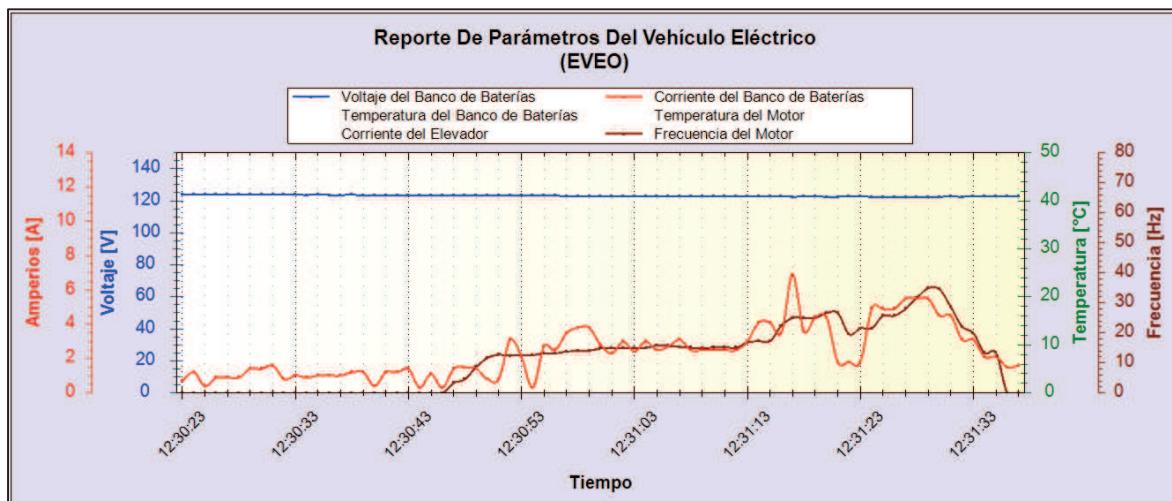


Figura 4.10 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en marcha y con carga capturada con el visualizador de parámetros del EVEO

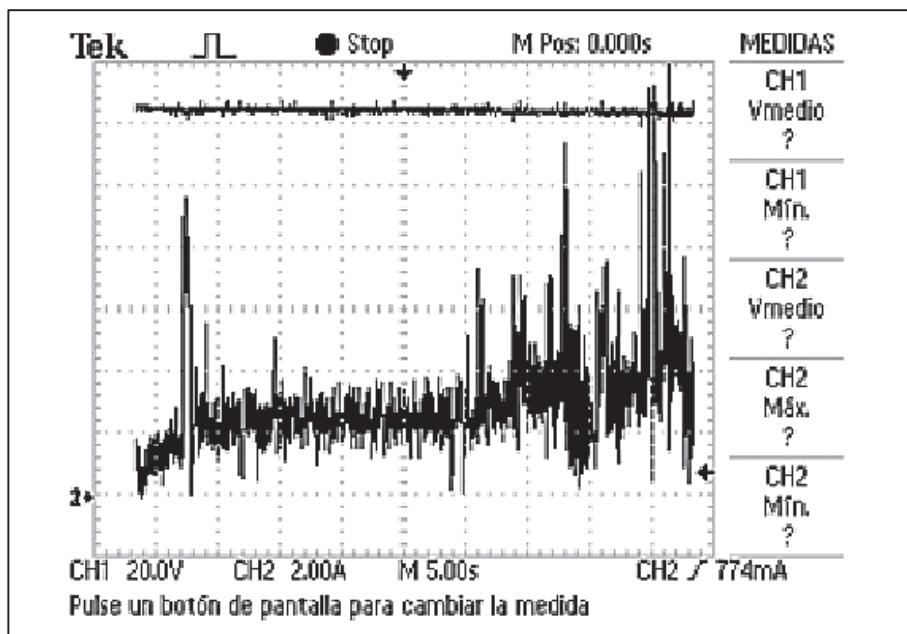


Figura 4.11 Forma de onda de la corriente de salida del banco de baterías en marcha y con carga capturada con el osciloscopio digital

4.3.3 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL BANCO DE BATERÍAS

La medición del promedio de temperatura del banco de baterías efectuada por el sistema de monitoreo se comparó con la medida obtenida mediante una termocupla de marca Fluke asociada a un multímetro Fluke 87V, obteniéndose los resultados de las Figuras 4.12 y 4.13.



Figura 4.12 Medición de un sensor de temperatura del banco de baterías mediante termocupla Fluke

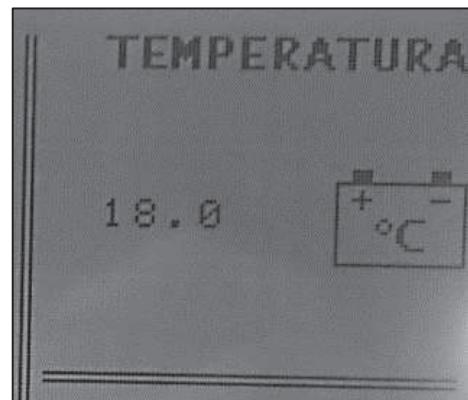


Figura 4.13 Valor promedio de la temperatura del banco de baterías medido por el sistema de monitoreo

4.3.4 MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE SALIDA DEL MÓDULO ELEVADOR

La verificación del correcto funcionamiento del circuito acondicionador para la medición del voltaje de salida del conversor elevador se realizó con la ayuda de un rectificador trifásico con filtro variable de 0 a 311 VDC, las pruebas realizadas determinaron una linealidad de 0,99 utilizando elementos con baja tolerancia (1%).

En el vehículo EVEO éste voltaje no se lo puede hacer variar por lo que simplemente se realizaron dos verificaciones, la primera en la Figura 4.14 cuando el contactor está abierto y no existe elevación de voltaje y la segunda ilustrada en la Figura 4.15 cuando se cierra el contactor principal y el circuito eleva a un rango entre los 320 y 340 VDC, el error para esta prueba fue del 0,9%.

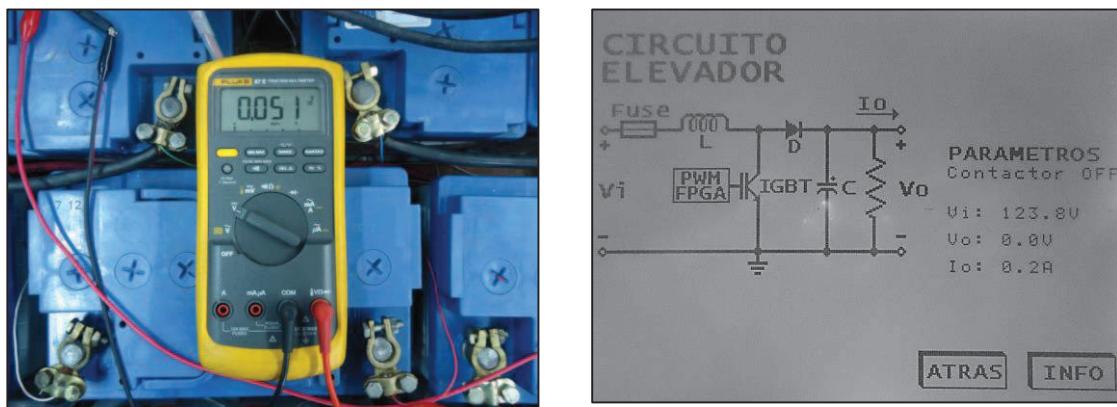


Figura 4.14 Medición del voltaje de salida del elevador abierto el contactor principal

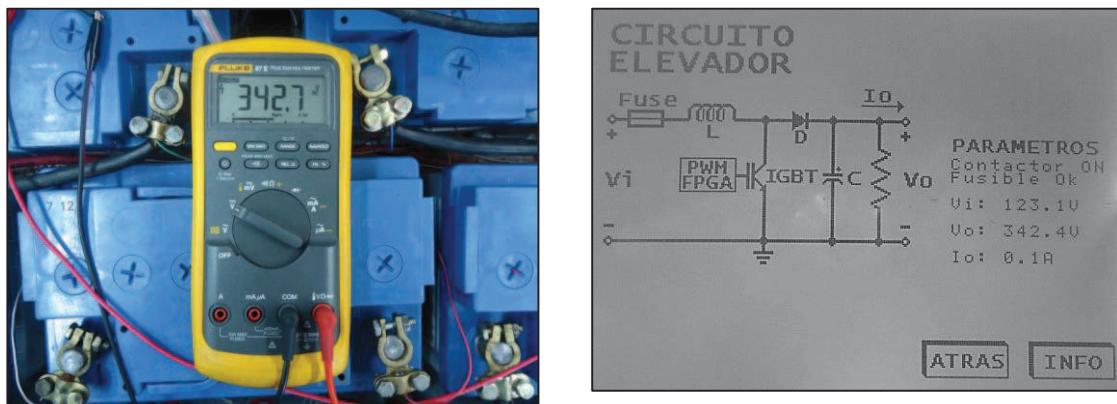


Figura 4.15 Medición del voltaje de salida del elevador cerrado el contactor principal

4.3.5 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA DEL MÓDULO ELEVADOR

Al igual que la corriente de salida del banco de baterías, ésta corriente es muy cambiante e inestable por lo que resulta complicado compararla con un amperímetro digital, lo que se hace es capturar la forma de onda en determinado tiempo y compararla con la obtenida con el software Visualizador de Parámetros del EVEO. En las Figuras 4.16 y 4.17 se tienen las gráficas de la corriente.

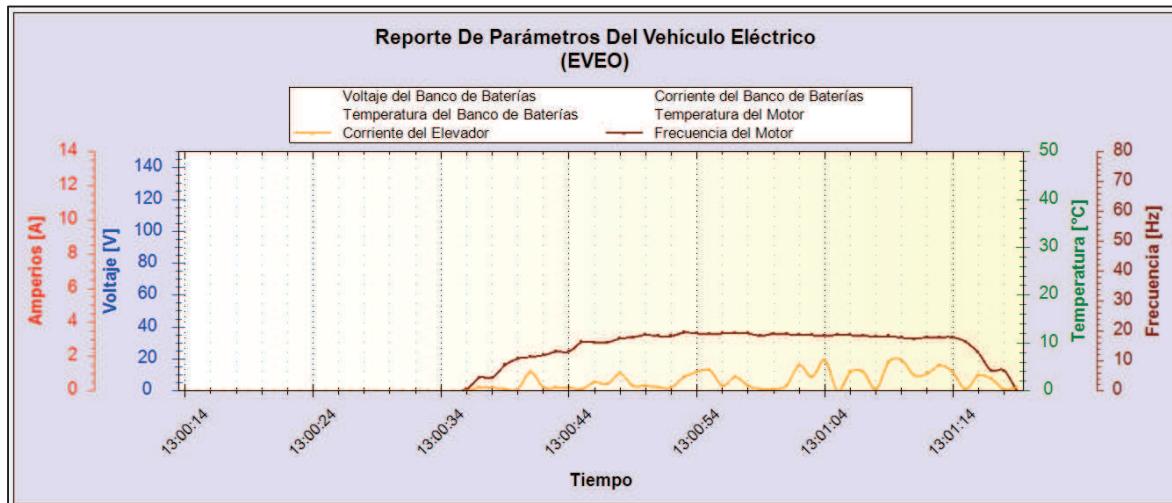


Figura 4.16 Forma de onda de la corriente de salida del módulo elevador capturada con el visualizador de parámetros del EVEO

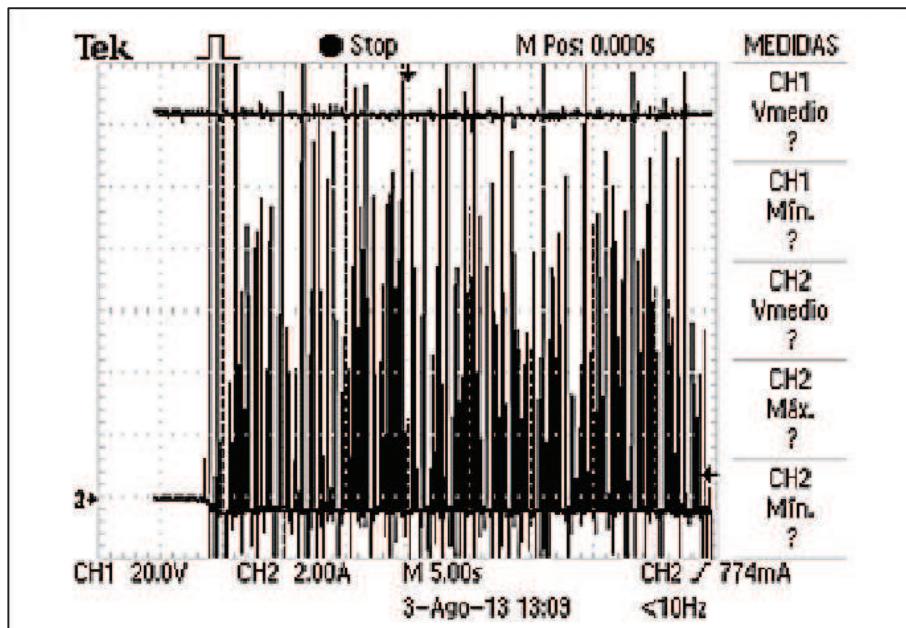


Figura 4.17 Forma de onda de la corriente de salida del módulo elevador capturada con el osciloscopio digital

Nuevamente se ve la marcada diferencia debido al muestreo de ambos métodos de adquisición, pero en líneas generales el reporte del sistema de monitoreo es bastante aceptable en cuanto a la tendencia de la curva que para este caso ante una velocidad fija se mantiene en un valor estable existiendo en la curva muchos picos de corriente de amplitudes elevadas.

4.3.6 MEDICIÓN DE PEDALES

Los pedales en el EVEO sirven para dos situaciones; el acelerador es usado para dar una señal al módulo inversor para que determine la frecuencia de salida hacia el motor de inducción y por ende la velocidad, y el pedal del freno genera una señal que indica la cantidad de corriente continua aplicada a un bobinado del motor con el objeto de frenarlo.

Estas dos mediciones fueron acondicionadas en un proyecto de titulación anterior, lo que se realiza en este caso es una medida paralela de la misma señal de salida del acondicionamiento, con lo que se tiene medidas en espejo de las originales.

4.3.7 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR



Figura 4.18 Temperatura del motor medido con la termocupla y el multímetro Fluke

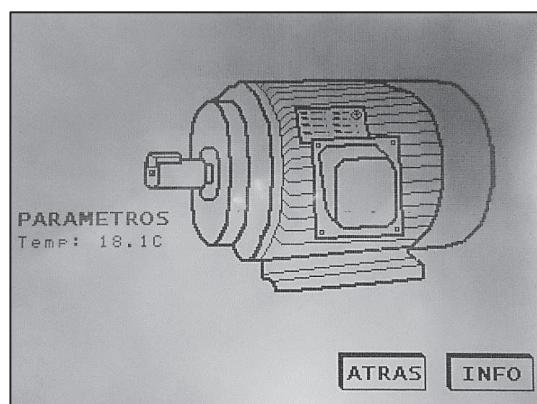


Figura 4.19 Temperatura del motor medido con el sistema de monitoreo

El sensor de temperatura fue colocado sobre la carcasa del motor y se verifica que se realice mediciones correctas comparándolo con la termocupla asociada al multímetro Fluke 87V, obteniéndose los resultados de las Figuras 4.18 y 4.19 que demuestran que el sistema de medición es bueno.

4.3.8 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR

En este punto se trata de comprobar la eficacia del algoritmo de medición de la velocidad utilizando el sensor de efecto hall A3060 de Allegro y el sistema mecánico diseñado, construido e instalado en la tracción del vehículo. Puede ver el sistema final en la Figura 4.20.



Figura 4.20 Sistema para medición de velocidad del EVEO

Primero se utilizó un generador de onda cuadrada para simular las variaciones de frecuencia en la señal que entrega el sensor, en el capítulo 3 se determinó que la velocidad está definida por:

$$\text{Velocidad } \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = \frac{3.6 \times \text{diámetro de la rueda} \times \pi \times f_{\text{medida}}}{\text{dientes del piñón}}$$

Donde el diámetro de la rueda es constante e igual a 0.48 m y el número de dientes del piñón es 16, con lo que se realizaron las mediciones indicadas en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Pruebas de medición de velocidad

FRECUENCIA [Hz]	TIEMPO DE PRUEBA [s]	VELOCIDAD DESEADA [km/h]	VELOCIDAD CALCULADA [km/h]	DISTANCIA DESEADA [m]	DISTANCIA CALCULADA [m]
30	120	10.18	10.2	339	340
60	120	20.35	20.4	678	680
90	120	30.54	30.5	1018	1017
120	120	40.72	40.7	1357	1357

Los resultados obtenidos mediante la simulación con el generador de señales fueron bastante satisfactorios con errores inferiores al 0.5%, una vez instalado en el EVEO se realizaron pruebas similares, con la diferencia que resulta complicado mantenerlo a cierta velocidad durante cierto tiempo por las condiciones mecánicas del automotor, pero se puede hacer una aproximación de lo anterior, por ejemplo durante 2 minutos se procuró mantenerlo con una velocidad de 10 km/h constante y durante este tiempo el odómetro marcó 348 metros y se dieron aproximadamente 230 vueltas de una rueda.

4.3.9 MEDICIÓN DEL ESTADO DE CARGA DE LAS BATERÍAS

El vehículo EVEO cuenta con un cargador para el banco de baterías desarrollado en un proyecto de titulación anterior, éste tiene una pantalla LCD para indicar el voltaje, temperatura y corriente de carga.

Las mediciones visualizadas en el cargador fueron reproducidas por el actual sistema de monitoreo para incluirlas en el HMI con una pantalla dedicada (Figura 4.21).

Una ventaja del sistema de monitoreo es que gracias a la grabación de los parámetros es posible observar cómo el voltaje del banco evoluciona durante la carga, para garantizar la confiabilidad de estas mediciones se compararon con las del osciloscopio digital como puede observarse en las Figuras 4.22 y 4.23.

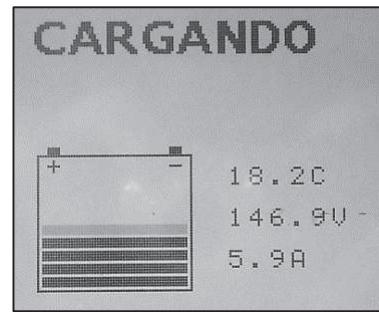


Figura 4.21 Pantalla del cargador con mediciones de voltaje, temperatura y corriente de carga

En la Figura 4.22 puede notar en azul el voltaje del banco de baterías que ha ido creciendo debido a la carga y en verde la temperatura promedio de las baterías, mientras que en la Figura 4.23 se tiene el mismo voltaje total del banco de baterías pero esta vez capturado por un osciloscopio digital, de igual manera se observa que va creciendo durante la carga. Además se capturó la forma de onda de corriente que para el nuevo sistema de monitoreo se puede observar de manera digital en la pantalla GLCD.

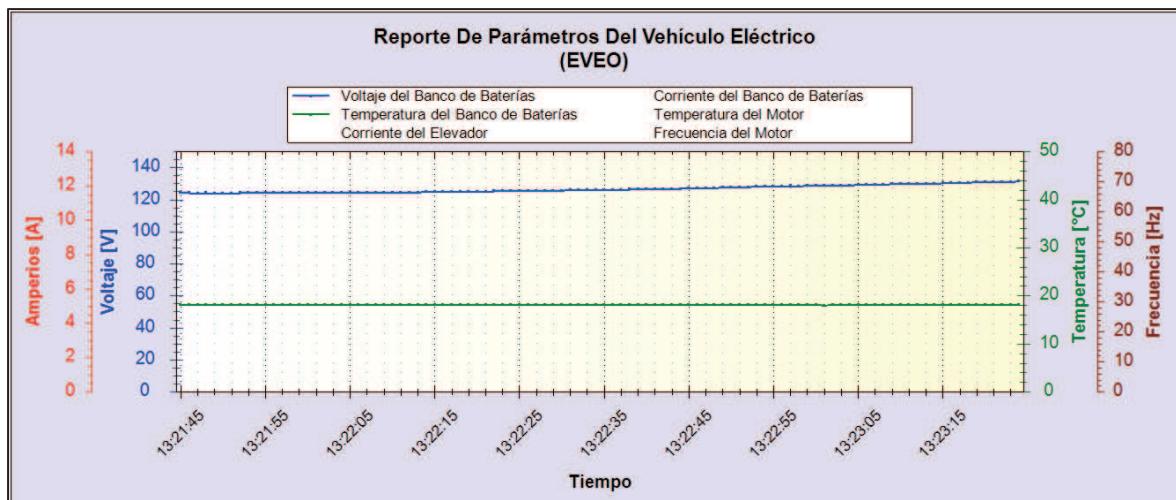


Figura 4.22 Forma de onda del voltaje del banco de baterías durante la carga capturada con el sistema de monitoreo

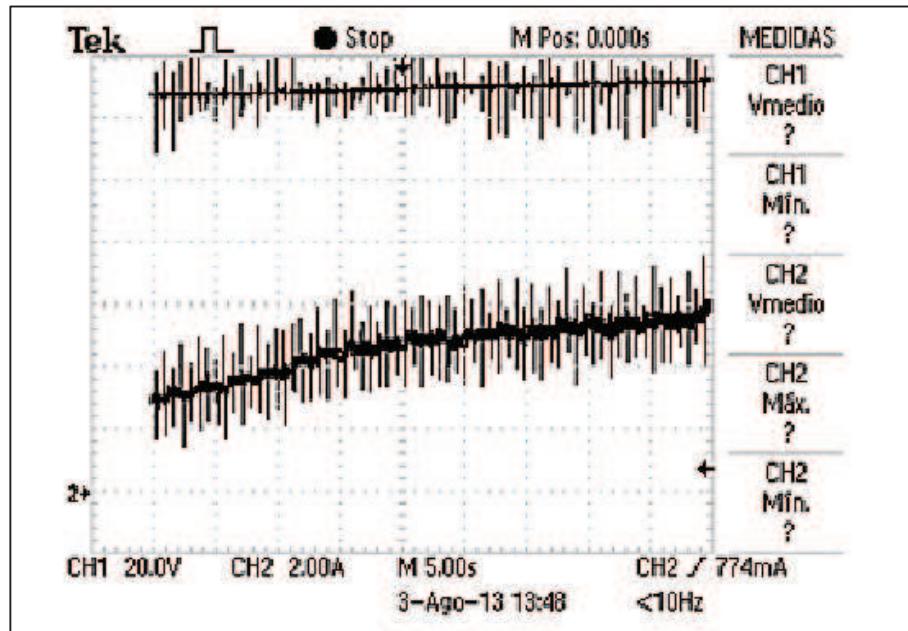


Figura 4.23 Forma de onda del voltaje y corriente de carga del banco de baterías durante la carga capturada con el osciloscopio digital

4.3.10 MEDICIÓN DEL ESTADO DE LOS FUSIBLES

Existen dos fusible principales en la parte de potencia, el primero habilita el paso del voltaje del banco de baterías hacia el módulo elevador y el segundo desde la salida de éste hacia el módulo inversor. Dentro de los objetivos del proyecto de titulación estaba el de detectar si estos se encuentran abiertos o cerrados, para ello se implementó una detección por hardware que sensa el módulo de adquisición encargado además de transmitir el estado de los mismos al módulo principal (Figura 4.24).

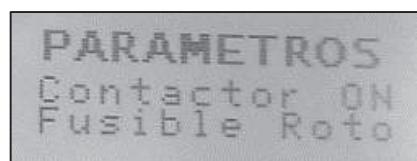


Figura 4.24 Medición de estado de fusibles y contactor principal

4.3.11 MEDICIÓN DEL ESTADO DEL CONTACTOR PRINCIPAL

Se utilizó un contacto auxiliar del contactor principal con la finalidad de saber si este se encuentra activado o no, esta señal resulta ser una de realimentación para estar

conscientes que se dispone de energía en la parte de potencia que mueve el automotor (Figura 4.24).

4.4 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE ALARMAS

Se definieron 6 condiciones para que se presente una alarma visual y auditiva:

- Voltaje del banco de baterías bajo
- Voltaje de la batería de control bajo
- Sobretemperatura en motor
- Sobretemperatura en baterías
- Problema en fusibles
- Cambiar pila del reloj en tiempo real

Estos seis fallos fueron probados en el laboratorio cumpliendo en todos los casos la alerta esperada, en el EVEO se puede realizaron las pruebas de problemas en fusibles (Figuras 4.25) y voltajes bajos (Figuras 4.26), cumpliendo en todas las situaciones el resultado esperado.

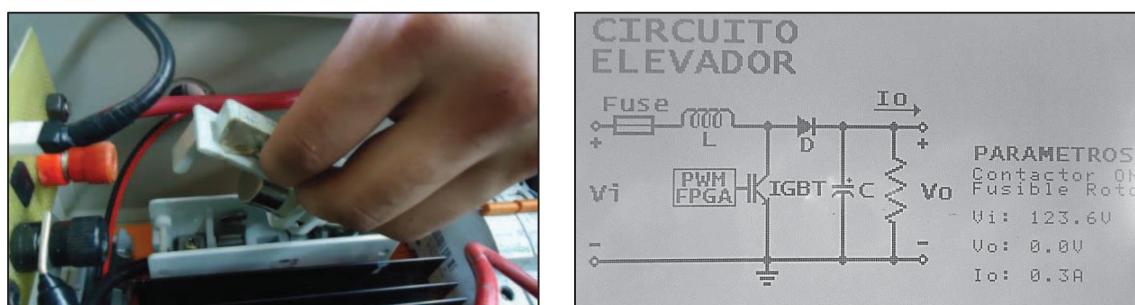


Figura 4.25 a) Fusible del módulo elevador

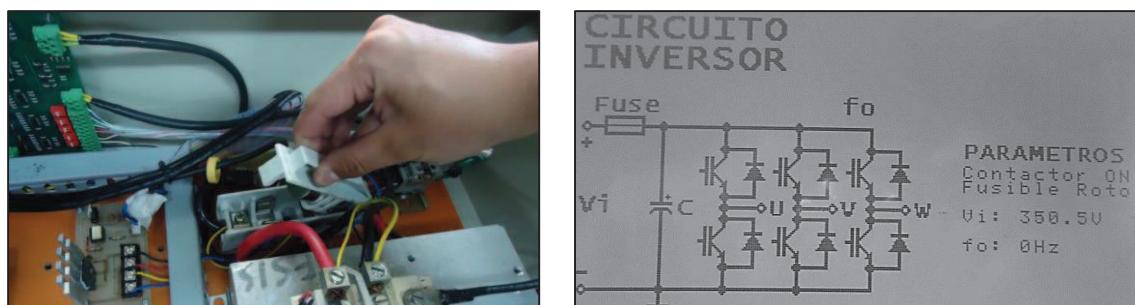


Figura 4.25 b) Fusible del módulo inversor

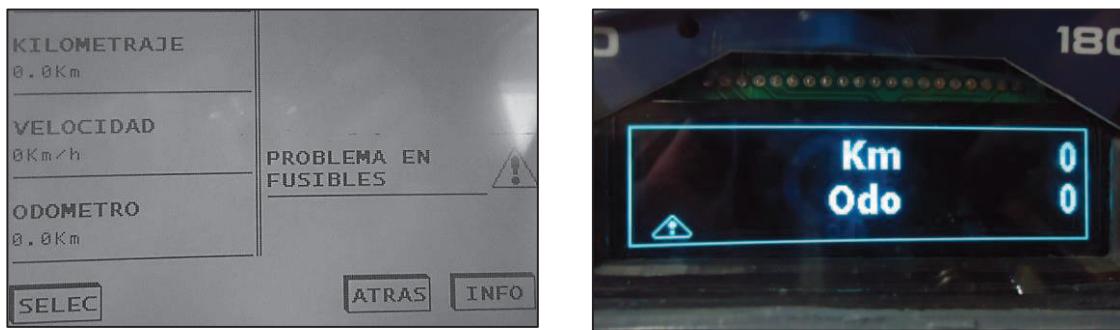


Figura 4.25 c) Alarmas de problema en fusibles

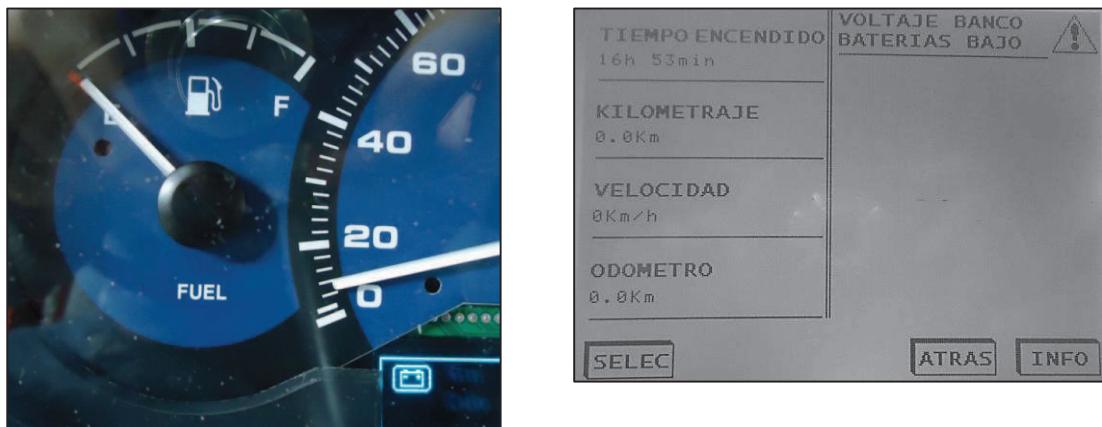


Figura 4.26 Alarmas de voltaje bajo en el banco de baterías

4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI DISEÑADO EN EL GLCD MONOCROMÁTICO

En el capítulo tercero se estableció cómo la HMI iba a estar diseñada, la implementación debía resultar fácil de manejar y amigable con el usuario, se verificó esto con la colaboración de dos personas ajenas al proyecto quienes supieron expresar que en realidad la navegación por el menú es bastante fácil y la manipulación de los parámetros sencilla, las instrucciones que se brinda en las pantallas de información resulta clara y objetiva para el monitoreo de los parámetros y demás cosas que incorpora el sistema. Puede ver en la Figura 4.27 las diferentes pantallas que conforman la HMI.

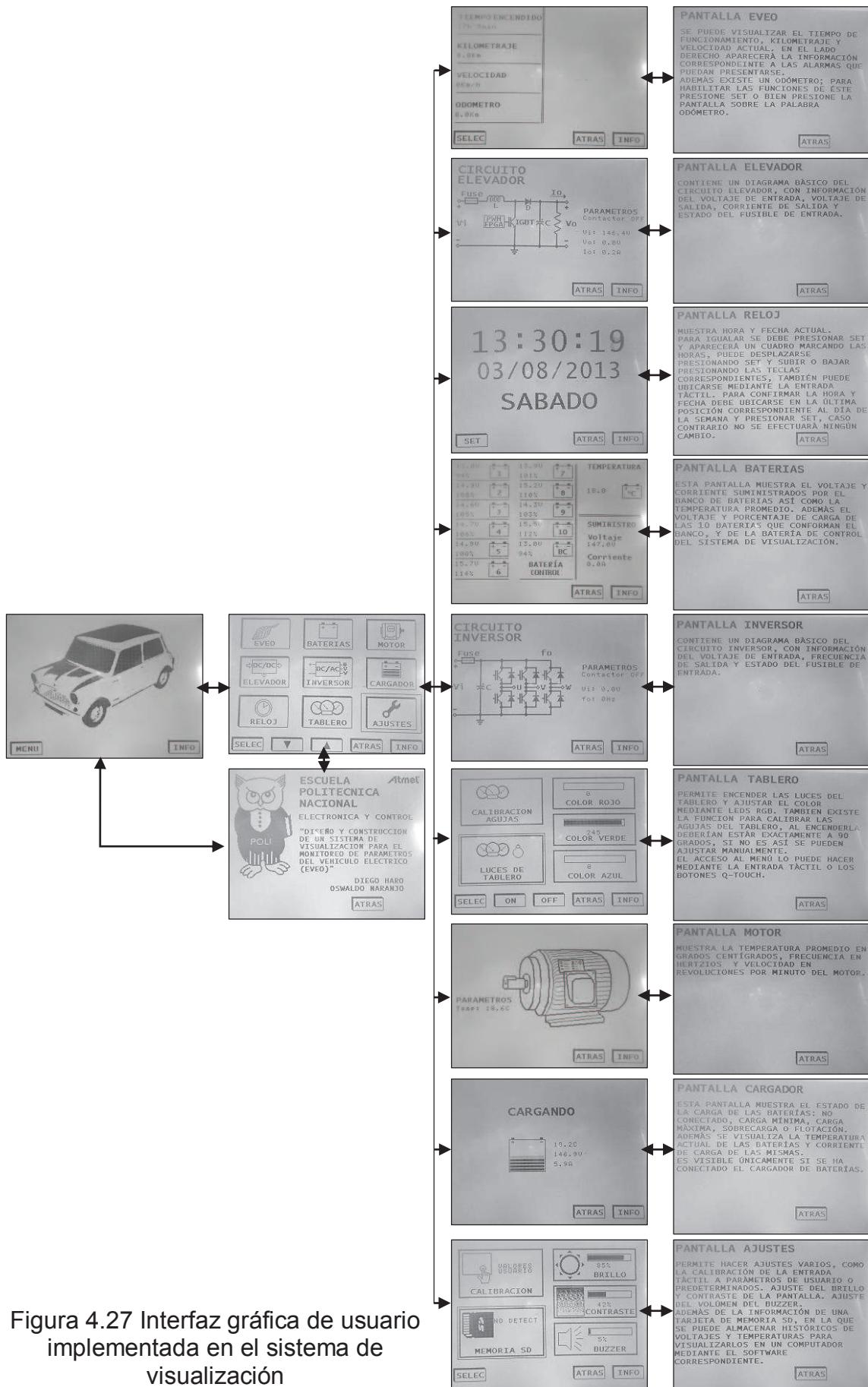


Figura 4.27 Interfaz gráfica de usuario implementada en el sistema de visualización

4.6 COSTOS DEL PROYECTO

En esta sección se detalla los costos de los materiales empleados por cada tarjeta electrónica y los costos de ingeniería.

Tabla 4.3 Listado de elementos y costos de la tarjeta principal

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Microcontrolador AT32UC3C2512C	1	15,91	15,91
Amplificador Operacional LM324	1	0,41	0,41
Optotransistor 4N25	1	0,50	0,50
Reloj en Tiempo Real DS1307	1	3,72	3,72
Memoria EEPROM AT24C1024C	1	2,22	2,22
Compuerta Schmitt Trigger SN74HC14	1	0,57	0,57
Transeiver CAN L9616D	1	1,60	1,60
Regulador 3,3 V	1	0,50	0,50
Conversor DC-DC	1	4,65	4,65
GLCD 5,7" con panel táctil resistivo	1	116,5	116,50
Conector 20 pines GLCD	1	2,00	2,00
Cable FLEX para GLCD	1	3,50	3,50
Capacitores cerámicos SMD 0805	35	0,10	3,50
Resistores SMD 1206	23	0,10	2,30
Capacitores Electrolíticos	5	0,20	1,00
Diodos 1N4148	5	0,17	0,85
Diodos Zener 5.1 V	1	0,21	0,21
Diodos Led SMD	3	0,08	0,24
Transistor NPN 2N3904	1	0,42	0,42
Transistor NPN TIP122	1	0,65	0,65
Zócalo de Pila 3V	1	1,20	1,20
Pila 3V	1	2,5	2,50
Cristal SMD 20 MHz	1	0,41	0,41
Cristal SMD 32 kHz	1	0,28	0,28
Potenciómetro de precisión 1kohm	1	0,50	0,50
Inductor 1500 ohm	1	0,21	0,21
Switch para reset	1	0,18	0,18
Buzzer	1	0,78	0,78
Postes pequeños	34	0,05	1,70
Postes grandes	4	0,06	0,24
Conector x2 para postes grandes	2	0,45	0,90
Placa 128 x 84 mm doble lado	1	26,88	26,88
Conecadores para postes pequeños	5	0,5	2,50
		TOTAL	199,53

Tabla 4.4 Listado de elementos y costos de la tarjeta del sensor Q-TOUCH

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Driver Q-TOUCH AT42QT1070	1	1,42	1,42
Capacitores cerámicos SMD 0805	1	0,10	0,10
Resistores SMD 1206	8	0,10	0,80
Placa 157 x 22 mm doble lado	1	8,63	8,63
Postes pequeños	6	0,05	0,30
Conectores para postes pequeños	1	0,5	0,50
		TOTAL	11,75

Tabla 4.5 Listado de elementos y costos de la tarjeta para la memoria MMC/SD

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Conejor para memoria MMC/SD	1	4,50	4,50
Capacitores cerámicos SMD 0805	1	0,10	0,10
Resistores SMD 1206	6	0,10	0,60
Diodos 1N4148	3	0,17	0,51
Led 3mm verde	1	0,10	0,10
Memoria microSD con adaptador	1	10,00	10,00
Placa 42 x 37 mm doble lado	1	3,88	3,88
Postes pequeños	10	0,05	0,50
Conejores para postes pequeños	1	0,5	0,50
		TOTAL	20,69

Tabla 4.6 Listado de elementos y costos de la tarjeta de tablero

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Microcontrolador AT32UC3C264C	1	9,14	9,14
Compuerta Schmitt Trigger SN74HC14	1	0,57	0,57
Transductor CAN L9616D	1	1,60	1,60
Controlador MAC CS4122	1	8,63	8,63
Controlador ULN2803	1	0,92	0,92
Regulador 3,3 V	1	0,50	0,50
OLED	1	33,00	33,00
Capacitores cerámicos SMD 0805	30	0,10	3,00
Resistores SMD 1206	11	0,10	1,10
Capacitores Electrolíticos	3	0,20	0,60

Diodos 1N4148	6	0,17	1,02
Diodos Led SMD	1	0,08	0,08
Diodos Led RGB	4	1,00	4,00
Cristal SMD 20 MHz	1	0,41	0,41
Inductor 1500 ohm	1	0,21	0,21
Postes pequeños	60	0,05	3,00
Postes grandes	4	0,06	0,24
Conecotor x2 para postes grandes	2	0,45	0,90
Placa 100 x 40 mm doble lado	1	10,00	10,00
Conectores para postes pequeños	10	0,5	5,00
Sensor de efecto hall A3060	1	28,00	28,00
		TOTAL	111,92

Tabla 4.7 Listado de elementos y costos de la tarjeta de indicadores MAC

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Conversor DC-DC	1	4,65	4,65
Resistores SMD 1206	3	0,10	0,30
Diodos Led RGB	4	1,00	4,00
Postes pequeños	60	0,05	3,00
Placa 228 x 100 mm simple lado	1	41,00	41,00
Conectores para postes pequeños	10	0,50	5,00
3 Motores MAC con soportaría	1	40,00	40,00
		TOTAL	97,95

Tabla 4.8 Listado de elementos y costos de la tarjeta de mediciones

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Microcontrolador ATMEGA16M1	1	3,50	3,50
Amplificador Operacional LM324	8	0,41	3,28
OptoNAND 6N137	2	0,50	1,00
Multiplexor análogo DG408	2	6,14	12,28
Compuerta Schmitt Trigger SN74HC14	1	0,57	0,57
Transductor CAN L9616D	1	1,60	1,60
Conversor DC-DC	1	4,65	4,65
Capacitores cerámicos SMD 0805	23	0,10	2,30
Resistores SMD 1206	112	0,10	11,20
Capacitores Electrolíticos	1	0,20	0,20

Diodos 1N4148	2	0,17	0,34
Diodos Zener 5.1 V	18	0,21	3,78
Diodos Led SMD	3	0,08	0,24
Cristal SMD 8 MHz	1	0,41	0,41
Inductor 1500 ohm	1	0,21	0,21
Switch para reset	1	0,18	0,18
DIP-Switch x 2	5	0,5	2,50
Postes pequeños	11	0,05	0,55
Postes grandes	41	0,06	2,46
Conecotor x2 para postes grandes	8	0,45	3,60
Conecotor x3 para postes grandes	8	0,64	5,12
Placa 150 x 145 mm doble lado	1	54,38	54,38
Conectores para postes pequeños	2	0,5	1,00
Sensor de corriente ACS758	3	7,18	21,54
Sensor de temperatura LM35	3	1,88	5,64
		TOTAL	142,53

Tabla 4.9 Listado de elementos y costos de la tarjeta del reloj

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Microcontrolador ATMEGA16M1	1	3,50	3,50
Transductor CAN L9616D	1	1,60	1,60
Driver ULN2803	3	0,92	2,76
Latch SN74HC573	2	0,60	1,20
Regulador 3,3 V	1	0,50	0,50
Capacitores cerámicos SMD 0805	16	0,10	1,60
Resistores	8	0,10	0,80
Diodos 1N4148	2	0,17	0,34
Resistencias Integradas	3	0,50	1,50
Cristal 8 MHz	1	0,41	0,41
Switch para reset	1	0,18	0,18
Postes pequeños	5	0,05	0,25
Display 7 segmentos	1	9,50	9,50
Postes grandes	4	0,06	0,24
Conecotor x2 para postes grandes	2	0,45	0,90
Placa 95 x 40 mm doble lado	1	9,50	9,50
Conectores para postes pequeños	2	0,50	1,00
		TOTAL	35,78

Tabla 4.10 Costos de extras

Elemento	Cantidad	Valor Unitario	Costo
Plancha de acrílico negra 1,50 x 0,5 m	1	19,50	19,50
Plancha de acrílico transparente 0,5 x 0,5	1	10,00	10,00
Cable blindado 4+1 22 AWG x metro	20	1,40	28,00
Cable blindado 4+1 18 AWG x metro	6	2,50	15,00
Tornillería	1	5,00	5,00
Costos de envíos	1	33,00	33,00
Costos de importación	1	35,00	35,00
Varios	1	20,00	20,00
		TOTAL	165,50

Para el diseño y construcción del proyecto en sí, es decir después de haber adquirido los conocimientos necesarios para la elaboración del mismo se trabajó en promedio 4 horas diarias por un periodo de 3 meses con la participación de dos personas, asumiendo un cobro por hora de 12 dólares por persona se tendría un total de 5760 dólares en costos de desarrollo del prototipo.

Sumando los costos de materiales y de ingeniería se obtiene los resultados de la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Costos totales

Descripción	Precio Total
Costo de materiales	785,55
Costo de ingeniería	5760
	6545,55

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El sistema de visualización para el monitoreo de los parámetros del vehículo eléctrico (EVEO) se ha diseñado y construido cumpliendo los objetivos preestablecidos.
- La utilización de microcontroladores, sensores y demás dispositivos diseñados para aplicaciones automotrices resulta de vital importancia para este proyecto, ya que brindan valiosas ventajas en el funcionamiento de todo el sistema.
- En este proyecto se ha confirmado que la utilización del protocolo CAN dentro del ámbito automotriz es muy adecuado, por la fiabilidad en la transmisión de los datos y el ahorro considerable de cableado.
- El desarrollo del proyecto utilizando microcontroladores de arquitectura AVR32 resulta factible gracias a la ayuda prestada en las librerías de Atmel Software Framework.
- En los acondicionamientos de voltaje para la medición de las baterías que conforman el banco de baterías es necesario la utilización de resistencias de precisión ya que se trabaja con voltajes diferenciales bajos y al tener tolerancias altas provocan variaciones considerables en la ganancia de los amplificadores operacionales.
- La tendencia actual en indicadores automotrices son los sistemas gráficos de alta resolución con medios de acceso táctiles, de ahí que la implementación del tablero con la pantalla GLCD con su panel táctil resistivo y las agujas indicadoras resulta muy apropiado para el prototipo EVEO dándole un aspecto moderno.

- El uso de comunicaciones con topología física tipo Bus, permite que se puedan añadir otros dispositivos a la red sin interferir en los ya conectados, lo que significa que se puede expandir el sistema y realizar el monitoreo de las comunicaciones mediante módulos externos.
- Para minimizar la interferencia electromagnética producida por los conversores electrónicos de la parte de potencia del vehículo, es necesario que las señales de medición sean transferidas a través de un cable blindado, mismo que debe ser aterrizado al chasis del vehículo en un solo extremo.
- Para el dimensionamiento de los elementos electrónicos se debe considerar los valores en los que fluctúan los parámetros a medir, ya que esto permite dar un margen de tolerancia para salvaguardar el sistema en general.
- Para garantizar que los tiempos de transmisión de datos por parte de los microcontroladores sean los correctos es imprescindible el uso de cristales de cuarzo como fuente de reloj.
- El uso de los sensores ACS758 facilitan las mediciones de corriente del sistema, ya que son fáciles de conectar. Además brindan una señal aislada compatible directamente con el microcontrolador.
- Las pantallas gráficas de tecnología OLED presentan un consumo de energía relativamente bajo, ya que para mostrar un pixel no es necesario la utilización de una fuente de retroiluminación como en el caso de la tecnología LCD.
- La arquitectura AVR32 presenta grandes ventajas en aplicaciones que requieran una alta velocidad de procesamiento, ya que su núcleo puede ser acelerado mediante hardware.

5.2 RECOMENDACIONES

- Considerando que en el sistema actual, la pantalla LCD es manejada con el controlador de entrada/salida de propósito general (GPIO) del microcontrolador AT32UC3C2512C, se recomienda para futuros diseños hacer uso de módulo EBI (External Bus Interface) con el objetivo de aumentar la velocidad de transferencia de datos hacia la pantalla y de esta manera reducir la latencia en las tareas de graficado.

- El reloj en tiempo real DS1307 genera los datos del tiempo del sistema; para prescindir de este dispositivo se puede hacer uso del Temporizador Asincrónico (AST) interno del microcontrolador AT32UC3C2512C ya que puede ser utilizado como un temporizador en tiempo real con un tiempo de espera máximo de más de 100 años.
- Conforme al avance de la tecnología es muy recomendable que el diseño de las placas electrónicas contenga elementos de montaje superficial por las ventajas en cuanto a ahorro de espacio, costos reducidos y mejora de la inmunidad a interferencias electromagnéticas.
- Refiriéndonos de manera global a la construcción del prototipo EVEO se recomienda que para futuras versiones se realice una pre-ingeniería en conjunto de todas las partes constitutivas del mismo, poniendo especial énfasis al sistema de comunicación para transmisión de datos entre los módulos, de hacerlo así resultará en un sistema mucho más eficiente y estable.
- Para realizar cualquier diseño electrónico se recomienda investigar y utilizar la tecnología y dispositivos actuales, ya que muchos de los problemas que se puedan presentar es posible que hayan sido ya resueltos. Esto puede traducirse en ahorro de recursos y tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wikipedia Enciclopedia Libre. (2013). Panel de instrumentos. [Online]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_de_instrumentos
- [2] SIMCO. Micro Air-Core (MAC) Movement. [Online]. Disponible: http://www.simcoaftermarket.com/assets/pdf/simco_2022-7XX-G.pdf
- [3] Powell John M. (2013). The Air-Core Approach. [Online]. Disponible: http://www.mikesflightdeck.com/instruments/diy_aircore_instruments.html
- [4] Wikipedia Enciclopedia Libre. (2013). Air core gauge. [Online]. Disponible: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_core_gauge
- [5] SENA. (2009). Arquitectura de la Pantalla LCD. [Online]. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/35859895/112-Arquitectura-pantalla-LCD#download>
- [6] Waelder Laso D. (2003). Tecnología LCD. [Online]. Disponible: http://www.werwerf.net/docs/Tecnologia_LCD.pdf
- [7] Wikipedia Enciclopedia Libre. (2013). OLED. [Online]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_org%C3%A1nico_de_emisi%C3%B3n_de_luz
- [8] HowstuffWorks. (2005). How OLEDs Work. [Online]. Disponible: <http://www.howstuffworks.com/oled1.htm>
- [9] HowstuffWorks. (2005). How OLEDs Work. [Online]. Disponible: <http://www.howstuffworks.com/oled2.htm>
- [10] ATMEL Corporation. (2007). Four and five-wire Touch Screen Controller. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/Images/doc8091.pdf>
- [11] Ilabs The Robotics & Embedded Systems Research Lab. (2012). Introduction to AVR Microcontroller. [Online]. Disponible: <http://www.ilabsindia.com/wp-content/uploads/2012/05/Introduction-to-AVR-Microcontrollers1.pdf>

- [12] Wikipedia Encyclopedia Libre. (2013). Panel de instrumentos. [Online]. Disponible: <http://en.wikipedia.org/wiki/AVR32>
- [13] Atmel. (2013). 32-bit AVR UC3. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/32-BitAVRuc3.aspx>
- [14] Atmel. (2013). AVR-based CAN MCUs. [Online]. Disponible: http://www.atmel.com/products/automotive/canvan/avr-based_can_mcus.aspx
- [15] LOPEZ, José, "Nodo de Comunicación Basado en el Bus CAN", España, 2004.
- [16] MOLERO, Bastante María, "Bus CAN Diseño de Sistemas Críticos", Abril 2005.
- [17] CHAMÚ, Carlos, "Desarrollo de un Sistema Educativo para la Enseñanza del Protocolo de Comunicaciones CAN", México, 2005.
- [18] ZITZMANN, Reiner, "Seminario sobre uso del Bus CAN y el protocolo CANopen", España, 2010.
- [19] ATMEL Corporation. (2012). AT32UC3C 32-bit AVR Microcontroller. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/Images/doc32117.pdf>
- [20] NEW HAVEN DISPLAY INTERNATIONAL. (2010). NHD-320240WG-BoSFH-VZ# Graphic Liquid Crystal Display Module. [Online]. Disponible: <http://www.newhavendisplay.com/specs/NHD-320240WG-BoSFH-VZ.pdf>
- [21] NEW HAVEN DISPLAY INTERNATIONAL. (2010). TS320240BRNO Touch Panel. [Online]. Disponible: <http://www.newhavendisplay.com/specs/TS320240BRN0.pdf>
- [22] Ibrahim D., "SD Card Projects Using the Pic Microcontroller", USA, 2009.
- [23] NEW HAVEN DISPLAY INTERNATIONAL. (2013). NHD-2.8-25664UCB2 Graphic OLED Display Module. [Online]. Disponible: <http://www.newhavendisplay.com/specs/NHD-2.8-25664UCB2.pdf>

- [24] ALLEGRO MicroSystems. (2005). Hall Effect Gear Tooth Sensor ICs, AC Coupled. [Online]. Disponible: <http://www.allegromicro.com/>
- [25] ALLEGRO MicroSystems. (2013). Thermally Enhanced, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 100 $\mu\Omega$ Current Conductor. [Online]. Disponible: <http://www.allegromicro.com/>
- [26] ATMEL. (2013). Atmel Studio. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/tools/atmelstudio.aspx>
- [27] ATMEL Corporation. (2012). Atmel Software Framework – User Guide. [Online]. Disponible: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8431-8-and32-bit-Microcontrollers-AVR4029-Atmel-Software-Framework-User-Guide_Application-Note.pdf
- [28] Wikipedia Enciclopedia Libre. (2013). Secure Digital. [Online]. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital
- [29] Toyota Ecuador. (2013). Galería de Fotos - FORTUNER http://www.toyota.com.ec/SUVs/FORTUNER/EXPLORA/Fotos_y_Videos/home_405.html
- [30] EL PAÍS. (2011). Primera prueba a fondo del Nissan Leaf. [Online]. Disponible: <http://blogs.elpais.com/coche-electrico/2011/09/primera-prueba-a-fondo-del-nissan-leaf.html>

ANEXO A

PARTES DEL SISTEMA

PARTES DEL SISTEMA

El sistema de visualización está constituido de cinco partes que se encuentran montadas sobre el tablero de vehículo como se ilustra en la Figura A.1.

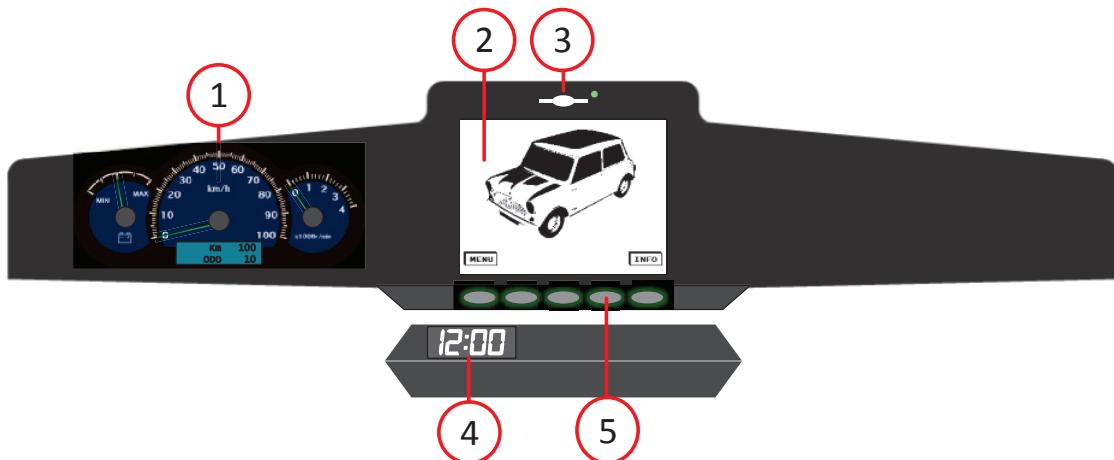


Figura A.1 Partes del sistema

1. Panel de Instrumentos: contiene tres indicadores análogos, uno para el nivel de carga del banco de baterías, el del centro para la velocidad del vehículo y el tercero para tener una referencia de las revoluciones del motor. También incluye un indicador digital implementado en una pantalla OLED para mostrar el kilometraje del carro y con la función de odómetro.
2. Pantalla GLCD con panel táctil: en esta el usuario puede interactuar con la HMI diseñada para el monitoreo de los parámetros del vehículo eléctrico, gracias al panel táctil resistivo con el que se cuenta y a la creación de botones virtuales dibujados en la misma.
3. Ranura para tarjeta de memoria SD: permite ingresar una tarjeta de memoria MMC o SD en la cual se pueden grabar parámetros del vehículo y luego ser monitoreados en un software dedicado.
4. Indicador de hora: el indicador de hora está construido en un display de siete segmentos dedicado para mostrar la hora en formato 12H.
5. Teclado físico con 5 botones: son botones de tecnología Q-TOUCH por lo que se requiere del toque de la yema del dedo para que trabajen, se relacionan directamente con los botones virtuales dibujados en la pantalla GLCD.

ANEXO B
HOJAS DE DATOS

Features

- High Performance, Low Power 32-bit AVR® Microcontroller
 - Compact Single-cycle RISC Instruction Set Including DSP Instruction Set
 - Built-in Floating-Point Processing Unit (FPU)
 - Read-Modify-Write Instructions and Atomic Bit Manipulation
 - Performing 1.49 DMIPS / MHz
 - Up to 91 DMIPS Running at 66 MHz from Flash (1 Wait-State)
 - Up to 49 DMIPS Running at 33 MHz from Flash (0 Wait-State)
 - Memory Protection Unit
- Multi-hierarchy Bus System
 - High-Performance Data Transfers on Separate Buses for Increased Performance
 - 16 Peripheral DMA Channels Improves Speed for Peripheral Communication
- Internal High-Speed Flash
 - 512 Kbytes, 256 Kbytes, 128 Kbytes, 64 Kbytes Versions
 - Single Cycle Access up to 33 MHz
 - FlashVault™ Technology Allows Pre-programmed Secure Library Support for End User Applications
 - Prefetch Buffer Optimizing Instruction Execution at Maximum Speed
 - 100,000 Write Cycles, 15-year Data Retention Capability
 - Flash Security Locks and User Defined Configuration Area
- Internal High-Speed SRAM, Single-Cycle Access at Full Speed
 - 64 Kbytes (512 KB and 256 KB Flash), 32 Kbytes (128 KB Flash), 16 Kbytes (64 KB Flash)
 - 4 Kbytes on the Multi-Layer Bus System (HSB RAM)
- External Memory Interface on AT32UC3C0 Derivatives
 - SDRAM / SRAM Compatible Memory Bus (16-bit Data and 24-bit Address Buses)
- Interrupt Controller
 - Autovectored Low Latency Interrupt Service with Programmable Priority
- System Functions
 - Power and Clock Manager
 - Internal 115KHz (RCSYS) and 8MHz/1MHz (RC8M) RC Oscillators
 - One 32 KHz and Two Multipurpose Oscillators
 - Clock Failure detection
 - Two Phase-Lock-Loop (PLL) allowing Independent CPU Frequency from USB or CAN Frequency
- Windowed Watchdog Timer (WDT)
- Asynchronous Timer (AST) with Real-Time Clock Capability
 - Counter or Calendar Mode Supported
- Frequency Meter (FREQM) for Accurate Measuring of Clock Frequency
- Ethernet MAC 10/100 Mbps interface
 - 802.3 Ethernet Media Access Controller
 - Supports Media Independent Interface (MII) and Reduced MII (RMII)
- Universal Serial Bus (USB)
 - Device 2.0 and Embedded Host Low Speed and Full Speed
 - Flexible End-Point Configuration and Management with Dedicated DMA Channels
 - On-chip Transceivers Including Pull-Ups
- One 2-channel Controller Area Network (CAN)
 - CAN2A and CAN2B protocol compliant, with high-level mailbox system
 - Two independent channels, 16 Message Objects per Channel



32-bit AVR® Microcontroller

AT32UC3C0512C
AT32UC3C0256C
AT32UC3C0128C
AT32UC3C064C
AT32UC3C1512C
AT32UC3C1256C
AT32UC3C1128C
AT32UC3C164C
AT32UC3C2512C
AT32UC3C2256C
AT32UC3C2128C
AT32UC3C264C



- One 4-Channel 20-bit Pulse Width Modulation Controller (PWM)
 - Complementary outputs, with Dead Time Insertion
 - Output Override and Fault Protection
- Two Quadrature Decoders
- One 16-channel 12-bit Pipelined Analog-To-Digital Converter (ADC)
 - Dual Sample and Hold Capability Allowing 2 Synchronous Conversions
 - Single-Ended and Differential Channels, Window Function
- Two 12-bit Digital-To-Analog Converters (DAC), with Dual Output Sample System
- Four Analog Comparators
- Six 16-bit Timer/Counter (TC) Channels
 - External Clock Inputs, PWM, Capture and Various Counting Capabilities
- One Peripheral Event Controller
 - Trigger Actions in Peripherals Depending on Events Generated from Peripherals or from Input Pins
 - Deterministic Trigger
 - 34 Events and 22 Event Actions
- Five Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitters (USART)
 - Independent Baudrate Generator, Support for SPI, LIN, IrDA and ISO7816 interfaces
 - Support for Hardware Handshaking, RS485 Interfaces and Modem Line
- Two Master/Slave Serial Peripheral Interfaces (SPI) with Chip Select Signals
- One Inter-I^C Sound (I^SS) Controller
 - Compliant with I^SS Bus Specification
 - Time Division Multiplexed mode
- Three Master and Three Slave Two-Wire Interfaces (TWI), 400kbit/s I^C-compatible
- QTouch® Library Support
 - Capacitive Touch Buttons, Sliders, and Wheels
 - QTouch® and QMatrix® Acquisition
- On-Chip Non-intrusive Debug System
 - Nexus Class 2+, Runtime Control, Non-Intrusive Data and Program Trace
 - aWire™ single-pin programming trace and debug interface muxed with reset pin
 - NanoTrace™ provides trace capabilities through JTAG or aWire interface
- 3 package options
 - 64-pin QFN/TQFP (45 GPIO pins)
 - 100-pin TQFP (81 GPIO pins)
 - 144-pin LQFP (123 GPIO pins)
- Two operating voltage ranges:
 - Single 5V Power Supply
 - Single 3.3V Power Supply

Features

- High Performance, Low Power AVR 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 1MIPS throughput per MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Data and Non-Volatile Program Memory
 - 16K/32K/64K Bytes Flash of In-System Programmable Program Memory
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 512/1024/2048 Bytes of In-System Programmable EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- Programming Lock for Flash Program and EEPROM Data Security
- 1024/2048/4096 Bytes Internal SRAM
- On Chip Debug Interface (debugWIRE)
- CAN 2.0A/B with 6 Message Objects - ISO 16845 Certified ⁽¹⁾
- LIN 2.1 and 1.3 Controller or 8-Bit UART
- One 12-bit High Speed PSC (Power Stage Controller) (only ATmega16/32/64M 1)
 - Non Overlapping Inverted PWM Output Pins With Flexible Dead-Time
 - Variable PWM duty Cycle and Frequency
 - Synchronous Update of all PWM Registers
 - Auto Stop Function for Emergency Event
- Peripheral Features
 - One 8-bit General purpose Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
 - One 16-bit General purpose Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
 - One Master/Slave SPI Serial Interface
 - 10-bit ADC
 - Up To 11 Single Ended Channels and 3 Fully Differential ADC Channel Pairs
 - Programmable Gain (5x, 10x, 20x, 40x) on Differential Channels
 - Internal Reference Voltage
 - Direct Power Supply Voltage Measurement
 - 10-bit DAC for Variable Voltage Reference (Comparators, ADC)
 - Four Analog Comparators with Variable Threshold Detection
 - 100µA ±6% Current Source (LIN Node Identification)
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-Chip Oscillator
 - On-chip Temperature Sensor
- Special Microcontroller Features
 - Low Power Idle, Noise Reduction, and Power Down Modes
 - Power On Reset and Programmable Brown Out Detection
 - In-System Programmable via SPI Port
 - High Precision Crystal Oscillator for CAN Operations (16MHz)

1. See certification on Atmel[®] web site and note on "Baud Rate" on page 177.



8-bit [REDACTED][®]
Microcontroller
with
16K/32K/64K
Bytes In-System
Programmable
Flash

Atmel
ATmega16M1
ATmega32M1
ATmega64M1
ATmega32C1
ATmega64C1

Automotive





Atmel AT42QT1070

Seven-channel QTouch® Touch Sensor IC

DATA SHEET

Features

Configurations:

- Comms mode
- Standalone mode

Number of Keys:

- Comms mode: 1 – 7 keys (or 1 – 6 keys plus a Guard Channel)
- Standalone mode: 1 – 4 keys plus a fixed Guard Channel on key 0

Number of I/O Lines:

- Standalone mode: 5 outputs

Technology:

- Patented spread-spectrum charge-transfer

Key Outline Sizes:

- 6 mm x 6 mm or larger (panel thickness dependent); widely different sizes and shapes possible

Layers Required:

- One

Electrode Materials:

- Etched copper; Silver; Carbon; Indium Tin Oxide (ITO)

Panel Materials:

- Plastic; Glass; Composites; Painted surfaces (low particle density metallic paints possible)

Panel Thickness:

- Up to 10 mm glass; Up to 5 mm plastic (electrode size dependent)

Key Sensitivity:

- Comms mode: individually settable via simple commands over I²C-compatible interface

- Standalone mode: settings are fixed

Interface:

- I²C-compatible slave mode (400 kHz). Discrete detection outputs

Signal Processing:

- Self-calibration
- Auto drift compensation
- Noise filtering
- Adjacent Key Suppression® (AKS®) – up to three groups possible

Power:

- 1.8 V – 5.5 V

Package:

- 14-pin SOIC RoHS compliant IC
- 20-pin VQFN RoHS compliant IC

HIGH SPEED CAN BUS TRANSCEIVER

- L9616 MEETS ISO/DIS 11898 UP TO 1MEGABAUD
- TRANSMITTER
 - GENERATION OF DIFFERENTIAL OUTPUT SIGNALS
 - SHORT CIRCUIT PROTECTED FROM -5V TO 35V, DETECTED & SHUTDOWN
 - SLOPE CONTROL TO REDUCE RFI AND EMI
 - TWO STATES ADJUSTABLE SLOPE CONTROL ($\leq 1\text{ MEGABAUD}/\leq 250\text{ KBAUD}$)
- RECEIVER
 - DIFFERENTIAL INPUT WITH HIGH INTERFERENCE SUPPRESSION
 - COMMON MODE INPUT VOLTAGE RANGE (V_{com}) FROM -2V TO V_s+3V
- ESD PROTECTION LEVEL UP TO 4kV
- PACKAGE: SO-8

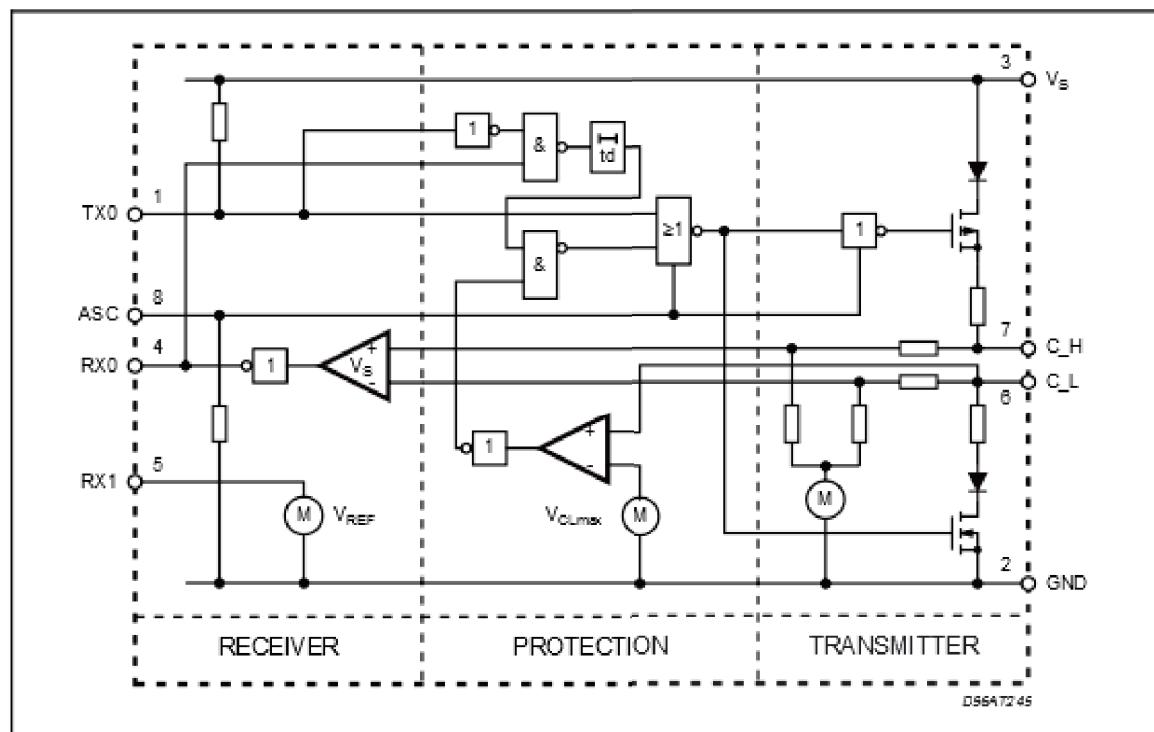


DESCRIPTION

The L9616 is a bidirectional transceiver for signal

conditioning and processing in connection with a CAN controller. Data rates of up to 1MEGABAUD are supported using either shielded or non-shielded pair of lines.

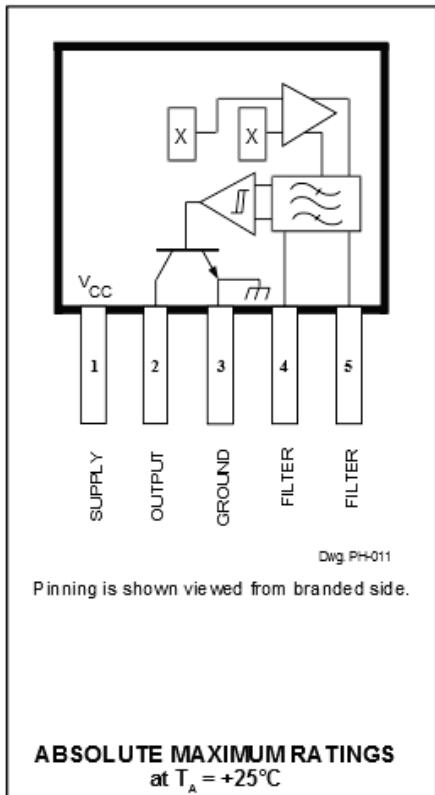
BLOCK DIAGRAM



3059 AND 3060

276220A
Data Sheet

HALL-EFFECT GEAR-TOOTH SENSORS —AC COUPLED



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS at T_A = +25°C

Supply Voltage, V _{CC}	24 V
Reverse Battery Voltage, V _{RCC}	-30 V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Output OFF Voltage, V _{OUT}	24 V
Output Current, I _{OUT}	25 mA
Package Power Dissipation, P _D	500 mW
Operating Temperature Range, T _A	
Prefix 'UGN'	-20°C to +85°C
Prefix 'UGS'	-40°C to +125°C
Storage Temperature Range, T _S	-65°C to +150°C

The UGS3059KA and UGN/UGS3060KA ac-coupled Hall-effect gear-tooth sensors are monolithic integrated circuits that switch in response to changing differential magnetic fields created by moving ferrous targets. These devices are ideal for use in non-zero-speed, gear-tooth-based speed, position, and timing applications such as in anti-lock braking systems, transmissions, and crankshafts.

Both devices, when coupled with a back-biasing magnet, can be configured to turn ON or OFF with the leading or trailing edge of a gear-tooth or slot. Changes in fields on the magnet face caused by a moving ferrous mass are sensed by two integrated Hall transducers and are differentially amplified by on-chip electronics. This differential sensing design provides immunity to radial vibration within the devices' operating air gaps. Steady-state magnet and system offsets are eliminated using an on-chip differential band-pass filter. This filter also provides relative immunity to interference from RF and electromagnetic sources. The on-chip temperature compensation and Schmitt trigger circuitry minimizes shifts in effective working air gaps and switch points over temperature, allowing operation to low frequencies over a wide range of air gaps and temperatures.

Each Hall-effect digital Integrated circuit includes a voltage regulator, two quadratic Hall-effect sensing elements, temperature compensating circuitry, a low-level amplifier, band-pass filter, Schmitt trigger, and an open-collector output driver. The on-board regulator permits operation with supply voltages of 4.5 to 24 volts. The output stage can easily switch 20 mA over the full frequency response range of the sensor and is compatible with bipolar and MOS logic circuits.

The two devices provide a choice of operating temperature ranges. Both devices are packaged in a 5-pin plastic SIP.

FEATURES

- s Senses Motion of Ferrous Targets Such as Gears
- s Large Effective Air Gap
- s 4.5 V to 24 V Operation
- s Wide Operating Temperature Range
- s Output Compatible With All Logic Families
- s Operation to 30 kHz
- s Resistant to RFI, EMI
- s Reverse Battery Protection
- s Resistant to Physical Stress

Always order by complete part number, e.g., UGS3060KA.



This datasheet has been downloaded from <http://www.digchip.com> at this page

CS4122

Triple Air-Core Gauge Driver with Serial Input Bus

The CS4122 converts digital data from a microprocessor to complementary DC outputs and drives air-core meter movements for vehicle instrument panels. It is optimized for one 360° gauge and two 112° gauges. The digital data controls the voltage applied to the quadrature coils of the meters with a 0.35° resolution for the major (360°) gauge and 0.44° resolution for the minor (112°) gauges. The accuracy is $\pm 0.75^\circ$ for the major and $\pm 1.00^\circ$ for the minors. The interface from the microcontroller is by a SPI compatible serial connection using up to a 2.0 MHz shift clock rate.

The digital code is shifted into the appropriate DAC and multiplexer. These two blocks provide a tangential conversion function to change the digital data into the appropriate DC coil voltage. The major gauge driver can position a pointer anywhere within a 360° circle while the minor gauge drivers are limited to an arc of 112.2°.

The output buffers are capable of supplying up to 70 mA per coil and are protected against output short circuit conditions. A thermal protection circuit limits the junction temperature to approximately 160°C.

A fault output lead goes low when any of the outputs are shorted or the device is in a thermal shutdown state. This ASIC is designed on POWERSENSE™ 3.0.

Features

- Serial Input Bus
- 2.0 MHz Operating Frequency
- Independently Addressable Gauges
- Tangential Drive Algorithm
- 70 mA Drive Circuits
- 0.75° Major Accuracy
- Power-On-Reset
- Protection Features
 - Short Circuit
 - Overtemperature
- Internally Fused Leads in SO-24L Package



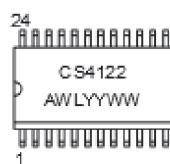
ON Semiconductor™

<http://onsemi.com>



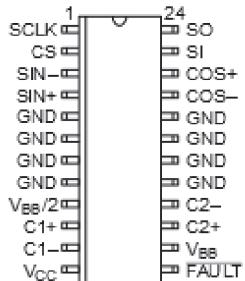
SO-24L
DWF SUFFIX
CASE 751E

MARKING
DIAGRAM



A = Assembly Location
WL, L = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
CS4122XDWF24	SO-24L	31 Units/Rail
CS4122XDWFR24	SO-24L	1000 Tape & Reel

Thermally Enhanced, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 100 $\mu\Omega$ Current Conductor

Features and Benefits

- Industry-leading noise performance through proprietary amplifier and filter design techniques
- Integrated shield greatly reduces capacitive coupling from current conductor to die due to high dV/dt signals, and prevents offset drift in high-side, high voltage applications
- Total output error improvement through gain and offset trim over temperature
- Small package size, with easy mounting capability
- Monolithic Hall IC for high reliability
- Ultra-low power loss: 100 $\mu\Omega$ internal conductor resistance
- Galvanic isolation allows use in economical, high-side current sensing in high voltage systems
- 3.0 to 5.5 V, single supply operation

Continued on the next page...



TÜV America
Certificate Number:
USV 09 05 54214 021

Package: 5-pin package



Additional leadforms available for qualifying volumes

Description

The Allegro® ACS758 family of current sensor ICs provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing. Typical applications include motor control, load detection and management, power supply and DC-to-DC converter control, inverter control, and overcurrent fault detection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional output voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy at the factory.

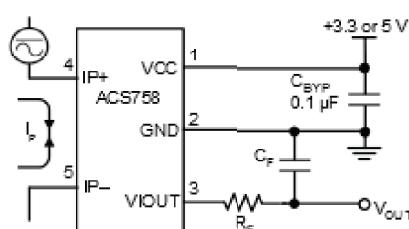
High level immunity to current conductor dV/dt and stray electric fields, offered by Allegro proprietary integrated shield technology, guarantees low output voltageipple and low offset drift in high-side, high voltage applications.

The output of the device has a positive slope ($>V_{CC}/2$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 100 $\mu\Omega$ typical, providing low power loss.

The thickness of the copper conductor allows survival of the device at high overcurrent conditions. The terminals of the

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS758 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_F is for optimal noise management, with values that depend on the application.



NHD-2.8-25664UCB2

Graphic OLED Display Module

NHD- Newhaven Display
2.8- 2.8" diagonal size
25664- 256 x 64 pixel resolution
UC- Model
B- Emitting Color: Blue
2- +2.95V power supply

Newhaven Display International, Inc.

2511 Technology Drive, Suite 101

Elgin IL, 60124

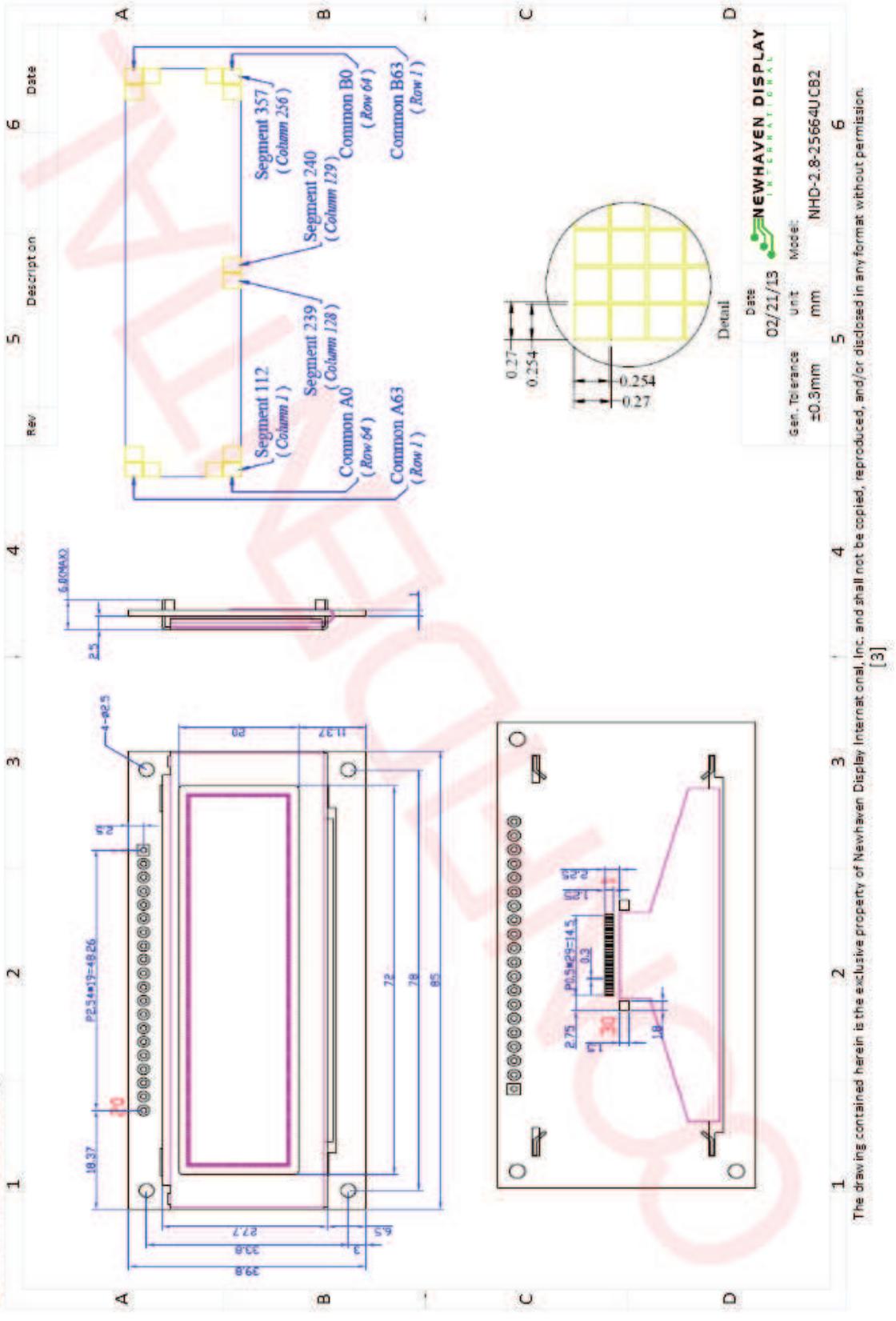
Ph: 847-844-8795 Fax: 847-844-8796

www.newhavendisplay.com

nhtech@newhavendisplay.com

nhsales@newhavendisplay.com

Mechanical Drawing



Interface Description

Parallel Interface:

Pin No.	Symbol	External Connection	Function Description
1	VSS	Power Supply	Ground
2	VDD	Power Supply	Supply Voltage for OLED and logic.
3	NC	-	No Connect
4	D/C	MPU	Register select signal. D/C=0: Command, D/C=1: Data
5	R/W or /WR	MPU	6800-interface: Read/Write select signal, R/W=1: Read R/W=0: Write 8080-interface: Active LOW Write signal.
6	E or /RD	MPU	6800-interface: Operation enable signal. Falling edge triggered. 8080-interface: Active LOW Read signal.
7-14	DB0 – DB7	MPU	8-bit Bi-directional data bus lines.
15	NC	-	No Connect
16	/RES	MPU	Active LOW Reset signal.
17	/CS	MPU	Active LOW Chip Select signal.
18	NC	-	No Connect
19	BS1	MPU	MPU Interface Select signal.
20	BS0	MPU	MPU Interface Select signal.

Serial Interface:

Pin No.	Symbol	External Connection	Function Description
1	VSS	Power Supply	Ground
2	VDD	Power Supply	Supply Voltage for OLED and logic.
3	NC	-	No Connect
4	D/C	MPU	Register select signal. D/C=0: Command, D/C=1: Data Tie LOW for 3-wire Serial Interface.
5-6	VSS	Power Supply	Ground
7	SCLK	MPU	Serial Clock signal.
8	SDIN	MPU	Serial Data Input signal.
9	NC	-	No Connect
10-14	VSS	Power Supply	Ground
15	NC	-	No Connect
16	/RES	MPU	Active LOW Reset signal.
17	/CS	MPU	Active LOW Chip Select signal.
18	NC	-	No Connect
19	BS1	MPU	MPU Interface Select signal.
20	BS0	MPU	MPU Interface Select signal.

MPU Interface Pin Selections

Pin Name	6800 Parallel 8-bit interface	8080 Parallel 8-bit interface	3-wire Serial Interface	4-wire Serial Interface
BS1	1	1	0	0
BS0	1	0	1	0



NHD-320240WG-BoSFH-VZ#

Graphic Liquid Crystal Display Module

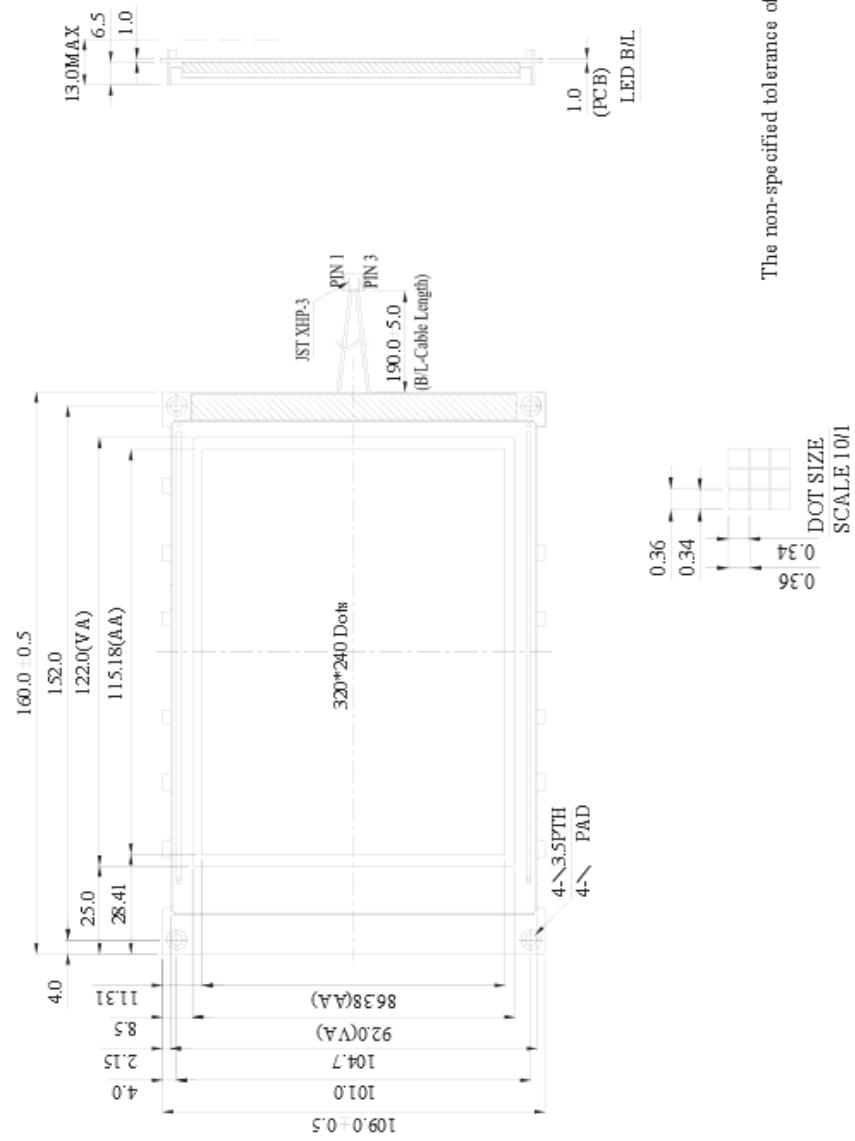
NHD- Newhaven Display
320240- 320 x 240 pixels
WG- Display Type: Graphic
Bo- Model
S- Bright White LED Backlight
F- FSTN (+)
H- Transflective, 6:00 view, Wide Temperature (-20°C ~+70°C)
VZ#- Built-in Negative Voltage
RoHS Compliant

Newhaven Display International, Inc.

2511 Technology Drive, Suite 101
Elgin IL, 60124
Ph: 847-844-8795 Fax: 847-844-8796

www.newhavendisplay.com
nhtech@newhavendisplay.com nhsales@newhavendisplay.com

Mechanical Drawing



The non-specified tolerance of dimension is ± 0.3 mm.

0.36
0.34
0.36
DOT SIZE
SCALE 10:1

Newhaven Display

NH-D-320240WG-BoSFT-VZ#

Pin Description and Wiring Diagram

Pin No.	Symbol	External Connection	Function Description
1	VSS	Power Supply	Ground
2	VDD	Power Supply	Power supply for logic (+5.0V)
3	VO	Adj Power Supply	Power supply for contrast (approx. -19.0V)
4	AO	MPU	Register select signal. AO=0: Command, AO=1: Data
5	R/W	MPU	Read/Write select signal, R/W=1: Read R/W =0: Write
6	E	MPU	Operation enable signal. Falling edge triggered.
7-14	DB0-DB7	MPU	Bi-directional three-state data bus lines.
15	/CS	MPU	Active LOW chip select
16	/RST	MPU	Active LOW reset signal
17	VEE	Power Supply	Negative voltage output (-25V)
18	NC	-	No Connect
19	FG	-	No Connect
20	NC	-	No Connect

Recommended LCD connector: 1.0mm pitch, 20-pos FFC connector

Backlight connector: JST p/n: XHP-3 Mates with: JST p/n: B 3B-XH-A

