

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TÍTULO:

**EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE SENSORES DE CORRIENTE
DIGITALES BASADOS EN EFECTO HALL, CONSIDERANDO LOS
EFECTOS DE LA TEMPERATURA E INTERFERENCIAS
ELECTROMAGNÉTICAS, PARA APLICACIONES DE BAJO COSTE DE
TELEMETRÍA EN LA INDUSTRIA.**

AUTOR:

JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO

TUTOR:

ING. EDUARDO MENDOZA MERCHÁN.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO** como requerimiento parcial para la obtención del Título de **INGENIERA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR (A)

Ing. Eduardo Mendoza Merchán.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Miguel Heras Sánchez

Guayaquil, marzo del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación “**Evaluación de la precisión de sensores de corriente digitales basados en efecto hall, considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas, para aplicaciones de bajo coste de telemetría en la industria**” previo a la obtención del Título de **Ingeniera Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que están al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de titulación referido.

Guayaquil, marzo del año 2016

EL AUTOR (A)

JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

AUTORIZACIÓN

Yo, JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Evaluación de la precisión de sensores de corriente digitales basados en efecto hall, considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas, para aplicaciones de bajo coste de telemetría en la industria”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, marzo del año 2016

EL AUTOR (A)

JOSELYNE MADELEINE BELTRÁN USHO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer infinitamente a Dios y a la Virgen Magníficat, por bendecirme e iluminarme con los conocimientos de muchas personas que han puesto todo su intelecto, su experiencia, su apoyo y toda su entrega durante mi carrera universitaria.

Quiero expresarle todo mi agradecimiento en especial a mi familia, por ser mi fuente de inspiración, mi reflejo de vida, mi felicidad y todo el espacio que habita en mi corazón, son ustedes la luz de mi camino y mi bendición de cada día.

También expreso todo mi agradecimiento a mi tutor el Ing. Eduardo Mendoza Merchán y al Ing. Jefferson Cunalata por su calidez humana, su confianza y todas sus energías depositadas para la realización de este proyecto, porque compartieron un gran espacio de su valioso tiempo para el desarrollo de mi investigación, gracias por su paciencia y su bondad.

DEDICATORIA

Mi dedicatoria va con todo mi corazón a mis padres, a mi hermana, a mis abuelitos, a mis tíos, por todo el amor, el cariño y el apoyo incondicional que me han brindado durante cada etapa de mi vida, una mezcla de emociones, sentimientos, ilusiones, fracasos y muchos éxitos, fueron ustedes mis seres queridos, quienes creyeron en mí para lograr todos mis objetivos con la bendición de Dios.

Es un privilegio poder compartir con orgullo todo mi esfuerzo, mi valentía y mi sueño, porque son parte de aquellos, mi bendición envuelta de éxitos.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ASPECTOS GENERALES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	5
1.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	5
CAPÍTULO II	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. Estado del arte	6
2.1.1. Tema 1	6
2.1.2. Tema 2	6
2.1.3. Tema 3	7
2.1.4. Tema 4	7
2.1.5. Tema 5	8
2.1.6. Tema 6	8
2.1.7. Tema 7	9
2.1.8. Tema 8	9
2.1.9. Tema 9	10
2.2. Sensores de efecto hall	10
2.2.1. Medición de corriente eléctrica	10
2.2.1.1. Corriente Directa	11
2.2.1.2. Corriente Alterna	11
2.2.2. El efecto Hall	12
2.2.2.1. Aplicaciones del efecto Hall	12
2.2.3. Sensores de corriente de efecto Hall	13
2.2.3.1. Open-Loop (Anillo Abierto)	13
2.2.3.2. Closed-Loop (Anillo Cerrado)	14
2.3. Sistemas basados en Microcontroladores	15

2.3.1.	Aplicaciones de los microcontroladores	16
2.3.2.	Arquitectura	16
2.3.2.1.	Arquitectura Von Neumann.....	16
2.3.2.2.	Arquitectura Harvard	17
2.3.3.	Microcontrolador ATMEL AVR.....	17
2.3.4.	Microcontrolador ATmega328P.....	19
2.3.4.1.	Características del microcontrolador ATmega328P	19
2.3.5.	Comunicación Serial RS232	21
CAPÍTULO III.....		22
DISEÑO DE HARDWARE		22
3.1.	Diseño y Desarrollo del Proyecto.....	22
3.1.1.	Criterios de diseño	22
3.1.2.	Diseño del circuito electrónico	23
3.1.3.	Descripción de los bloques del circuito electrónico.....	24
3.1.3.1.	Bloque: Alimentación DC.....	24
3.1.3.2.	Bloque: Botoneras	25
3.1.3.3.	Bloque: LCD.....	25
3.1.3.4.	Bloque: Microcontrolador ATmega328P	26
3.1.3.5.	Bloque: Interfaz I2C	27
3.1.3.6.	Bloque: ACS712 - AC/DC Sensor Current	28
3.1.3.7.	Bloque: FHS_40-P/SP600 – AC/DC Sensor Current	29
3.1.3.8.	MLX91205 AC/DC Sensor Current	30
3.1.3.9.	Comunicación Serial	31
3.1.4.	PCB del circuito electrónico.....	32
3.1.5.	Implementación de la tarjeta	35
CAPÍTULO IV		36
DISEÑO DEL SOFTWARE		36
4.1.	Algoritmo principal.....	37
4.1.1.	Configuración de puertos	38
4.1.2.	Configuración de LCD.....	38
4.1.3.	Configuración de USART	38
4.1.4.	Menú principal	38
4.1.5.	Modo ACS712.....	38
4.1.6.	Modo FHS_40P/SP600.....	39

4.1.7. Modo MLX91205	39
4.2. Algoritmo de interrupciones	39
4.2.1. Interrupción de botoneras	39
4.3. Algoritmo de menú principal MP	40
4.4. Algoritmo de modo ACS712 MA	41
4.5. Algoritmo de modo FHS_40P/SP600	42
4.6. Algoritmo de modo MLX91205	43
CAPÍTULO V	44
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44
5.1. Prueba de sensores	44
5.1.1. Equipo A	44
5.1.2. Equipo B	45
5.1.3. Equipo C	46
CAPÍTULO VI	48
PRESUPUESTO	48
6.1. Introducción	48
CAPÍTULO VII	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
7.1. Conclusiones	49
7.2. Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	53
Anexo 1	54
Código Fuente del Software de programación de los Sensores de efecto Hall y el Microcontrolador ATmega328P	54
Anexo 2	67
Summary Datasheet ATmega328P	67
Anexo 3	72
Datasheet del Sensor ACS712	72
Anexo 4	76
Datasheet del Sensor FHS40-P/SP600	76
Anexo 5	84
Datasheet del Sensor MLX91205	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

FIGURA 2.1 CORRIENTE CC o DC	11
FIGURA 2.2 CORRIENTE AC.....	11
FIGURA 2.3 VOLTAJE HALL (VH) MEDIDO SOBRE UNA LÁMINA DE MATERIAL CONDUCTOR, B CAMPO MAGNÉTICO APLICADO, I CORRIENTE, D ESPESOR DE LA LÁMINA.	12
FIGURA 2.4 ESQUEMAS DE SENSORES HALL PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE: (A) SENSOR DE ANILLO CERRADO, (B) SENSOR DE ANILLO ABIERTO.....	13
FIGURA 2.5 PRINCIPIO BÁSICO Y ESTRUCTURA DEL SENSOR HALL OPEN-LOOP... ..	14
FIGURA 2.6 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL SENSOR DE CORRIENTE HALL CLOSED- LOOP.....	15
FIGURA 2.7 ESQUEMA DE UN MICROCONTROLADOR.....	15
FIGURA 2.8 ARQUITECTURA VON NEUMANN DE MICROPROCESADOR (ACCESO A MEMORIAS Y PERIFÉRICOS).	16
FIGURA 2.9 ARQUITECTURA HARVARD DE MICROCONTROLADOR (ACCESO A MEMORIAS).....	17
FIGURA 2.10 CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA AVR.....	18
FIGURA 2.11 EMPAQUETADO MICROCONTROLADOR ATMEGA328P	19
FIGURA 2.12 DIAGRAMA DE BLOQUES ATMEGA320P.....	20
FIGURA 2.13 MODELOS DE CONECTOR RS232.....	21
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	23
FIGURA 3.2 BLOQUE REGULADOR DC	24
FIGURA 3.3 BLOQUE DE BOTONERAS.....	25
FIGURA 3.4 BLOQUE LCD.....	25
FIGURA 3.5 BLOQUE DEL MICROCONTROLADOR.....	26
FIGURA 3.6 BLOQUE INTERFAZ I2C.....	27
FIGURA 3.7 BLOQUE SENSOR ACS712.....	28
FIGURA 3.8 BLOQUE SENSOR FHS_40-P/SP600	29
FIGURA 3.9 BLOQUE SENSOR MLX91205	30
FIGURA 3.10 BLOQUE DE COMUNICACIÓN SERIAL	31
FIGURA 3.11 PCB DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	32

FIGURA 3.12 CIRCUITO IMPRESO PARTE FRONTAL	33
FIGURA 3.13 CIRCUITO IMPRESO PARTE TRASERA	34
FIGURA 3.14 PCB ARMADA CON LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS	35
FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO PRINCIPAL	37
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INTERRUPCIÓN.....	39
FIGURA 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MENÚ PRINCIPAL.....	40
FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE MODO ACS712 MA	41
FIGURA 4.5 DIAGRAMA DE MODO FHS_40P/SP600.....	42
FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE MODO MLX91205.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5.1 EQUIPO A	444
TABLA 5.2 MEDICIONES DE CORRIENTE EQUIPO A	45
TABLA 5.3 EQUIPO B	455
TABLA 5.4 MEDICIONES DE CORRIENTE EQUIPO B	46
TABLA 5.5 EQUIPO C	47
TABLA 5.6 MEDICIONES DE CORRIENTE EQUIPO C	47
TABLA 6.1 PRESUPUESTO DE LOS MATERIALES PARA ELABORAR EL PROTOTIPO SE SENSORES DE EFECTO HALL	48

Resumen

En el presente proyecto de tesis se plantea evaluar el comportamiento de distintos modelos seriales de sensores de corriente digitales basados en Efecto Hall, sometiéndolos a distintas pruebas de aplicaciones. Primero veremos toda la información basada en la teoría de los sensores de Efecto Hall, en especial su aplicación para la medida de corriente eléctrica.

Luego se verán las características de cada uno de los modelos de los sensores que se utilizarán, su forma de funcionamiento, el desarrollo del software de control que se hace respectivamente para cada modelo y el modelo esquemático de la tarjeta electrónica para este caso se utilizó programas de simulación de diseño y el programador de ATMEL para configurar tanto el microcontrolador ATMEGA328P_PDIP como los sensores.

Finalmente se hace la evaluación de la precisión del funcionamiento de cada uno de los sensores en las aplicaciones a los que son sometidos, para de esta manera determinar su factibilidad en la medición de corriente eléctrica. El objetivo de esta evaluación es para ver la precisión de trabajo de medición de corriente que realizan los sensores considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas.

ABSTRACT

In this thesis project it arises evaluate the performance of different serial digital models of sensors based on Hall Effect current, subjecting them to different testing applications. First we will see all the information based on the theory of Hall Effect sensors, especially its application for the measurement of electric current.

The characteristics of each of the models of the sensors to be used, how they work, software development control is done respectively for each model and the schematic model of the electronic card for this case was used then see the design simulation program and ATMEL programmer to configure both the microcontroller ATMEGA328P_PDIP as sensors.

Finally, the evaluation of the accuracy of operation of each of the sensors in applications that are subject, to thereby determine feasibility on the electric current measurement is made. The objective of this evaluation is to see the working precision current measurement sensors made by considering the effects of temperature and electromagnetic interference.

1. INTRODUCCIÓN

Los sensores de Efecto Hall son dispositivos electrónicos utilizados para medir la intensidad de campo magnético debido a su rango de medida que va desde la militesla hasta los Tesla.

Además, actualmente en la industria son elementos esenciales ya que con estos dispositivos electrónicos podemos medir, limitar y controlar una gran serie de procesos automáticos, gracias a todas estas prestaciones los podemos encontrar en casas, empresas, hospitales, unidades educativas y en cualquier entorno en donde esté presente la tecnología.

En este proyecto de tesis se da conocer el funcionamiento, características y aplicaciones que se pueden realizar con los sensores de corriente basados en efecto Hall basándose en fundamentos teóricos que nos dan a conocer el avance que han tenido conforme han pasado los años hasta la actualidad.

Hace algunos años atrás para realizar distintas tareas como por ejemplo la medida de corriente eléctrica puntual en especial de corrientes muy altas se necesitaba de un operario, ahora gracias al avance tecnológico contamos con estos pequeños modelos de sensores de corriente digital los cuales realizan un trabajo de medición de manera precisa, menos riesgosa, con tiempo de respuesta instantáneo e incluso con una consideración importante que se puede realizar todo esto con una fracción de costo muy reducida.

El control de corrientes en sistemas eléctricos y electrónicos sabe ser la mayoría de las veces un problema, para las cuales existen algunas soluciones y una de ellas es basada en la utilización de sensores de efecto hall para medir corriente, es digno de mencionarse esta opción de solución ya que con estos dispositivos se pueden medir desde mínimas hasta corrientes muy altas.

Las dificultades que se presentan en lo que se refiere a la medición exacta de corriente eléctrica fueron las bases fundamentales que dieron apertura e interés para la realización de este proyecto en donde se determinó que, a través de la elaboración de

un prototipo de una tarjeta electrónica se puede realizar el control de la medición de corrientes, la cual está conformada principalmente por tres modelos de sensores de corriente de efecto Hall y el microcontrolador ATmega328P y una serie de elementos electrónicos adicionales que permiten llevar a cabo este proyecto.

A lo largo de este documento se ha clasificado por capítulos en los cuales se ha ido describiendo detalladamente toda la información y trabajos que se hizo para la realización del proyecto de tesis en el cual el principal objetivo es comprobar la efectividad del funcionamiento de esta clase de sensores que existen en el mercado de la electrónica.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en los mercados de electrónica podemos encontrar varios dispositivos que son utilizados para la medición de corriente ya sea AC o DC, pero muchas de las veces los resultados de estas mediciones no son exactas, ya sea porque los dispositivos que se utilizan no están compuestos por materiales que sean altamente sensitivos al paso de la corriente y no responden en menor tiempo.

Para la medición de corriente se disponen de métodos que pueden resultar costosos, complicados de implementar, y los resultados que se esperan obtener no cumplen con las exigencias que dichos dispositivos ofrecen.

Cabe recalcar que para contar con un sistema de sensado de corriente eficaz a nivel industrial, comercial o para algún tipo de sistema de comunicación suele ser costoso, y muchas de las veces la mayoría de paquetes de dispositivos de medición de corriente que existen no permiten que el cliente o usuario realice una fácil implementación del sistema.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El efecto Hall es de gran importancia ya que permite determinar con precisión la resistividad eléctrica en materiales semiconductores y metales. Por ende, la utilización de sensores de corriente basados en efecto hall nos permite de manera más simple realizar la medición exacta y puntual de corrientes eléctricas en distintas aplicaciones.

Los sensores de corriente basados en efecto Hall además de sus características de trabajo de medición de corriente eléctrica tienen un sinnúmero de aplicaciones que muchas de las veces son fáciles de implementar, lo cual permite que incluso este tipo de sensores pueda formar parte de laboratorios de estudio a nivel académico ya que

por su bajo costo podrían ser adquiridos por cualquier institución que se dedique a la investigación y estudio de dispositivos electrónicos.

Es por esto que a través de un estudio se da como alternativa el uso de sensores de corriente basados en efecto Hall, porque son componentes muy íntegros y rápidos, además tienen una excelente respuesta a la frecuencia y principalmente están hechos para medir desde corrientes muy bajas a corrientes muy altas, su costo de implementación resulta ser mucho más económico que otros dispositivos en el mercado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar sensores de corriente digital de efecto Hall en las mediciones de corriente eléctrica AC/DC, mediante pruebas experimentales en un prototipo de una tarjeta electrónica, para determinar los rangos de medición, precisión y robustez de cada uno de ellos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características, conexiones y funcionamiento de los modelos de sensores de corriente digitales de efecto Hall.
- Diseñar la tarjeta electrónica basada en sensores de corriente digitales y un microcontrolador, que permitan realizar pruebas experimentales para la medida de la corriente eléctrica.
- Realizar pruebas experimentales con los tres tipos de sensores digitales de corriente, utilizando cargas eléctricas de diferentes valores.

1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

El presente trabajo para obtener información veraz se realizaron investigaciones exhaustivas, basándonos en el método de la investigación descriptiva porque a través de esta se fundamenta el tipo de aplicación y funcionamiento que se hace con los sensores basados en el efecto Hall, además se realizó investigación experimental porque el proyecto se tuvo que implementar un prototipo que permita llevar a cabo todas las pruebas necesarias para saber con más certeza como funciona cada dispositivo electrónico implementado.

1.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

Este trabajo se hizo a través de un proceso de desarrollo, el cual permitió poder realizar toda actividad requerida de manera organizada, a continuación, se describe brevemente los pasos del proceso:

- Planteamiento del problema.
- Búsqueda de Posibles soluciones.
- Selección de dispositivos y sensores.
- Diseño de placas de circuitos impresos
- Diseño de pruebas de experimentación
- Tabulación y análisis de resultados de resultados
- Conclusiones

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Estado del arte

2.1.1. Tema 1

En el trabajo titulado “Desarrollo de un sistema de seguimiento de vehículos para dispositivos Android basado en el control de redes de sensores”; Sánchez del Águila, M. (2015)

El objetivo de éste proyecto es la monitorización mediante terminales móviles, de los vehículos que pasan por diferentes calles en una ciudad objetivo, y una vez seleccionado uno de esos vehículos, obtener información sobre él, como, por ejemplo, recorrido que sigue y distintas imágenes del vehículo. La caracterización de cada vehículo se consigue a través de una red de sensores magnéticos que miden el campo magnético generado por un cuerpo metálico de gran volumen (en este caso, un vehículo). La conversión de éste campo magnético a un valor cuantificable será lo que denominaremos “firma magnética”.

2.1.2. Tema 2

En el trabajo titulado “Caracterización y Estimación de la Incertidumbre en la Medición de Inducción Magnética Utilizando un Gaussímetro Basado en Sensores de Efecto Hall”; Sánchez, Y., Rosi, C., Azpúrua, M. A., & Marañón, J.

En este trabajo se presenta la caracterización y estimación inicial de la incertidumbre en la medición de la inducción magnética en el centro de una bobina de Helmholtz, realizada con un gaussímetro de sonda isotrópica para campos magnetostáticos basada en sensores de Efecto Hall. Las contribuciones de incertidumbre consideradas como significativas, las cuales al combinarse utilizando la ley de propagación de errores, permiten calcular la incertidumbre combinada, según lo establecido en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición. De los resultados obtenidos se concluye que el sensor se comporta de manera apropiada para hacer mediciones con incertidumbres del orden del 5%. Una futura estimación de la

componente tipo A y mejoras en el procesamiento de los datos permitirá mejorar el desempeño del sensor.

2.1.3. Tema 3

En el trabajo titulado “Diseño y construcción de un teslámetro digital embebido para la caracterización magnética de materiales”; Velásquez, A. A., Rodríguez, J. B., & Loaiza, Y. F. G. (2015).

Se presenta el diseño, construcción y validación de un teslámetro digital embebido para uso en experimentos de caracterización magnética de materiales por métodos inductivos y estáticos. El teslámetro se compone de un transductor de efecto Hall THS119 de tipo planar, con salida diferencial y ajustable a diferentes rangos de medida, un amplificador de instrumentación INA129P con ganancia ajustable y un microcontrolador PIC16F873A con convertidor ADC de 10 bits para el procesamiento digital de los datos, visualización de las medidas en una pantalla de cristal líquido, almacenamiento y transferencia de los datos al computador vía puerto serie. El sistema es adaptable a transductores de campo magnético con salida simple o diferencial y con diferentes rangos de medida; es sensible a cambios en la intensidad y la polaridad del campo magnético aplicado y cuenta con una sensibilidad efectiva de 5,0 V/T e incertidumbre de $0.5 \cdot 10^{-3} \text{T}$ para el transductor de efecto Hall THS119. El prototipo desarrollado fue comparado con un teslámetro comercial PHYWE 13610.90.

2.1.4. Tema 4

En el trabajo titulado “Servo-controlador analógico-digital para motores de DC y BLDC”; Estrella Treviño, R., & García Rojas, M. D. (2015).

En este proyecto el objetivo es plantear el diseño de un controlador híbrido en el cual el lazo de corriente analógico sea analógico y pueda ser sintonizado mediante dispositivos digitales (potenciómetros digitales), mientras que en el microcontrolador se implementó un control discreto de posición del tipo PID; se presenta el uso de una interfaz de usuario con comunicación USB 2.0 diseñada en Visual Studio C# para la visualización de las variables de control, de proceso y el ajuste de ganancias. El control PI de corriente que en un principio era puramente analógico y cerrado paso a ser analógico-digital siendo más flexible su configuración. Posteriormente, se

acondiciono la señal de control para generar una señal de dirección y de magnitud utilizando PWM, las cuales se manipularon por medio de un diseño digital implementado en un FPGA utilizando el lenguaje de descripción de hardware VHDL; el sistema se encarga de generar la correcta conmutación de un puente de potencia trifásico y así controlar motores de DC y motores BLDC; se utilizó un codificador incremental para realimentar la posición, en el caso del motor BLDC también se usaron sensores de efecto Hall para la correcta conmutación del puente trifásico.

2.1.5. Tema 5

En el trabajo titulado “Sistemas y métodos para operar un sensor de efecto Hall SIN un campo magnético aplicado”; Butenhoff, M. E., Green, K. R., & Jain, A. (2015).

El presente trabajo tiene un método para verificar el funcionamiento de un sensor de efecto Hall sin un campo magnético aplicado. El método puede proporcionar una señal de polarización a un primer par de terminales de un elemento de efecto Hall, la aplicación de una señal de corriente Hall a un segundo par de terminales del elemento de efecto Hall, que mide una tensión de salida a través del segundo par de terminales y comparar el voltaje de salida medido Hall a una tensión de salida lo cual proporcionaría un campo magnético aplicado correspondiente.

2.1.6. Tema 6

En el trabajo titulado “Circuito de polarización para el sensor hall y sala de amplificador en el circuito de un motor de accionamiento”; Lee, S. W., & Ko, J. Y. (2015).

En el presente documento se describe un circuito de polarización para un sensor hall y un amplificador de sala en un circuito de accionamiento del motor, el circuito de polarización entre ellas es: un regulador instalado dentro de un chip empaquetado singularizado, con la alimentación externa y la regulación de la energía externa en el voltaje adecuado para un circuito para suministrar el voltaje regulado; el amplificador salón suministra con la tensión regulada del regulador, que recibe una señal de salida del sensor de pasillo fuera del chip, y la amplificación de la señal de salida a la salida de la señal amplificada; la primera y segunda resistencias

suministradas con la tensión del regulador para generar un modo común de voltaje de entrada (VCM) del amplificador vestíbulo; y las resistencias tercera y cuarta suministrados con la tensión del regulador para generar un VCM de entrada del sensor Hall.

2.1.7. Tema 7

En el trabajo titulado “Interruptor de detección de corriente controlada mediante un sensor de efecto Hall”; Melanson, J. L. (2015).

Un sistema electrónico incluye un sensor Hall para detectar una corriente controlada. El sensor Hall está situado próximo a un camino de la señal y se desarrolla una tensión que incluye un componente que corresponde a una corriente controlada. Un controlador genera una señal de control de interruptor para controlar la conductividad de un interruptor, y los controles de conmutador de accionamiento de corriente para una carga. El controlador recibe información, ya sea directa o indirectamente del sensor Hall correspondiente a la corriente controlada y utiliza la información del sensor de Hall para controlar la conductividad del interruptor. El control de la conductividad del interruptor controla la corriente de accionamiento para la carga. La frecuencia de la señal de control de conmutación es suficientemente más alto que un voltaje de ruido de sensor Hall para permitir que el controlador cancele suficientemente la tensión de ruido para fines de control.

2.1.8. Tema 8

En el trabajo titulado “Control de un motor con dos o más sensores Hall”; Liu, R., & Chung, E. (2015).

Un sistema de motor incluye dos sensores Hall configurados para valores binarios de salida, y un controlador configurado para controlar el motor. Los dos sensores Hall se colocan a 120 o 60 grados eléctricos separados. El controlador es operable para controlar las señales de salida de los dos sensores Hall y para determinar la tercera salida del sensor de valor binario Hall. El controlador es para cumplir con los requisitos mandados para operar en un sistema de servo, mediante el control de la conmutación de una corriente de excitación en el motor, y para hacer el seguimiento

de la posición del rotor del motor en base a la tercera señal generada y las salidas de los dos sensores Hall.

2.1.9. Tema 9

En el trabajo titulado “Medidor de corriente con el sensor ACS712 de efecto Hall, para el sistema Bolt 18F2550”; Meléndez Reyes, M. (2014)

Para este proyecto, se utilizó el equipo de pruebas. Se desarrolló un programa en ANSI C para el sistema Bolt 18F2550, el cual lee la señal analógica de voltaje generada por el sensor ACS712 y muestra el valor Irms en su LCD. En las pruebas realizadas, se obtuvo un error máximo del 2% en la medición, comparando los valores obtenidos a través del ACS712 y un medidor de consumo calibrado. Como cargas de prueba se emplearon focos de 60 watts, conectados en paralelo. Existen 3 versiones para el sensor ACS712, para rangos de 5, 20 y 30 amperes. En el proyecto actual se empleó el sensor de rango de 5 amperes, el cual tiene una sensibilidad de 0.185 volts/ampere.

2.2. Sensores de efecto hall

A continuación, se dará a conocer los detalles más relevantes de los temas relacionados con el estudio del proyecto.

2.2.1. Medición de corriente eléctrica

Como es de conocimiento la corriente eléctrica es el paso de electrones a través de un circuito eléctrico cerrado que van desde el polo negativo al polo positivo de la fuente de fuerza electromotriz. (Alvarez, 2013)

La corriente eléctrica es una de las magnitudes más importantes que se debe medir en un circuito eléctrico, se puede lograr tomar estas medidas a través de un amperímetro. A lo largo de estudios se ha podido identificar dos tipos de corrientes más comunes que son: la corriente directa y la corriente alterna.

2.2.1.1. Corriente Directa

La corriente directa o corriente continua existe cuando en un circuito eléctrico cerrado la corriente eléctrica fluye siempre en una misma trayectoria, es decir del polo negativo al polo positivo de la fuente eléctrica, como se muestra en la figura 2.1. (Jose, Julian, & William, 2012)

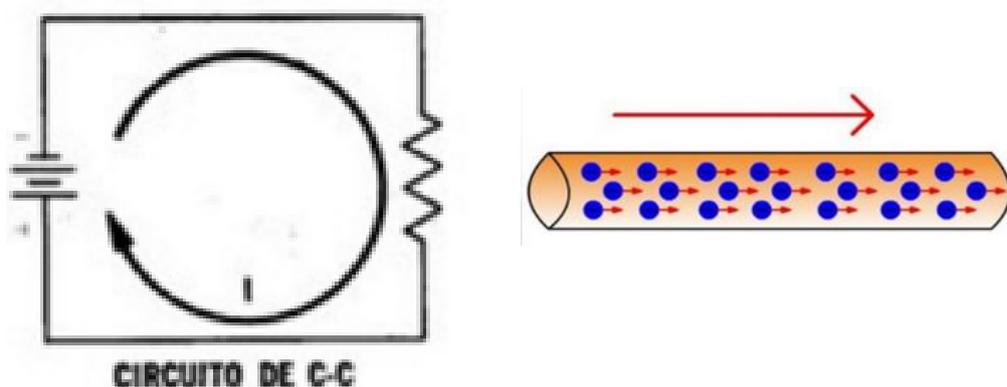


Figura 2.1 Corriente CC o DC
Fuente: (Jose, Julian, & William, 2012)

2.2.1.2. Corriente Alterna

En la corriente alterna existe un cambio de polaridades, es decir en instantes de tiempo los electrones se desplazan primero en una dirección y luego en sentido opuesto, tal cual nos muestra la figura 2.2. (Alvarez, 2013)

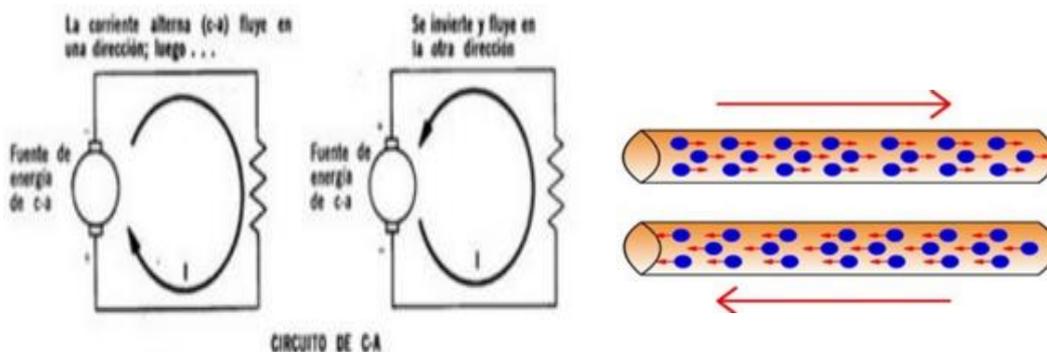


Figura 1.2 Corriente AC
Fuente: (Jose, Julian, & William, 2012)

2.2.2. El efecto Hall

El efecto Hall fue descubierto por el físico estadounidense Edwin T. Hall en 1879. (Quintero, 2011). El efecto Hall existe cuando en una placa conductora se hace circular corriente y luego se la somete a una fuerza de campo magnético que va de forma perpendicular al paso de dicha corriente, esto hace que aparezca una fuerza magnética la cual hace que las cargas que están en movimiento se desplacen y agrupen en un solo lado del material conductor, dando lugar a un campo eléctrico que es perpendicular al campo magnético y eléctrico formado por la batería. Todo este campo eléctrico suscitado es el que se conoce como campo Hall del cual se deriva la tensión Hall.

En la figura 2.3. se aprecia el proceso de medición de voltaje Hall en una lámina de material conductor.

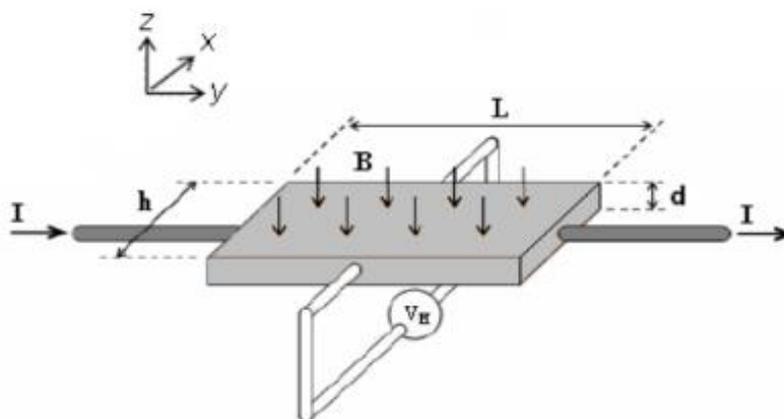


Figura 2.3 Voltaje Hall (V_H) medido sobre una lámina de material conductor, B campo magnético aplicado, I corriente, d espesor de la lámina.

Fuente: (Quintero, 2011)

2.2.2.1. Aplicaciones del efecto Hall

Es utilizado para conocer el movimiento de partículas cargadas electrónicamente, además en la actualidad se han desarrollado modelos de sensores basados en este efecto que dan lugar a la medición de campos magnéticos, intensidades de corriente, detección de posición utilizados comúnmente en la industria automovilística, etc. (Quintero, 2011)

2.2.3. Sensores de corriente de efecto Hall

Los sensores de corriente Hall son usados como bobinas, las cuales están formadas por una separación del núcleo de hierro que se encuentra transitada por una corriente.

Estos sensores de corriente tienen gran acogida en el mercado de la electrónica ya que se pueden usar para la medición tanto de corriente continua como alterna de manera rápida y precisa, también proporcionan una separación de potencial entre circuitos de rendimiento y la electrónica de control. (Quintero, 2011)

Una de las principales características de este tipo de sensores es que tienen una óptima respuesta a la frecuencia y es capaz de medir corrientes muy altas. Existen dos tipos de modelos: de anillo abierto (open-loop) y de anillo cerrado (closed-loop), como podemos observar en la siguiente figura.

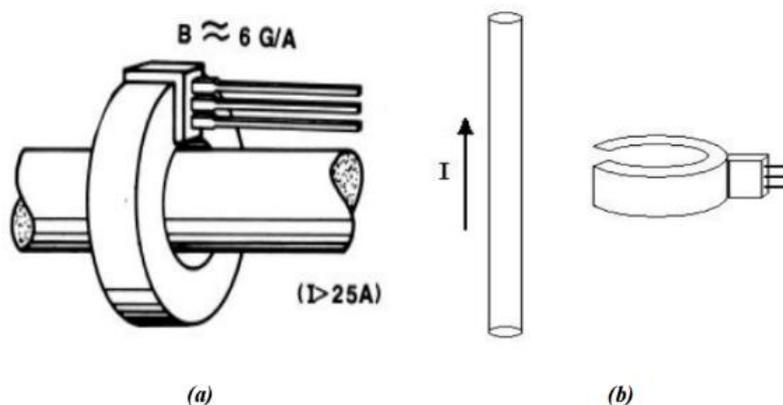


Figura 2.2 Esquemas de sensores Hall para medición de corriente: (a) Sensor de anillo cerrado, (b) Sensor de anillo abierto.

Fuente: (Quintero, 2011)

2.2.3.1. Open-Loop (Anillo Abierto)

Los sensores de corriente de efecto Hall Open-Loop miden corriente alterna y corriente continua dando aislamiento al circuito que se está midiendo y a la salida del sensor. Una de sus ventajas en el mercado es que son menos costosos que los sensores

closed-loop y su desventaja es que pueden sufrir saturación en la variación de temperatura. La figura 2.5. nos muestra su principio básico de funcionamiento.

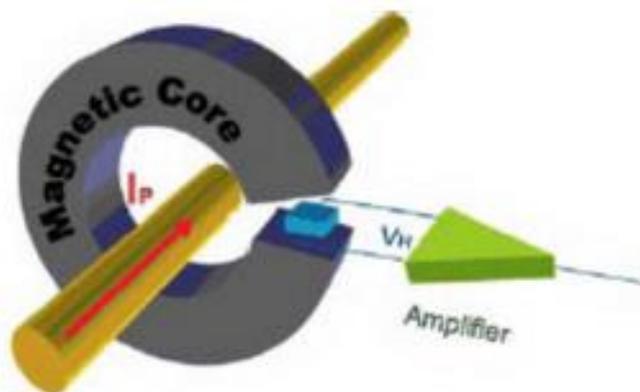


Figura 2.3 Principio básico y estructura del sensor Hall Open-Loop.
Fuente: (Mathas, 2012)

Estos sensores de corriente están compuestos por un sensor Hall que se encuentra en el entrehierro de un núcleo magnético. Es aquí en donde un conductor genera campo magnético similar a la corriente, este campo magnético es medido por el sensor Hall, la señal que da como resultado el generador es baja por lo que se debe amplificar para ser convertida en la salida del sensor. (Mathas, 2012)

Además, los sensores Open-loop están formados por circuitos que compensan la temperatura y el voltaje de salida de alto nivel.

2.2.3.2. Closed-Loop (Anillo Cerrado)

Al igual que el sensor de corriente open-loop, el sensor closed-loop sirve para la medición de corriente AC y DC. Su respuesta es lineal de baja deriva térmica y muy rápida, la corriente de salida del sensor no se ve afectada por el ruido eléctrico.

El sensor cerrado loop tiene su sensor de efecto Hall el cual se alimenta de una corriente opuesta en una bobina secundaria para crear un flujo total igual a cero que es diferente al flujo creado por la corriente primaria. (Mathas, 2012)

La figura 2.6. nos muestra un ejemplo de operación de sensor closed-loop.

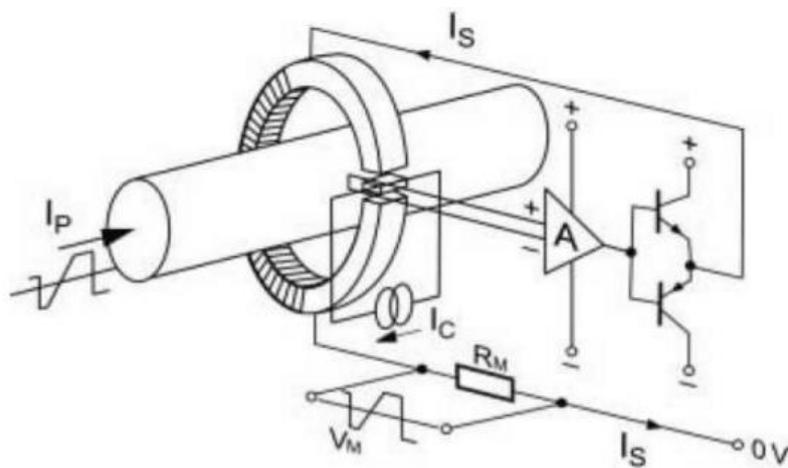


Figura 2.4 Principio de operación del sensor de corriente Hall Closed-Loop.
Fuente: (Gudel, 2008)

2.3. Sistemas basados en Microcontroladores

Un microcontrolador es un sistema electrónico que posee en su interior un microprocesador, memoria de programa, memoria de datos y puertos para comunicarse con el exterior. (Monica & Antonio, 2011)

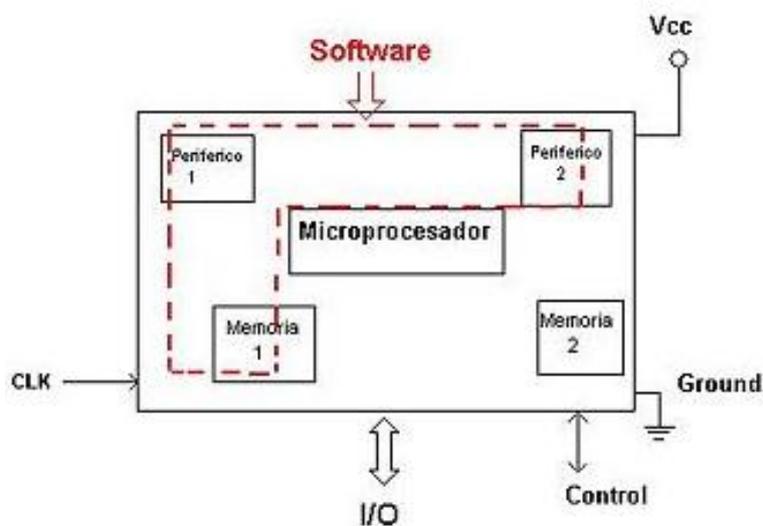


Figura 2.5 Esquema de un microcontrolador
Fuente: (Galeon)

Según lo dicho y mostrado en la figura 2.7, el microcontrolador está compuesto por:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/EPROM/EEPROM/Flash.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

2.3.1. Aplicaciones de los microcontroladores

- En sistemas de comunicación: centrales telefónicas, transmisores, receptores, teléfonos fijos, celulares, fax, etc.
- En electrodomésticos
- Industria informática: Se encuentran en casi todos los periféricos.
- Domótica: sistemas de alarma y seguridad, control de procesos hogareños a distancia, etc.
- Industria: Automatas, control de procesos, etc.

2.3.2. Arquitectura

2.3.2.1. Arquitectura Von Neumann

Ésta arquitectura fue la que adoptaron a inicios todos los microcontroladores, la cual se caracteriza por disponer de una sola memoria principal en donde se guardan datos e instrucciones de manera distinta y se puede acceder a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control). (López & Margni, 2003)

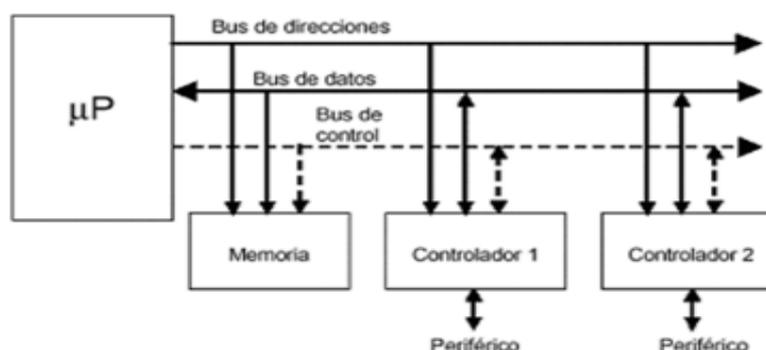


Figura 2.6 Arquitectura Von Neumann de microprocesador (acceso a memorias y periféricos).

Fuente: (López & Margni, 2003)

2.3.2.2. Arquitectura Harvard

La arquitectura Harvard es actualmente la dominante en los microcontroladores, está formada por dos memorias: una contiene solo instrucciones y otra solo datos. Además, disponen de sistemas de buses para el acceso siendo posible efectuar operaciones de acceso a la vez en ambas memorias. (López & Margni, 2003)

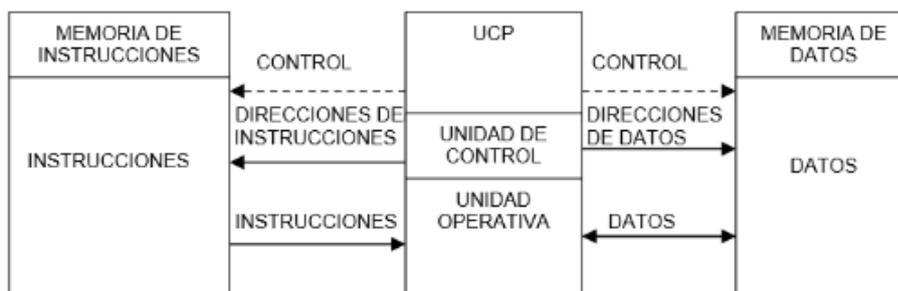


Figura 2.7 Arquitectura Harvard de microcontrolador (acceso a memorias).
Fuente: (López & Margni, 2003)

2.3.3. Microcontrolador ATMEL AVR

Los microcontroladores AVR de ATMEL difieren del resto de microcontroladores de 8 bits por estar formados por 32 registros y un conjunto ortogonal de instrucciones.

Estos dispositivos proporcionan el más alto rendimiento informático con mejor eficiencia energética, su arquitectura se basa en el código más eficiente de la industria de programación C. (ATMEL, s.f.)

Las familias AVR dispone de las siguientes categorías:

- TINY AVR: son microcontroladores de propósito general con memoria flash hasta 2 Kbytes y 128 bytes de memorias SRAM y EEPROM.
- AVR: Microcontroladores de propósito general con 8 Kbytes de memoria flash y 512 bytes de memoria SRAM y EEPROM.

- Mega AVR Memoria flash hasta 256 Kbytes, 4 Kbytes de memoria EEPROM y SRAM

Los encapsulados del ATmega despliegan desde 28 pines hasta 100 pines en la forma de DIP, TQFP y MLF. El voltaje de alimentación va de 1.8 a 5.5 voltios. A continuación, en la figura 2.10. se presentan sus características importantes. (Zenon, Freri, Rolando, & Laureano, 2007)

A continuación, podemos observar una tabla de datos con las características de los microcontroladores ATmega AVR.

Product	Flash (KB)	EEPROM (Bytes)	RAM (Bytes)	I/O	SPI	USART	USI	TWI	PWM	On-Chip Debug		10-bit ADC	LCD
										JTAG	debugWire		
megaAVR													
ATmega 48	4	256	512	23	1	1	-	1	5	-	Y	8	-
ATmega8	8	512	1K	23	1	1	-	1	3	-	-	8	-
ATmega88	8	512	1K	23	1	1	-	1	5	-	Y	8	-
ATmega8515	8	512	512	35	1	1	-	-	3	-	-	-	-
ATmega8535	8	512	512	32	1	1	-	1	4	-	-	8	-
ATmega16	16	512	1K	32	1	1	-	1	4	Y	-	8	-
ATmega162	16	512	1K	35	1	2	-	-	6	Y	-	-	-
ATmega168	16	512	1K	23	1	1	-	1	5	-	Y	8	-
ATmega32	32	1K	2K	32	1	1	-	1	4	Y	-	8	-
ATmega64	64	2K	4K	53	1	2	-	1	8	Y	-	8	-
ATmega128	128	4K	4K	53	1	2	-	1	8	Y	-	8	-
ATmega256	256	4K	8K	53	1	2	-	1	16	-	Y	8	-
LCD AVR													
ATmega169	16	512	1K	53	1	1	Y	-	4	Y	-	8	Y
ATmega329	32	1K	2K	53	1	1	Y	-	4	Y	-	8	Y

Figura 2.8 Características del microcontrolador ATmega AVR

Fuente: (Zenon, Freri, Rolando, & Laureano, 2007)

2.3.4. Microcontrolador ATmega328P

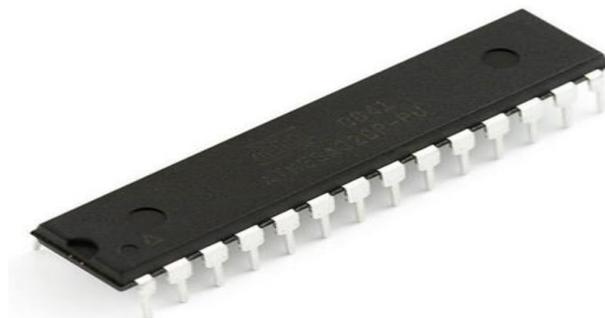


Figura 2.9 Empaquetado microcontrolador ATmega328P
Fuente: (Electrónica Embajadores, s.f.)

El microcontrolador ATmega328P como se muestra en la figura 2.11, está fundamentado en RISC de muy buen rendimiento que combinan 32KB ISP de memoria flash con capacidad de lectura-escritura, 1KB de EEPROM, 2KB de SRAM, 23 I/O, 32 registros, USART programable en serie, etc.

Puede ejecutar un sinnúmero de instrucciones en un solo ciclo de reloj, tiene un buen equilibrio en el consumo de energía y velocidad de procesamiento. Están diseñados para su uso en la automatización industrial, de viviendas y edificios. (Mouser Electronics, s.f.)

2.3.4.1. Características del microcontrolador ATmega328P

- Precargado con bootloader del arduino UNO.
- Controller Family/Series: AVR MEGA.
- Core Size: 8 BIT.
- N° de I/O: 23.
- Program Memory Size: 32KB.
- EEPROM: 1KB.
- RAM: 2KB.
- Velocidad CPU: 20MHz

- Tipo de oscilador: exterior, interior.
- N° de Timers: 3.
- N° de PWM Channels: 6.
- Digital IC Case Style: DIP.
- Supply Voltage Range: 1.8V to 5.5V
- Operating Temperature Range: -40 °C a +85 °C
- Interfaz: I2C, Serie, (Serial to Parallel Interface). Interfaz serie a paralelo, (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).
- Transmisor/Receptor universal asíncrono.
- Program Memory: 32KB. (Electrónica Embajadores, s.f.)

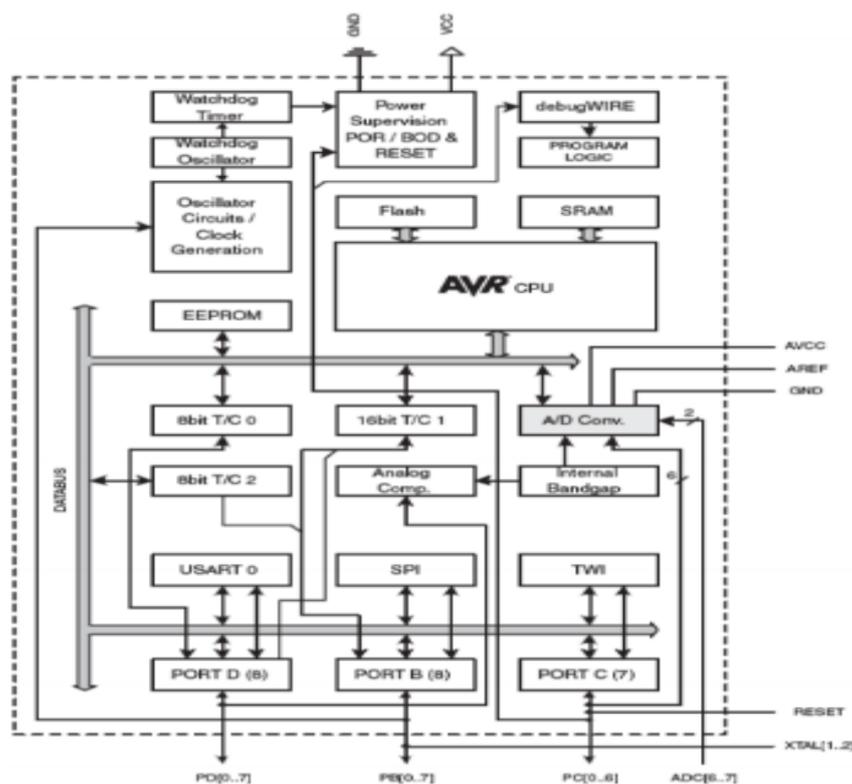


Figura 2.10 Diagrama de bloques ATmega320P
Fuente: (Mouser Electronics, s.f.)

El diagrama de bloques de la figura 2.12 nos muestra como está estructurado el microcontrolador ATmega328P.

2.3.5. Comunicación Serial RS232

La comunicación RS232 es un estándar de comunicación serial, a través de este protocolo se puede realizar la interfaz entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos empleando un intercambio de datos binarios. (Manual del instalador digital, s.f.)

El conector más común empleado en los interfaces RS-232 es un conector DB-25, aunque también existe la versión de 9 pines DB-9. El estándar define que el conector hembra se situará en los DCE y el macho en el DTE. (Dueñas, 2008)

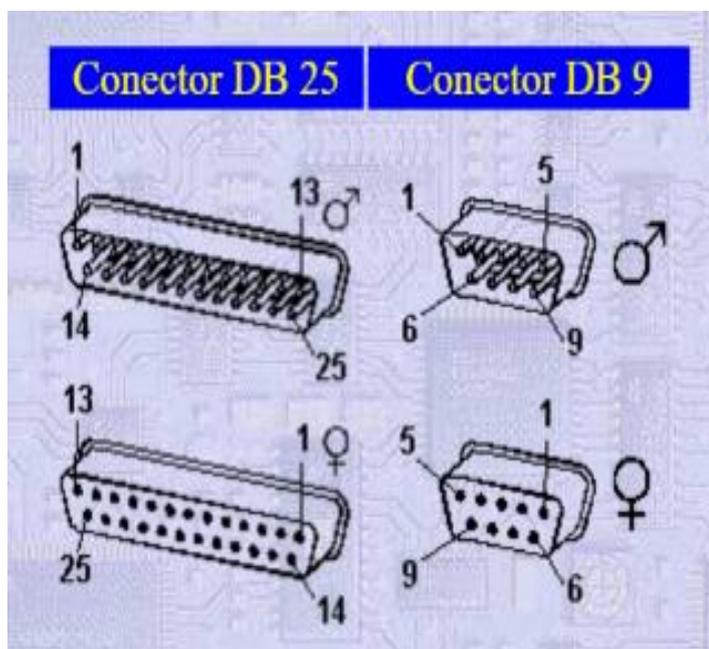


Figura 2.11 Modelos de conector RS232.

Fuente: (Tropic, s.f.)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE HARDWARE

En este capítulo se describe detalladamente el diseño del hardware, el cual está elaborado para describir los circuitos y esquemas de la placa electrónica.

3.1. Diseño y Desarrollo del Proyecto

3.1.1. Criterios de diseño

Al realizar este proyecto se tomó en cuenta muchos puntos en cuanto a la selección de los materiales a utilizarse, esto se realizó con una investigación exhaustiva apoyándose en materiales de apoyo, folletos científicos y la lectura de temas acorde al proyecto en varios sitios de la web.

Es por esto que para el diseño de una parte de este proyecto se decidió el uso del microcontrolador ATmega328P, ya que tiene muchas características que van acorde al proyecto, una de ellas es que contienen los periféricos necesarios tales como un módulo conversor analógico a digital, módulo de comunicación USART, vector de interrupciones por cambio de estado en los pines del chip, soporte por la compañía ATMEL y una gran comunidad de programadores especializados en el tema, un ciclo de proceso de un millón de instrucciones por segundo por mega Hertz haciéndolo ideal para el objetivo de controlar y gestionar los sensores analógicos de corriente.

Como es de conocimiento el proyecto trata de la medición de corriente basado en los principios del efecto Hall, por lo que este diseño está apoyado principalmente por el uso de sensores de corriente Hall, de la misma manera después de mucha investigación se eligió tres modelos de sensores que pueden cumplir esta función de prueba, estos son: el modelo ACS712, el modelo MLX91205 y el modelo FHS 40-P SP600. Los cuales tienen las características necesarias para saber a fondo como es el funcionamiento de esta clase de sensores que existen en el mercado de la electrónica, se sabe que estos modelos de sensores son utilizados por su capacidad de medir

corrientes ya sea AC o DC, tienen una sensibilidad máxima la cual permite un mejor sensado, la salida de la señal es lineal, proporcionan soluciones económicas para la detección de corriente tanto a nivel industrial, comercial y sistemas de comunicaciones y principalmente son de fácil implementación para los usuarios.

Por otra parte, para complementar el diseño se hizo el uso de una pantalla LCD por la cual se observarán los valores de las mediciones hechas en cada prueba, así como también se hace el uso de un puerto serial RS232 el cual realizará el interfaz de comunicación de los datos de la tarjeta a una computadora.

3.1.2. Diseño del circuito electrónico

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del hardware embebido en el circuito del proyecto:

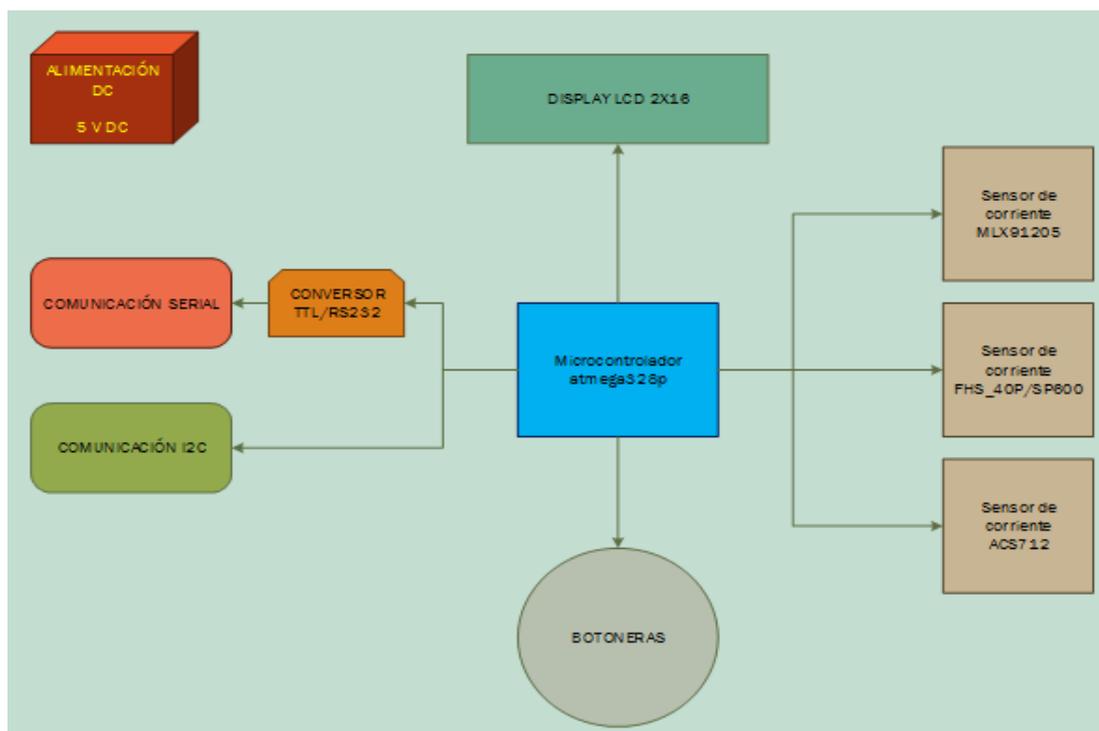


Figura 3.1 Diagrama de bloques del circuito electrónico

Fuente: Joselyne Beltrán

Los bloques fueron diseñados por separado, siguiendo el paradigma de dividir y conquistar, además de poder modularizar y entender en mejor manera las funciones

de cada bloque. A continuación, se explicará el objetivo y las consideraciones que se tuvieron para diseñar cada bloque.

3.1.3. Descripción de los bloques del circuito electrónico

3.1.3.1. Bloque: Alimentación DC

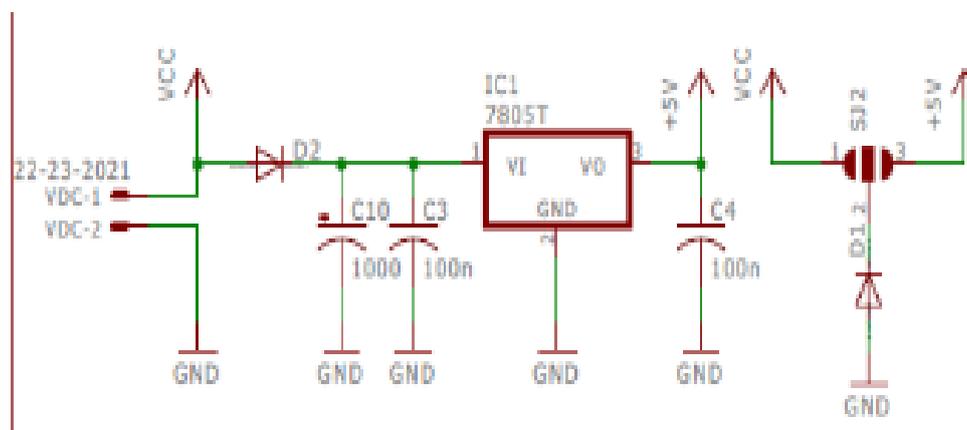


Figura 3.2 Bloque regulador DC

Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque constituye la parte de suministro energético para el circuito, el cual al usar micro controladores y sensores analógicos, trabaja a 5 v DC, este bloque tiene el afán de poder regular, si así lo amerita, el voltaje en su terminal de entrada, es decir, si en la entrada nos llega algún voltaje que supera los 6v DC, el bloque trabajara para poder llevar este voltaje a 5 permitiendo que los elementos electrónicos trabajen en orden. Además de esto el bloque tiene la flexibilidad de poder trabajar con un voltaje en la entrada de 5v DC, mediante la modificación de un puente de estaño de soldadura, el cual hará que la alimentación en su entrada, llegue directo al circuito electrónico sin ser regulado, cabe recalcar y enfatizar que esto se lo haría en el caso de que en la entrada se encontrara un valor de 5 v dc, que es el voltaje óptimo de funcionamiento del circuito electrónico.

3.1.3.2. Bloque: Botoneras

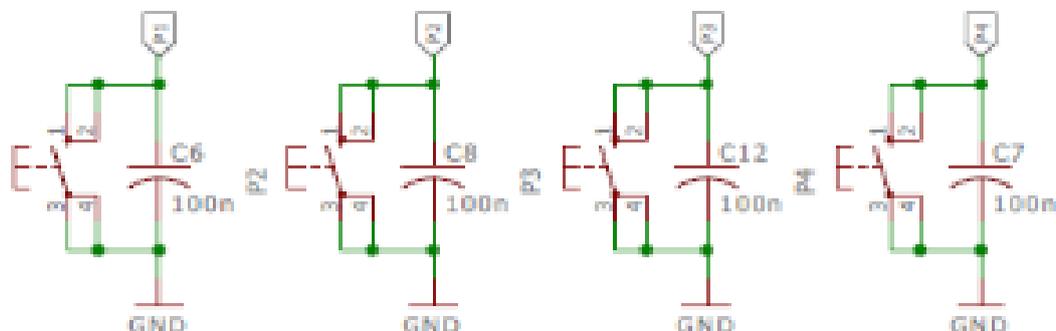


Figura 3.3 Bloque de Botoneras

Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque tiene como finalidad, proporcionar 4 botones que serán utilizados para dar órdenes de accionamientos al microcontrolador. Los botones tienen en paralelo un capacitor de 100 nF, esto se lo hace con el afán de crear un pequeño filtro anti rebote ya que los pulsadores son elementos mecánicos, y generan un ruido electrónico que podría confundir al microcontrolador.

3.1.3.3. Bloque: LCD

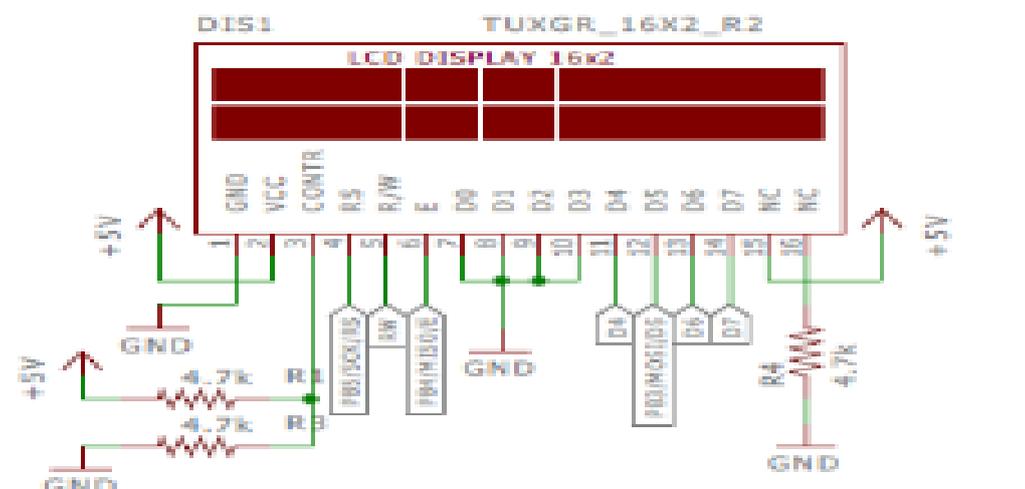


Figura 3.4 Bloque LCD

Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque tiene como finalidad acondicionar un display de tipo LCD 2x16, para ello, se tomó las consideraciones necesarias para que funcione correctamente. Este bloque comprende un esquema especial para ajustar el contraste en el display el cual no será regulado con un potenciómetro, sino que se harán pruebas aparte para verificar cuales son los valores óptimos de resistencia que dan un buen contraste. También hay que recalcar, que se usara interfaz de 4 bits para poder comunicar el microcontrolador con el display.

3.1.3.4. Bloque: Microcontrolador ATmega328P

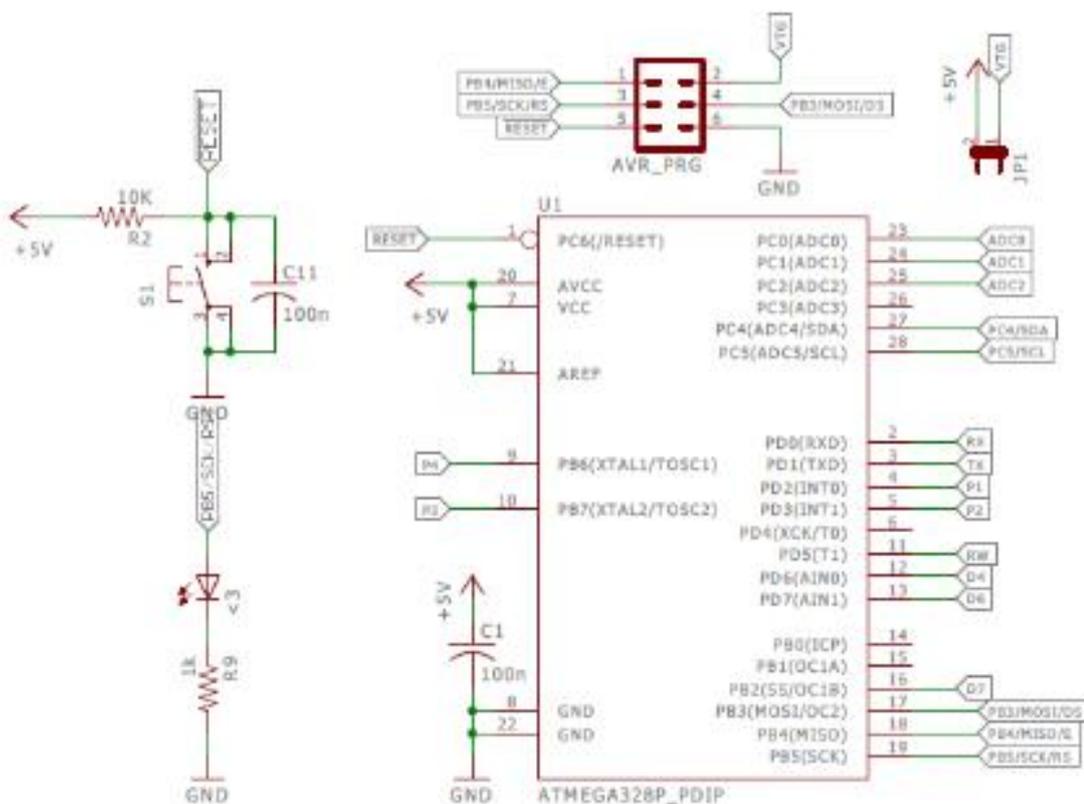


Figura 3.5 Bloque del Microcontrolador
Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque constituye el corazón y cerebro del circuito, ya que el microcontrolador es la pieza fundamental que ayuda a gestionar, controlar y monitorizar, absolutamente todos sus bloques esclavos; las tareas más importantes que ejecuta el microcontrolador, son las siguientes:

- Refrescar el bloque de Display, para mantener actualizado al usuario final, de los distintos eventos que ocurren con el circuito electrónico.
- Gestionar la conversión de analógico a digital A/D, proveniente de los sensores de corriente
- Tratar matemáticamente los valores obtenidos de la conversión A/D con el afán de poder interpretar estos valores en crudo, en valores de corriente que es una de las finalidades del proyecto.
- Gestionar las órdenes de las botoneras, las cuales se traducirán en acciones que debe realizar el microcontrolador.
- Mantener informado vía comunicación serial, a un pc o consola que pueda interpretar esta información, los datos seriales, constituyen las mediciones del sensor de corriente en acción por el microcontrolador.
- Permitir la expansión del circuito electrónico mediante la comunicación i2c, la cual permite la posibilidad de poder conectar más hardware o módulos electrónicos al proyecto en algún futuro.

3.1.3.5. Bloque: Interfaz I2C

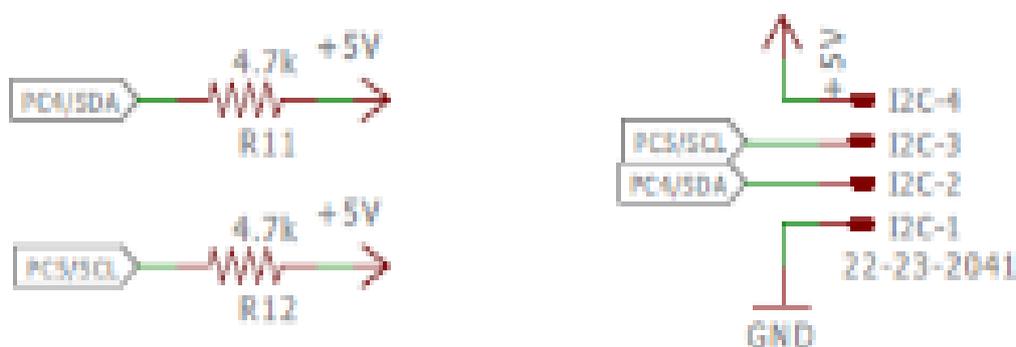


Figura 3.6 Bloque interfaz I2C
Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque tiene como finalidad proveer de un puerto de comunicación de protocolo I2C, el cual nos permitirá expandir la tarjeta electrónica con nuevos módulos que empleen este mismo protocolo de comunicación. Para lograr esto, se ha colocado como resistencia de tipo pull up en los terminales SDA y SCK de los pines provenientes del microcontrolador, esto se realiza en orden a que el periférico embebido en el microcontrolador que realiza la comunicación i2c maneja los pines como colector abierto, mostrando dos estados, cero o alta impedancia.

3.1.3.6. Bloque: ACS712 - AC/DC Sensor Current

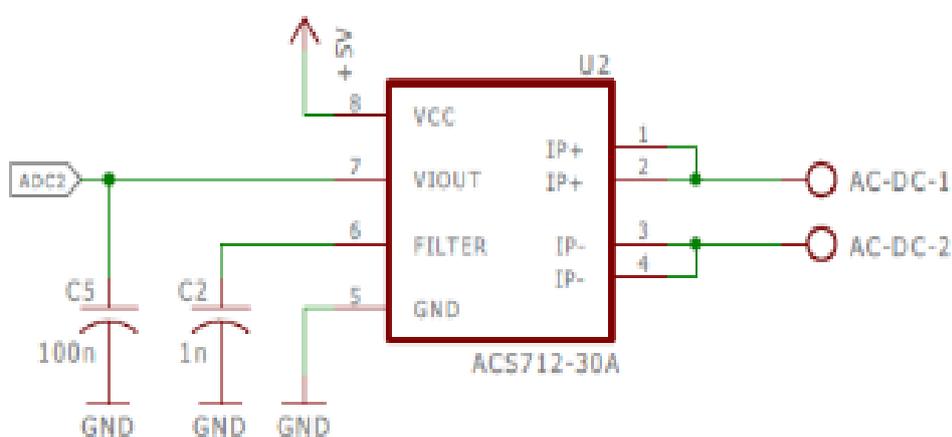


Figura 3.7 Bloque sensor ACS712
Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque comprende el circuito necesario para poder operar con el chip ACS712 el cual es un sensor analógico de corriente que realiza sus mediciones en base al efecto hall. El circuito integrado emplea dos capacitores, el primero está en paralelo con la salida analógica del sensor, esta capacitancia tiene como fin reducir el ruido en la salida analógica permitiendo obtener una lectura limpia, hay que tener en cuenta que este capacitor también descuida la respuesta del sensor, pero como nuestros fines son netamente de testeo, el capacitor no afecta a las mediciones. El segundo capacitor es usado para limitar el ancho de banda del sensor, la hoja de datos nos recomienda altamente usar un capacitor de 1 nf para poder trabajar en armonía con la corriente alterna a 60hz que es la que corriente que llega a nuestros hogares.

3.1.3.7. Bloque: FHS_40-P/SP600 – AC/DC Sensor Current

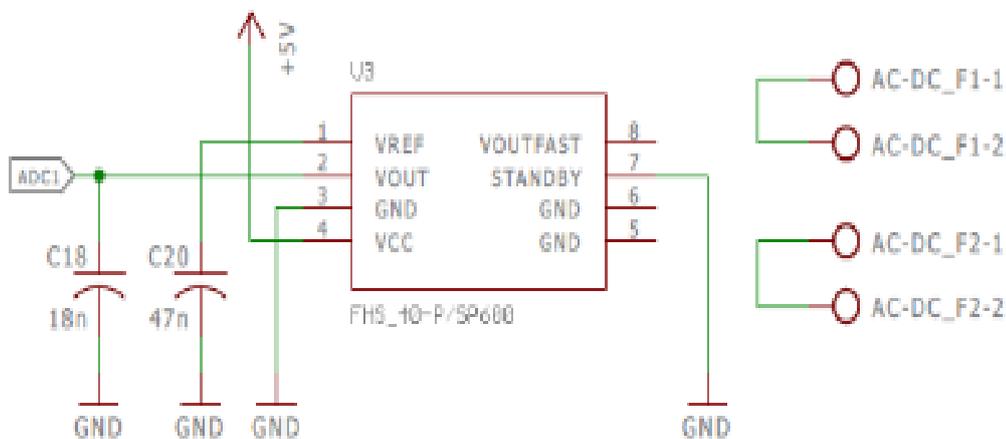


Figura 3.8 Bloque sensor FHS_40-P/SP600

Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque comprende el circuito del sensor FHS_40-P/SP600, el cual es un sensor analógico que emplea sus mediciones basándose sobre el efecto hall. Este sensor a diferencia del anterior soporta niveles de voltajes más altos, por lo que las mediciones de corrientes también pueden ser mayores, con esto en mente, se optó por usar dos borneras las cuales iban a experimentar toda la corriente que pasa a través de una bornera hacia la otra. Otra característica a tener en cuenta es que este sensor no realiza sus mediciones usando pines para una comunicación interna o cerrando el circuito a sensar, es decir este sensor, emplea el efecto hall de manera externa, por lo que un conductor debe acercarse a unos milímetros del chip para que este puede realizar sus mediciones normalmente, para ello en el diseño PCB se optó por dejar espacio para poder usar un conductor calibre AWG 10, el cual se acercaría al chip sin tocarlo y además cerraría el circuito de corriente a medir.

3.1.3.8. MLX91205 AC/DC Sensor Current

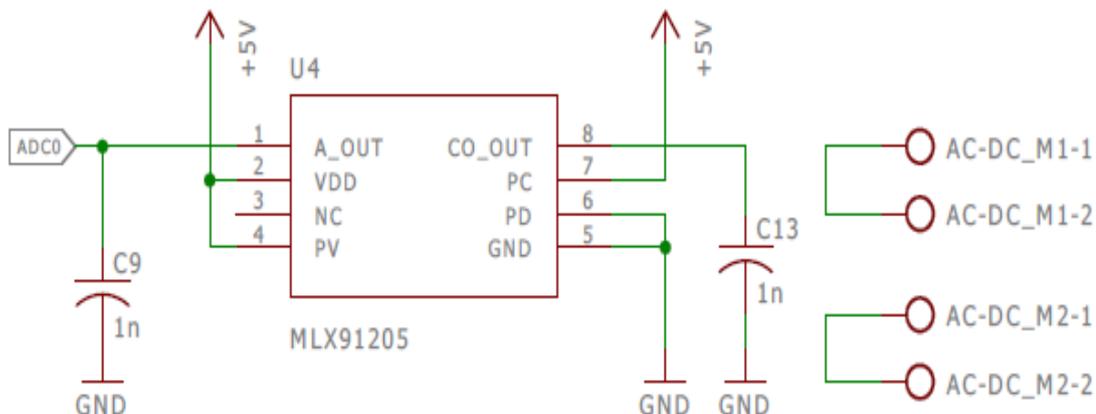


Figura 3.9 Bloque sensor MLX91205
Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque comprende el circuito del sensor MLX91205, el cual es un sensor analógico que basa sus mediciones en el efecto hall. El esquema entregado tiene como característica el uso de dos capacitores, el primer capacitor en la salida del sensor A_OUT, tiene como objetivo impedir que el ruido se filtre por el conductor y se logre obtener lecturas erróneas. El segundo capacitor solo define el ancho de banda de respuesta en frecuencia del sensor usado, que bajo las normas técnicas indicadas en el datasheet se empleó el valor de 1 nf. Hay que tener en consideración que este sensor al igual que sensor anterior no utiliza sus pines para poder cerrar el circuito, sino que hay que aceptar el conductor unos milímetros para que este pueda tomar lecturas, por ello, al igual que en el sensor anterior, se acondiciono el PCB para poder colocar un conductor de calibre WG 10 para que rodee el chip y pueda cerrar el circuito en medición.

3.1.3.9. Comunicación Serial

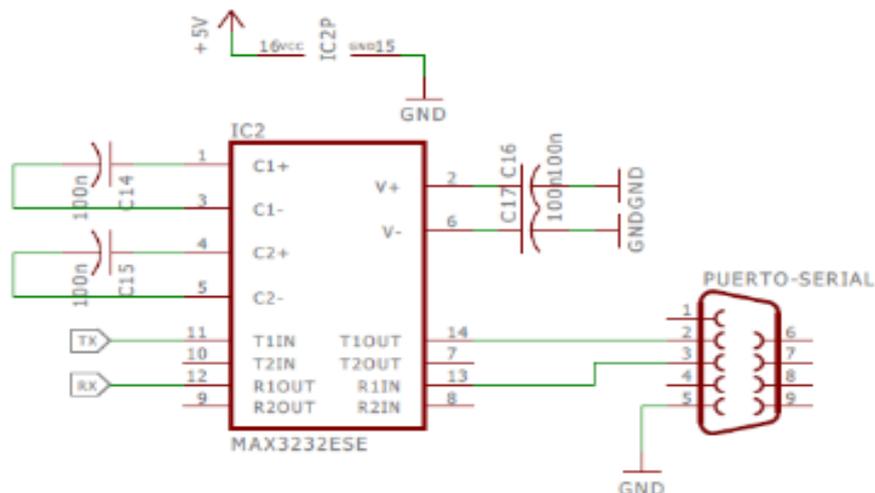


Figura 3.10 Bloque de comunicación serial
Fuente: Joselyne Beltrán

Este bloque tiene como finalidad poder emplear comunicación con protocolo serial; para lograr esto se ha tenido en consideración dos características:

- El microcontrolador para poder comunicar datos de manera serial, usa tecnología TTL, es decir, sus valores respetaran los estándares de voltaje 0v DC (0 lógico) y 5v DC (1 lógico).
- Para poder comunicar los datos vía serial a equipos electrónicos más lejanos, es imprescindible usar tecnología RS 232 (tener en cuenta que sigue siendo protocolo serial), el cual tiene como ventaja poder comunicar equipos con cables mucho más largos y a velocidades de baudios mayores. También hay que denotar que la norma técnica de voltaje de la tecnología RS 232 indica que 15v DC es en favor de la comunicación de un 1 lógico y -15v DC es en favor de un cero lógico.

Partiendo de estas dos tecnologías era necesario colocar un chip acondicionador de tecnologías que mantuviera el mismo protocolo y que permitiera trabajar en orden con los niveles de voltajes, por ello se empleó el circuito integrado que está diseñado para estas tareas, dándonos como características adicionales protección ESD, la cual es un tipo de protección de descarga eléctrica. Asegurando de este modo que el circuito

electrónico estaría protegido frente a las adversidades o accidentes que se pudieran suscitar en el cable de comunicación serial.

3.1.4. PCB del circuito electrónico

Teniendo en cuenta que en la actualidad los dispositivos electrónicos han reducido su tamaño físico obteniendo medidas milimétricas como los sensores que se utilizan en este proyecto, para realizar el circuito impreso se utilizó también el simulador EAGLE 7.3.0 el cual nos brinda las herramientas necesarias para realizar una PCB la cual al ser impresa sea precisa asegurando el funcionamiento correcto de cada dispositivo electrónico.

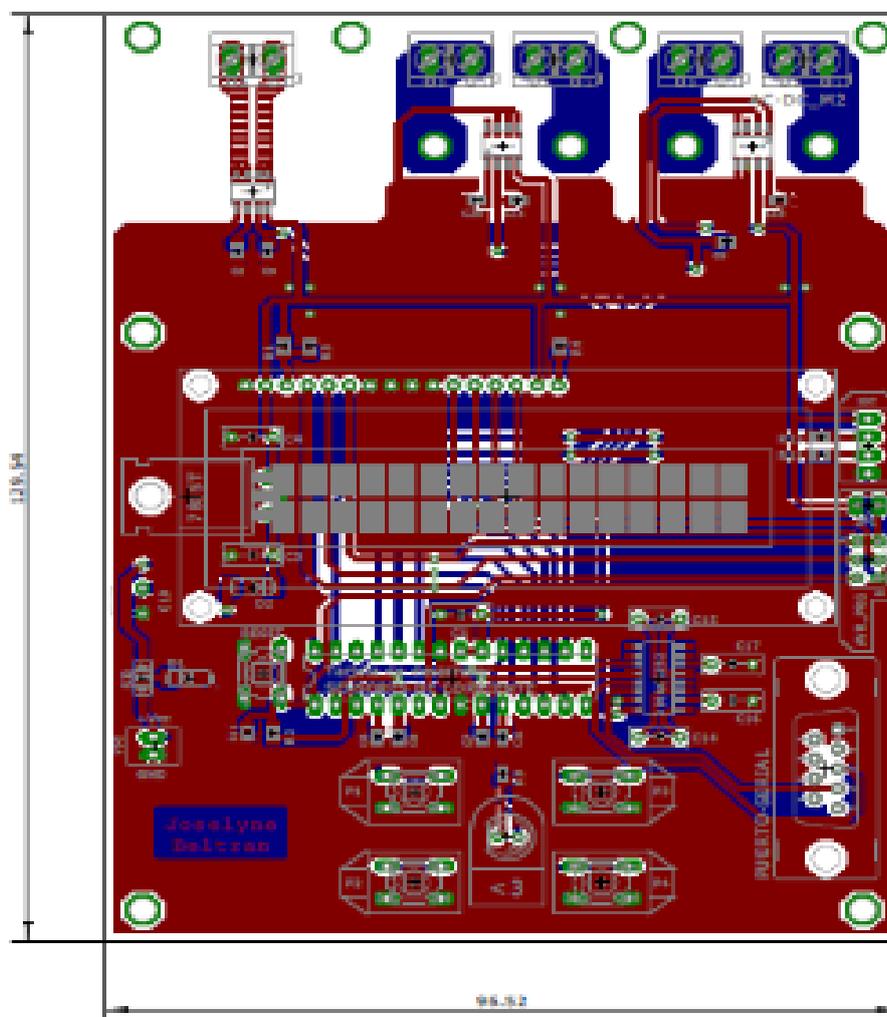


Figura 3.1112 PCB del circuito electrónico

Fuente: Joselyne Beltrán

Una vez realizado el diseño de la tarjeta con ayuda del programa EAGLE 7.3.0 se verificó que todo lo elaborado esté hecho de manera precisa y tal cual se requiere para el funcionamiento del proyecto, posteriormente fue enviado este diseño a una empresa dedicada a la impresión de circuitos electrónicos la cual tiene garantía de realizar excelentes trabajos por ende se obtuvo buenos resultados para el proyecto, como se muestra a continuación:

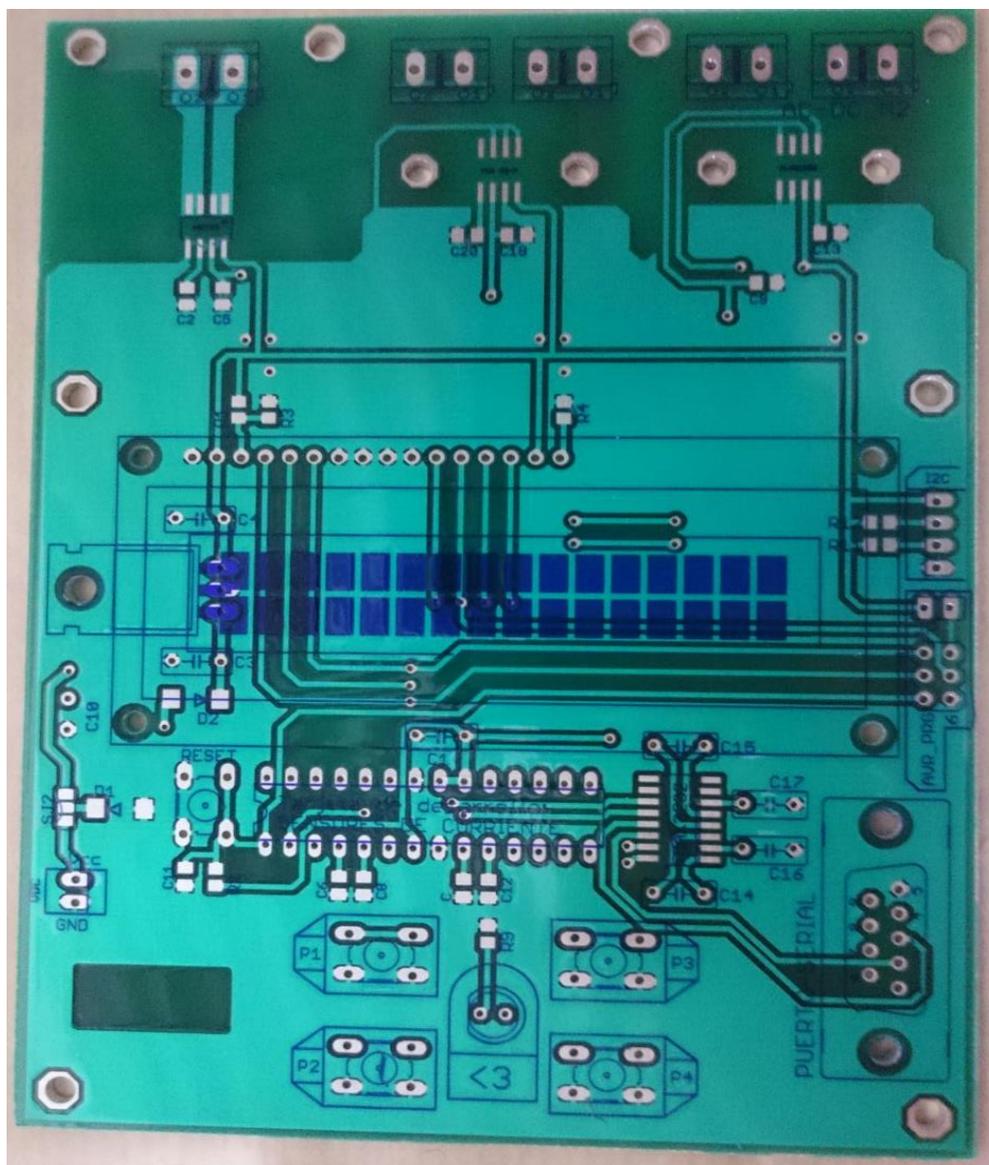


Figura 3.12 Circuito impreso parte frontal
Fuente: Joselyne Beltrán

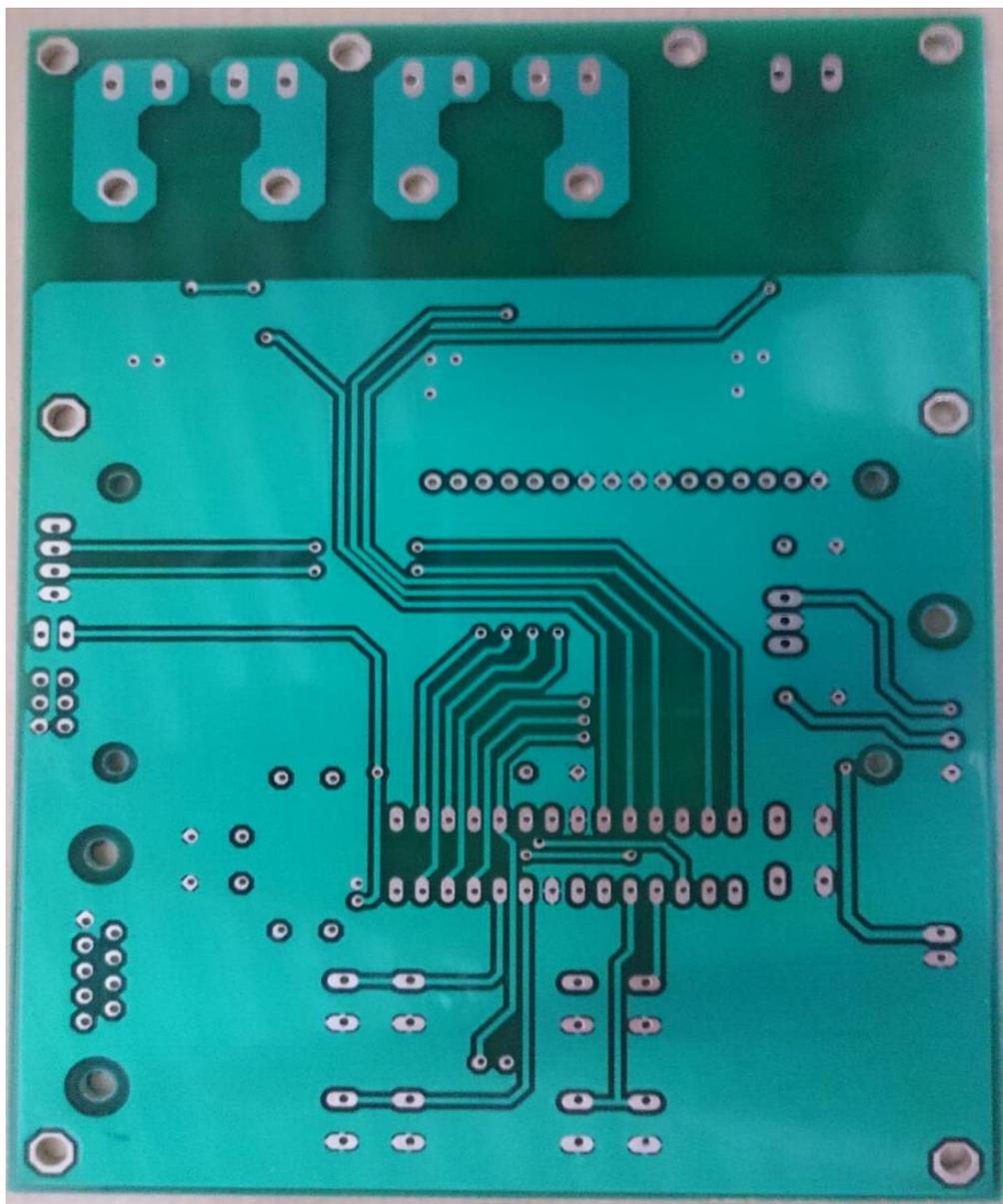


Figura 3.13 Circuito impreso parte trasera
Fuente: Joselyne Beltrán

3.1.5. Implementación de la tarjeta

La implementación de la tarjeta consiste en soldar cuidadosamente cada uno de los dispositivos electrónicos sobre la PCB, con ayuda de herramientas como lo son el caudín, pasta de soldadura electrónica y soldadura de estaño.

Además, con herramientas que ayudan a ensamblar cada elemento para que quede de manera fija y segura.

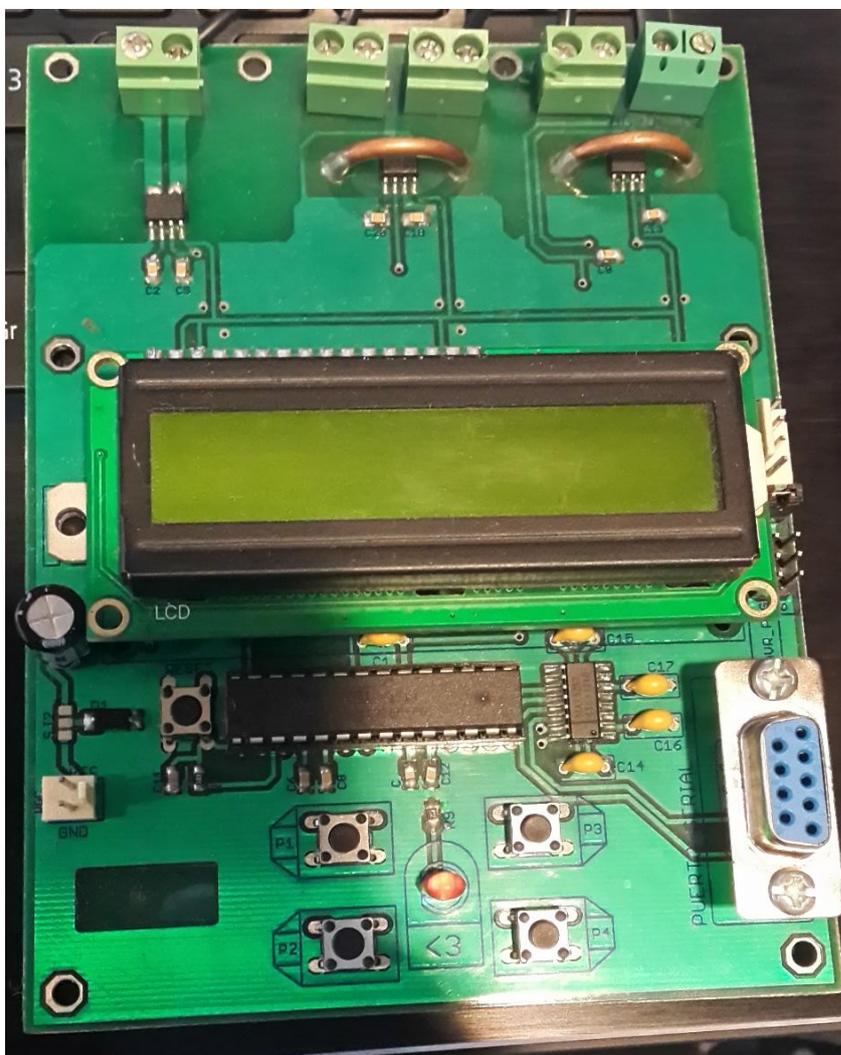


Figura 3.14 PCB armada con los dispositivos electrónicos
Fuente: Joselyne Beltrán

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SOFTWARE

El diseño del software que esta embebido en el microcontrolador, partió de la premisa de que presta muchas ventajas y lineamientos a la hora de programar:

- Compilación directa desde lenguaje C.
- IDE ATMEL STUDIO 7, basada en visual studio 2013.
- Compilador gratuito.
- IDE gratuita.
- Recursos de programación en la web.

La arquitectura AVR, tiene muchas ventajas, y una de ellas es que el lenguaje de programación empleado es C, la ventaja de programar en C es que el compilador no transforma este código a assembler, sino que más bien, lo compila directamente, ya que la tecnología ya acepta instrucciones en C; y esto sin contar la facilidad y flexibilidad que nos permite C para programar y modularizar el código.

El IDE empleado en el desarrollo del proyecto fue ATMEL STUDIO 7.0, el cual está basado en el IDE Visual Studio 2013. La ventaja que se tiene de usar esta IDE, es el empleo de teclas de acceso rápido y la autocompletación de palabras claves, que le permite al usuario programar de manera más rápida y eficiente. Otro punto a tener en cuenta es que el IDE nos permite simular el chip, lo que facilita el trabajo de depuración de errores y vacíos que se pudieran generar en la programación.

El compilador usado, es AVR tool chain, el cual es una herramienta de uso gratuito provista por la compañía del fabricante del chip, y es otro punto a favor de esta arquitectura.

A continuación, se mostrará los algoritmos empleados en la programación, si se desea leer el código, por favor referirse al **Anexo 1** de esta documentación.

4.1. Algoritmo principal

El proyecto tiene como finalidad el testeo de 3 sensores de corriente de efecto hall analógicos, así que basada en esta premisa el software fue diseñado siguiendo lineamientos de un modo de operación para cada sensor, para ver en detalle su respectivo funcionamiento.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo principal del proyecto

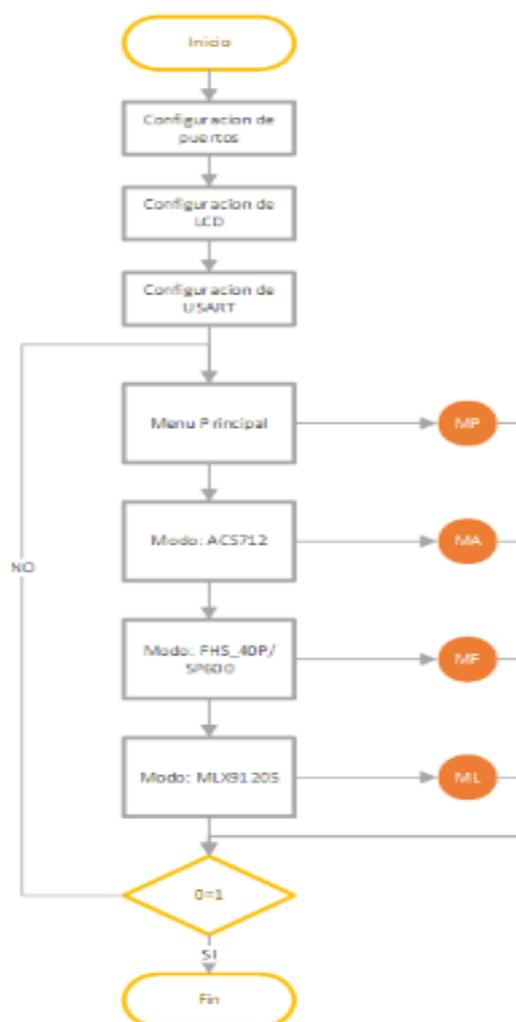


Figura 4.1 Diagrama de flujo principal
Fuente: Joselyne Beltrán

4.1.1. Configuración de puertos

En este bloque se inicializa los puertos del chip que serán empleado en las distintas tareas del circuito electrónico, para ello tenemos la siguiente lista de puertos:

- Puertos del display
- Puertos de las botoneras
- Puertos analógicos de los sensores

4.1.2. Configuración de LCD

En este bloque se configura en detalle los puertos empleados para el uso del display, además se inicializa el display con interfaz de 4 bits y sin el cursor activo.

4.1.3. Configuración de USART

En este bloque se configura el modo de comunicación del periférico USART del microcontrolador, además fijamos la tasa de baudios de comunicación, que por estándar hemos seleccionado 9600 baudios.

4.1.4. Menú principal

Este bloque muestra el menú principal, en donde en resumen podremos escoger un sensor para ponerlo a prueba.

4.1.5. Modo ACS712

En este bloque se pondrá a prueba el modo de lectura ACS712, en donde se empleará el mencionado chip para obtener medidas de corriente.

4.1.6. Modo FHS_40P/SP600

En este bloque se ejecutará el algoritmo necesario para poner a prueba el chip FHS_40P/SP600. El cual utiliza una fórmula matemática descrita en el datasheet para obtener el valor leído en el puerto analógico en lecturas de corriente.

4.1.7. Modo MLX91205

En este bloque se ejecutará el código de programación para que el sensor MLX91205 pueda realizar las mediciones de correspondientes y para que estos valores puedan ser mostrados en mediciones de corriente, el algoritmo matemático empleado es muy similar al del chip FHS_40P/SP600.

4.2. Algoritmo de interrupciones

4.2.1. Interrupción de botoneras

Este algoritmo describe el proceso de interrupción de los pines de entrada que se conectaran a los botones. El proceso está siempre a la expectativa de que en algún momento se presione un botón para poder hacer el chequeo del botón presionado y poder activar una bandera que nos indicara ya en el código principal, cual es la orden a ejecutar.



Figura 4.2 Diagrama de flujo de la interrupción
Fuente: Joselyne Beltrán

4.3. Algoritmo de menú principal MP

Este algoritmo realiza lo siguiente:

- Muestra en pantalla los sensores disponibles a testear y los botones correspondientes a cada sensor.
- Chequea si ha llegado una orden desde los pulsadores para poder ingresar al respectivo modo, y poder activar el sensor de corriente.

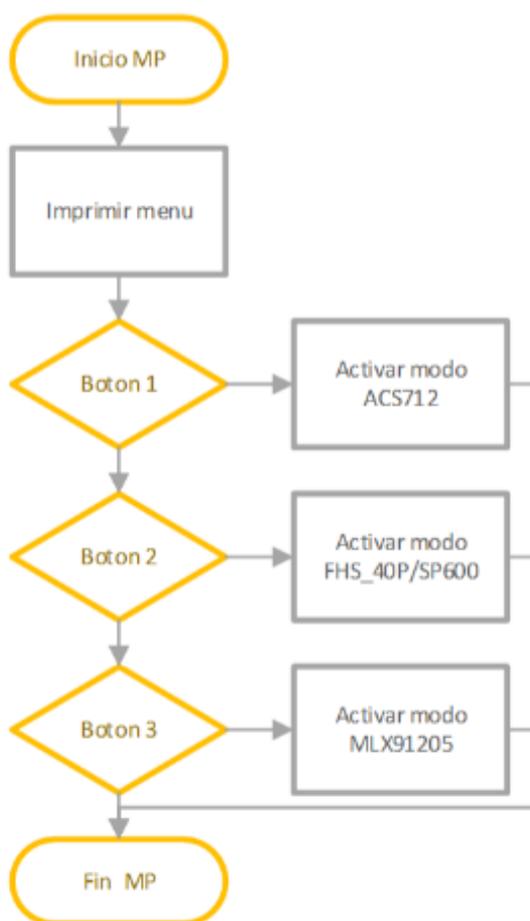


Figura 4.3 Diagrama de flujo del menú principal
Fuente: Joselyne Beltrán

4.4. Algoritmo de modo ACS712 MA

En este algoritmo se ejecutará las siguientes instrucciones:

- Ejecutará una orden de digitalización del voltaje analógico en su respectivo pin.
- Almacenara este valor 1000 veces.
- Calculara mediante una fórmula matemática el valor de corriente RMS.
- Lo mostrara en la pantalla del LCD
- Lo enviara a un PC o terminal, vía Serial por el puerto RS 232.



Figura 4.4 Diagrama de flujo de modo ACS712 MA
Fuente: Joselyne Beltrán

4.5. Algoritmo de modo FHS_40P/SP600

En este algoritmo se ejecutará las siguientes instrucciones:

- Ejecutará una orden de digitalización del voltaje analógico en su respectivo pin.
- Almacenara este valor 1000 veces.
- Calculara mediante una fórmula matemática el valor de corriente RMS.
- Ajustará el valor de corriente con un factor que será la distancia radial desde el conductor de calibre AWG 10 al chip que esta sensando.
- Mostrará esta lectura de corriente en la pantalla del LCD.
- Lo enviara a un PC o terminal, vía Serial por el puerto RS 232.



Figura 4.5 Diagrama de flujo de modo FHS_40P/SP600

Fuente: Joselyne Beltrán

4.6. Algoritmo de modo MLX91205

En este algoritmo se ejecutará las siguientes instrucciones:

- Ejecutará una orden de digitalización del voltaje analógico en su respectivo pin.
- Almacenara este valor 1000 veces.
- Calculara mediante una fórmula matemática el valor de corriente RMS.
- Ajustará el valor de corriente con un factor que será la distancia radial desde el conductor de calibre AWG 10 al chip que esta sensando, este valor de radio esta reajustado con un factor adicional indicado en el datasheet del fabricante.
- Mostrará esta lectura de corriente en la pantalla del LCD.
- Lo enviara a un PC o terminal, vía Serial por el puerto RS 232.

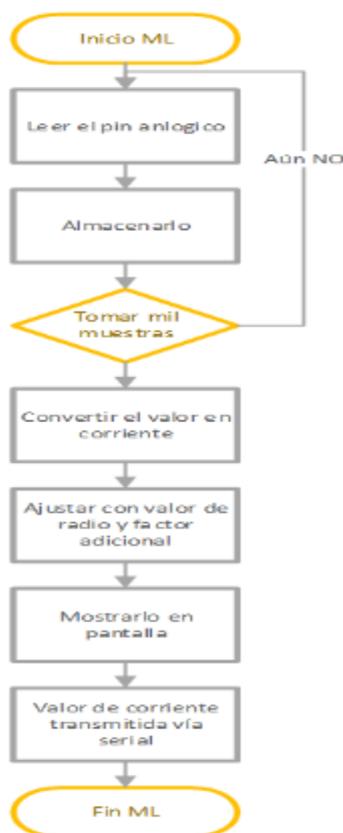


Figura 4.6 Diagrama de flujo de modo MLX91205
Fuente: Joselyne Beltrán

CAPÍTULO V

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Prueba de sensores

En este capítulo se pondrá a prueba los sensores embebidos en el circuito electrónico del proyecto, para ello, se han seleccionado tres equipos eléctricos de uso diario en nuestro hogar, con la particularidad de que son del tipo resistivos, asegurando que el cálculo de la corriente teórica es en base a la ecuación de la ley de OHM.

Por otro lado, emplearemos un multímetro de la compañía Fluke para medir la corriente y compararlas con las mediciones de los sensores en el proyecto. Este multímetro tiene la característica principal de emplear tecnología TRUE RMS, el cual certifica al usuario final que el valor mostrado en la medición de su pantalla es eficazmente un valor RMS, además de esto, el multímetro tiene un porcentaje de error de sus medidas del $\pm 1.5\%$, lo cual lo hace ideal para realizar una comparativa con el proyecto.

5.1.1. Equipo A

El equipo A, a ser probado es una plancha convencional, comúnmente usada en nuestra casa. Las características eléctricas de la plancha se muestran a continuación:

Tabla 5.1 Equipo A

Equipo A					
Carga	Potencia [w]	Tipo	Voltaje AC [v]	Corriente toerica [A]	Resistencia [Ω]
Plancha	800	resistivo	110	7.272727273	15.125

Fuente: Joselyne Beltrán

Se realizaron 20 mediciones con cada dispositivo de medición incluyendo el fluke, luego se hizo un promediado para poder hacer una comparativa de mediciones, y con esto se han obtenido dos porcentajes de error para cada sensor, uno es con respecto a las mediciones del fluke y otro con respecto a la corriente teórica.

Tabla 5.2 Mediciones de corriente Equipo A

Mediciones de corriente Equipo A				
Numero de muestra	Fluke	Tarjeta electronica Modo: ACS712	Tarjeta electronica Modo: FHS_40P/SP600	Tarjeta electronica Modo: MLX91205
1	7.28	7.39	7.41	7.5
2	7.35	7.43	7.48	7.32
3	7.27	7.4	7.69	7.88
4	7.34	7.31	7.4	7.42
5	7.21	7.36	7.55	7.59
6	7.21	7.38	7.38	7.72
7	7.39	7.45	7.35	7.77
8	7.26	7.47	7.67	7.52
9	7.24	7.45	7.61	7.83
10	7.4	7.31	7.46	7.46
11	7.22	7.41	7.48	7.68
12	7.21	7.46	7.49	7.72
13	7.29	7.44	7.69	7.71
14	7.27	7.48	7.59	7.78
15	7.34	7.49	7.52	7.36
16	7.29	7.34	7.6	7.46
17	7.21	7.46	7.69	7.42
18	7.25	7.44	7.49	7.33
19	7.37	7.5	7.38	7.6
20	7.24	7.37	7.42	7.73
Promedio	7.282	7.417	7.5175	7.59
% de error con respecto a corriente teorica		1.98%	3.37%	4.36%
% de error con respecto a Fluke		1.85%	3.23%	4.23%

Fuente: Joselyne Beltrán

5.1.2. Equipo B

El equipo B, es una ducha eléctrica, el cual basa su funcionamiento en una resistencia eléctrica que se calienta y calienta el agua a su alrededor, las características eléctricas de este equipo son las siguientes:

Tabla 5.3 Equipo B

Equipo B					
Carga	Potencia [w]	Tipo	Voltaje AC [v]	Corriente teorica [A]	Resistencia [Ω]
Ducha electrica	1340	resistivo	110	12.18181818	9.029850746

Fuente: Joselyne Beltrán

Para realizar las pruebas con la ducha eléctrica, se usó una cubeta con agua al ambiente, y se colocó la resistencia de la ducha, y se procedió a tomar las 20 muestras en cada sensor y el multímetro fluke.

Tabla 5.4 Mediciones de corriente Equipo B

Mediciones de corriente Equipo B				
Numero de muestra	Fluke	Tarjeta electronica Modo: ACS712	Tarjeta electronica Modo: FHS_40P/SP600	Tarjeta electronica Modo: MLX91205
1	12.16	12.2	12.35	12.4
2	12.13	12.47	12.28	12.98
3	12.14	12.57	12.72	13
4	12.3	12.44	12.61	12.37
5	12.18	12.38	12.77	12.73
6	12.13	12.23	12.39	12.81
7	12.19	12.38	12.74	12.7
8	12.27	12.53	12.78	12.98
9	12.26	12.22	12.67	12.79
10	12.11	12.31	12.5	12.46
11	12.17	12.53	12.67	12.66
12	12.13	12.29	12.66	13.07
13	12.2	12.3	12.71	12.75
14	12.23	12.53	12.41	12.31
15	12.11	12.43	12.38	12.57
16	12.27	12.37	12.67	13.09
17	12.19	12.5	12.49	12.84
18	12.26	12.49	12.33	12.71
19	12.15	12.5	12.72	12.65
20	12.11	12.57	12.37	12.94
Promedio	12.1845	12.412	12.561	12.7405
% de error con respecto a corriente teorica		1.89%	3.11%	4.59%
% de error con respecto a Fluke		1.87%	3.09%	4.56%

Fuente: Joselyne Beltrán

5.1.3. Equipo C

El equipo C, en un reflector en cuyo interior presenta un foco de 2000 w de carga, las características eléctricas del reflector son las mostradas a continuación

Tabla 5.5 Equipo C

Equipo C					
Carga	Potencia [w]	Tipo	Voltaje AC [v]	Corriente toerica [A]	Resistencia [Ω]
Foco	2000	resistivo	110	18.18181818	6.05

Fuente: Joselyne Beltrán

Las mediciones de corriente del reflector nos reportaron los siguientes valores de corriente:

Tabla 5.6 Mediciones de corriente Equipo C

Mediciones de corriente Equipo C				
Numero de muestra	Fluke	Tarjeta electronica Modo: ACS712	Tarjeta electronica Modo: FHS_40P/SP600	Tarjeta electronica Modo: MLX91205
1	18.2	18.37	18.45	18.5
2	18.44	18.32	19.28	19.45
3	18.4	18.54	18.43	19.34
4	18.31	18.83	18.59	18.57
5	18.36	18.91	18.47	18.57
6	18.39	18.82	18.61	19.3
7	18.39	18.66	18.87	18.94
8	18.43	18.74	18.77	18.86
9	18.33	18.47	18.56	18.85
10	18.24	18.4	18.39	18.97
11	18.35	18.92	18.9	18.86
12	18.58	18.89	18.47	18.76
13	18.26	18.85	18.74	18.65
14	18.37	18.83	19.29	18.51
15	18.31	18.89	18.55	19.42
16	18.54	18.68	18.85	19.57
17	18.42	18.82	18.95	19.39
18	18.55	18.92	18.39	19.3
19	18.34	18.91	19.22	19.05
20	18.33	18.69	19.17	19.59
Promedio	18.377	18.723	18.7475	19.0225
% de error con respecto a corriente teorica		2.98%	3.11%	4.62%
% de error con respecto a Fluke		1.88%	2.02%	3.51%

Fuente: Joselyne Beltrán

CAPÍTULO VI

PRESUPUESTO

6.1. Introducción

A continuación, mediante una tabla de presupuestos se detallan los precios respectivos de cada material usado para la realización del proyecto.

Tabla 6.1 Presupuesto de los materiales para elaborar el prototipo de sensores de efecto Hall

Cantidad	Item	Valor Unit.	Valor Total
2	Mini regulador de voltaje	0.45	0.90
1	1000 Uf 63V	0.63	0.63
6	Tack swicht 4P eje medio normal	0.09	0.54
1	Pantalla LCD 2x16	7.14	7.14
4	Espadin 40 PIN macho	0.89	3.56
4	Espadin 40 PIN hembra	0.89	3.56
2	LED 5mm ovalado rojo	0.22	0.44
2	Conector molex 4 PIN	0.45	0.90
1	Zocalo	0.89	0.89
4	Mini bornera	0.45	1.80
1	Cable USB/Serial	11.00	11.00
1	Cable solido	0.53	0.53
1	Cable flexible	0.93	0.93
2	Caja tomacorriente	1.49	2.98
3	Tomacorriente	2.00	6.00
1	Enchufe polarizado	0.88	0.88
1	Limpiador de contactos	6.29	6.20
1	Adaptador MIYACO	7.82	7.82
1	Multimetro Fluke 115	290.00	290.00
Total			346.70

Fuente: Joselyne Beltrán

Adicionalmente se elaboró en la ciudad de Cuenca la tarjeta PCB la cual tuvo un costo de 60.00 dólares. Con el detalle de los costos de implementación se puede dar a conocer el fin de este trabajo ya que como se puede notar los precios para implementar un sistema de medición de corriente eléctrica con sensores basados en efecto Hall es menos costosa a comparación de otro tipo de sistemas que existen en el mercado.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

En este proyecto de tesis se realizó el estudio para elaborar un prototipo que ponga en función a sensores de corriente basados en efecto Hall, hemos visto que estos dispositivos electrónicos son muy importantes para realizar distintas aplicaciones tanto a nivel industrial como a nivel convencional, resaltando mayormente la medición de corrientes tanto AC/DC, obteniendo a través de las pruebas resultados muy satisfactorios en donde se demuestra la fiabilidad y la precisión de cada uno de ellos, porque dan un tiempo de respuesta muy rápido.

- Las mediciones de corriente con los sensores se acercan bastante bien a las mediciones hechas por el multímetro Fluke, por lo que los sensores testeados presentan un alto desempeño.
- Las mediciones de corriente hecha por el multímetro Fluke, son realizadas con algoritmo TRUE RMS, mientras que las mediciones realizadas en los sensores del proyecto emplearon un algoritmo de cálculo RMS que no tiene la misma eficiencia que el del multímetro de la compañía Fluke.
- Es posible mejorar la calidad de las mediciones de corriente mejorando el algoritmo de cálculo de la corriente RMS embebido en el microcontrolador, lo que nos daría mediciones muy cercanas a las del multímetro Fluke.
- La corriente teórica obtenida, es una corriente que sale a partir de los cálculos de los parámetros eléctricos del fabricante de cada equipo, hay que recalcar que estos parámetros no siempre son precisos por lo que en la vida real tienden a variar en un buen porcentaje, de ahí se puede concluir que el porcentaje de error con respecto a la corriente teórica es mayor que con respecto a las mediciones del Fluke.
- Se empleó la medición de 20 muestras para sacar una medición promedio de cada sensor y del Fluke, la finalidad del promedio es entender cuanto varia las

mediciones y obtener un valor centralizado de donde se pueda hacer comparativas de sensores y multímetro.

7.2. Recomendaciones

La realización del proyecto pasó por muchas etapas de elaboración por lo que a continuación se dan una serie de recomendaciones que pueden ayudar para trabajar con mayor facilidad en la implementación del mismo.

- Se recomienda tener en cuenta que para realizar un proyecto de este tipo se tiene que contar con un buen periodo de tiempo el cual permita realizar las investigaciones necesarias para saber el funcionamiento de cada modelo de los sensores utilizados ya que cada uno cuenta con su propio datasheet para poder hacer un correcto montaje del circuito y puedan funcionar.
- También se recomienda comprar con anterioridad todos los materiales a utilizarse, además es muy importante que al momento de montar cada dispositivo en la PCB hacerlo con mucha cautela más aun cuando se realicen las pruebas porque al hacer las mediciones de corriente eléctrica hay que hacerlo con precaución ya que puede ser peligroso.
- Al realizar las pruebas de medición de corriente tener mucha precaución porque puede ser peligroso para la integridad física.
- Tener en cuenta el funcionamiento de la tarjeta y sus niveles de temperatura para no ocasionar daños al circuito.
- Realizar cálculos de los parámetros de corriente muy cautelosamente ya que muchas de las veces las mediciones pueden variar dependiendo del equipo de medida que se esté utilizando.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarez, J. A. (23 de 04 de 2013). ASÍ FUNCIONA. Obtenido de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_4.htm
2. ATMEL. (s.f.). Obtenido de <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>
3. Butenhoff, M. E., Green, K. R., & Jain, A. (2015). *U.S. Patent No. 20,150,276,892*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
4. *bibing*. (s.f.). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf>
5. Dueñas, R. M. (06 de Agosto de 2008). *Blogspot*. Obtenido de <http://interface-serial-rs232.blogspot.com/>
6. Estrella Treviño, R., & García Rojas, M. D. (2015). *Servo-controlador analógico-digital para motores de DC y BLDC* (Doctoral dissertation).
7. *Electroaula*. (s.f.). Obtenido de http://www.electroaula.cat/elec/pluginfile.php/5259/mod_folder/content/0/10hall.pdf?forcedownload=1
8. *Electrónica Embajadores*. (s.f.). Obtenido de <http://www.electronicaembajadores.com/Productos/Detalle/-1/LCA1ATMEGA328/arduino-atmega328-con-bootloader-uno>
9. Esquer, J. E. (2012). Obtenido de <http://yori.mx1.uabc.mx/wp-content/uploads/downloads/2012/03/ATMega328P-2012-1.pdf>
10. Fernández, F. A. (Agosto de 2014). *Blogspot*. Obtenido de <http://14452631467182.blogspot.com/2014/08/arquitecturas-y-arduinios.html>
11. *Galeon*. (s.f.). Obtenido de <http://microcontroladores-e.galeon.com/>
12. Gudel, C. (01 de 05 de 2008). Obtenido de <http://www.powerguru.org/taking-transducer-technology-to-the-limits-of-current-measurement-accuracy/>
13. Joan Antoni Ros Marín, O. C. (2011). *Sistemas de Seguridad y Confortabilidad*. Madrid: Paraninfo.
14. Jose, F. L., Julian, D. G., & William, O. (2012). *slideplayer*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/1856432/>
15. Lee, S. W., & Ko, J. Y. (2015). *U.S. Patent No. 8,952,641*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
16. Liu, R., & Chung, E. (2015). *U.S. Patent No. 20,150,137,718*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

17. López, G., & Margni, S. (2003). Obtenido de <http://www.fing.edu.uy/inco/grupos/mina/pGrado/construccion2003/Documentos/IntroduccionPics.doc>.
18. Melanson, J. L. (2015). *U.S. Patent No. 8,963,535*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
19. Meléndez Reyes, M. (2014). Medidor de corriente con el sensor ACS712 de efecto Hall, para el sistema Bolt 18F2550
20. *Manual del instalador digital*. (s.f.). Obtenido de <http://www.sistemamid.com/preview.php?a=3822>
21. Mathas, C. (13 de 09 de 2012). *Digi-Key*. Obtenido de <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/sep/the-basics-of-current-sensors>
22. Monica, Q., & Antonio, S. (2011). *Wikispaces*. Obtenido de <https://aprendiendo-microcontroladores.wikispaces.com/page/history/home>
23. *Mouser Electronics*. (s.f.). Obtenido de <http://www.mouser.ec/new/atmel/atmelatmega328/>
24. Quintero, J. J. (2011). *bdigital*.
25. Salgado, L. E. (Mayo de 2006). *bdigital*.
26. Sánchez del Águila, M. (2015). Desarrollo de un sistema de seguimiento de vehículos para dispositivos Android basado en el control de redes de sensores.
27. Sánchez, Y., Rosi, C., Azpúrua, M. A., & Marañón, J. Caracterización y estimación de la incertidumbre en la medición de inducción magnética utilizando un gaussímetro basado en sensores de efecto hall. In *10mo Congreso Internacional de Metrología Eléctrica, X SEMETRO*.
28. Tropic, O. G. (s.f.). *Topic Harward Electrónica*. Obtenido de <http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>
29. Velásquez, A. A., Rodríguez, J. B., & Loaiza, Y. F. G. (2015). Diseño y construcción de un teslámetro digital embebido para la caracterización magnética de materiales. *Ingeniería y Ciencia-ing. cienc.*, 11(21), 99-113.
30. Zenon, C. M., Freri, O. Q., Rolando, S. P., & Laureano, R. P. (2007). Obtenido de http://www.unrobotica.com/manuales/SESSION_1_ATMEGA8.pdf

ANEXOS

Anexo 1
Código Fuente del Software de programación
de los Sensores de efecto Hall y el
Microcontrolador ATmega328P

```

/*
 * test.c
 *
 * Created: 27/01/2016 10:27:08
 * Author : Joselyne Beltram
 */

// added F_CPU=8000000UL in config
// added _LCD_DEFINITIONS_FILE in config for setup lcd port
// added libprintf_flt in libraries

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include "lcd.h"

/*****
*****
*/
/* Macro function to declare an output pin */
#define out(x)          _out(x)
#define _out(bit,port) DDR##port |= (1 << bit)

/* Macro function to declare an input pin */
#define in(x)          _in(x)
#define _in(bit,port)  DDR##port &= ~(1 << bit)

/* Macro function to set an output pin high */
#define on(x)          _on(x)
#define _on(bit,port) PORT##port |= (1 << bit)

/* Macro function to set an output pin low */
#define off(x)         _off(x)
#define _off(bit,port) PORT##port &= ~(1 << bit)

/* Macro function to toggle an output pin */
#define flip(x)        _flip(x)
#define _flip(bit,port) PORT##port ^= (1 << bit)

/* Macro function to set internal pullup resistor of input pin (same as "on" macro)*/
#define pullup(x)      _on(x)

/* Macro function to get state of input pin */
#define getStatus(x)   _get(x)
#define _get(bit,port) (PIN##port & (1 << bit))>>bit

```

```

/* data type state */
typedef uint8_t status;
enum { LOW, HIGH };

/* data type bool */
typedef uint8_t bool;
enum { FALSE, TRUE };
//*****
*****

#define BAUD 9600
#define MYUBRR F_CPU/16/BAUD -1
//*****
*****

#define P1 2,D
#define P2 3,D
#define P3 7,B
#define P4 6,B

#define MUESTREO 1000
#define MLX912_CHANNEL 0
#define FHS40P_CHANNEL 1
#define ACS712_CHANNEL 2

volatile bool B_ACS712 = FALSE;
volatile bool B_FHS40P = FALSE;
volatile bool B_MLX912 = FALSE;
volatile bool B_BACK = FALSE;

char buffer[48];

char line1[40];
char line2[40];

volatile bool B_TIME = FALSE;
volatile unsigned long time_ms = 0;

volatile status P1old, P1now;
volatile status P2old, P2now;
volatile status P3old, P3now;
volatile status P4old, P4now;

volatile bool B_P1 = FALSE;
volatile bool B_P2 = FALSE;
volatile bool B_P3 = FALSE;
volatile bool B_P4 = FALSE;

```

```

ISR (TIMER0_COMPA_vect){ // each 1 ms
    if(B_TIME){
        time_ms++;
    }
}

ISR (PCINT2_vect){ // pulsadores p1 y p2
    P1now = getStatus(P1);
    P2now = getStatus(P2);

    if( P1old == LOW && P1now == HIGH ){
        B_ACS712 = TRUE;
        B_FHS40P = FALSE;
        B_MLX912 = FALSE;
        B_BACK = FALSE;
    }

    if( P2old == LOW && P2now == HIGH ){
        B_ACS712 = FALSE;
        B_FHS40P = TRUE;
        B_MLX912 = FALSE;
        B_BACK = FALSE;
    }

    P1old = P1now;
    P2old = P2now;
}

ISR (PCINT0_vect){ // pulsadores p3 y p4
    P3now = getStatus(P3);
    P4now = getStatus(P4);

    if( P3old == LOW && P3now == HIGH ){
        B_ACS712 = FALSE;
        B_FHS40P = FALSE;
        B_MLX912 = TRUE;
        B_BACK = FALSE;
    }

    if( P4old == LOW && P4now == HIGH ){
        B_ACS712 = FALSE;
        B_FHS40P = FALSE;
        B_MLX912 = FALSE;
        B_BACK = TRUE;
    }
}

```

```
        P3old = P3now;
        P4old = P4now;
    }

void menuPrincipal();
void modeACS712();
void modeFHS40P();
void modeMLX912();

void setup();
void setupPorts();
void setupUART();
void setupTimer0();

void startTime();
void stopTime();
unsigned long getTimeMilli();

void UARTputc(unsigned char data);
void UARTprint(const char *str);
void UARTprintln(const char *str);

void LCDupdate();
void LCDWelcomeMessage();
void LCDprintCurrent(float instCurrent, float rmsCurrent);

void ADCInit();
int ADCsingleREAD(uint8_t adctouse);

void UARTwelcomeMessage();
void UARTtransmit(char *str, float instCurrent, float rmsCurrent);

float ACS712currentINST(uint8_t chanel);
float ACS712currentRMS(uint8_t chanel);

float FHS40PcurrentINST(uint8_t chanel, float radius);
float FHS40PcurrentRMS(uint8_t chanel, float radius);

float MLX912currentINST(uint8_t chanel, float radius);
float MLX912currentRMS(uint8_t chanel, float radius);

int main(void)
{

    setup();
```

```

UARTwelcomeMessage();
LCDWelcomeMessage();

while (1){
    menuPrincipal();
    modeACS712();
    modeFHS40P();
    modeMLX912();
}

void menuPrincipal(){
    sprintf(line1," Elija un sensor");
    sprintf(line2," [P1] [P2] [P3] ");
    LCDupdate();

    while(!B_ACS712&&!B_FHS40P&&!B_MLX912);

    if(B_ACS712){
        line2[2]=255;
        line2[3]=255;
        LCDupdate();
        _delay_ms(1000);
    }else if(B_FHS40P){
        line2[7]=255;
        line2[8]=255;
        LCDupdate();
        _delay_ms(1000);
    }else if(B_MLX912){
        line2[12]=255;
        line2[13]=255;
        LCDupdate();
        _delay_ms(1000);
    }

    sprintf(line1,"Si desea volver ");
    sprintf(line2,"presione BACK P4");
    LCDupdate();

    _delay_ms(3000);
}

void modeACS712(){
    static float instCurrent, rmsCurrent;
    if(B_ACS712){
        sprintf(line1,"Sensor Corriente");
        sprintf(line2," ACS712 ");
    }
}

```

```

LCDupdate();
_delay_ms(3000);

do{
    instCurrent = ACS712currentINST(ACS712_CHANNEL);
    rmsCurrent = ACS712currentRMS(ACS712_CHANNEL);

    UARTtransmit("ACS712",instCurrent,rmsCurrent);
    LCDprintCurrent(instCurrent,rmsCurrent);
}while(!B_BACK);
B_ACS712 = FALSE;
B_BACK = FALSE;
}
}

void modeFHS40P(){
    static float instCurrent, rmsCurrent;
    if(B_FHS40P){
        sprintf(line1,"Sensor Corriente");
        sprintf(line2," FHS 40-P/SP600 ");
        LCDupdate();
        _delay_ms(3000);

        do{
            instCurrent = FHS40PcurrentINST(FHS40P_CHANNEL,
0.00037);
            rmsCurrent = FHS40PcurrentRMS(FHS40P_CHANNEL,
0.00037);

            UARTtransmit("FHS 40-P/SP600",instCurrent,rmsCurrent);
            LCDprintCurrent(instCurrent,rmsCurrent);
}while(!B_BACK);
B_FHS40P = FALSE;
B_BACK = FALSE;
}
}

void modeMLX912(){
    static float instCurrent, rmsCurrent;
    if(B_MLX912){
        sprintf(line1,"Sensor Corriente");
        sprintf(line2," MLX9125 ");
        LCDupdate();
        _delay_ms(1000);
        do{
            instCurrent = MLX912currentINST(MLX912_CHANNEL,
0.00355);

```

```

        rmsCurrent = MLX912currentRMS(MLX912_CHANNEL,
0.00355);

        UARTtransmit("MLX9125",instCurrent,rmsCurrent);
        LCDprintCurrent(instCurrent,rmsCurrent);
    }while(!B_BACK);
    B_MLX912 = FALSE;
    B_BACK = FALSE;
}
}

void setup(){
    setupPorts();
    lcd_init(LCD_DISP_ON);
    ADCInit();
    setupTimer0();
    setupUART();
    sei();
    _delay_ms(1000);
}

void setupPorts(){
    in(P1);
    in(P2);
    in(P3);
    in(P4);

    pullup(P1);
    pullup(P2);
    pullup(P3);
    pullup(P4);

    PCICR |= (1 << PCIE2) | (1 << PCIE0); // set PCIE0 to enable PCMSK0
scan
    PCMSK0 |= (1 << PCINT6) | (1 << PCINT7); // set PCINT0 to trigger an
interrupt on state change
    PCMSK2 |= (1 << PCINT18) | (1 << PCINT19);

    P1old = getStatus(P1);
    P2old = getStatus(P2);
    P3old = getStatus(P3);
    P4old = getStatus(P4);
}

void setupUART(){
    UBRROH = (MYUBRR) >> (8);
    UBRROL = MYUBRR;
}

```

```

        //UCSR0A |= (1 << U2X0);           // double
speed mode

        //UCSR0B |= (1 << RXEN0);
        // Enable receiver
        UCSR0B |= (1 << TXEN0);           // Enable
transmitter

        //UCSR0B |= (1 << RXCIE0);           //
enable interrupt RX
        //UCSR0B |= (1 << TXCIE0);           //
enable interrupt TX

        UCSR0C |= (1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00); // Set frame: 8data, 1
stp
    }

void setupTimer0(){
    OCR0A = 124;                          // cada 1 ms
    TCCR0A |= (1 << WGM01);                // Mode 2, CTC on OCR0A
    TIMSK0 |= (1 << OCIE0A); //Set interrupt on compare match
    TCCR0B |= (1 << CS01) | (1 << CS00);    // set prescaler to 64 and
start the timer
}

void startTime(){
    time_ms = 0;
    B_TIME = TRUE;
}

void stopTime(){
    B_TIME = FALSE;
}

unsigned long getTimeMilli(){
    return time_ms;
}

void UARTputc(unsigned char data){
    while(!(UCSR0A & (1<<UDRE0)));
    UDR0 = data;
}

void UARTprint(const char *str){
    while (*str)
        UARTputc(*str++);
}

```

```

}
void UARTprintln(const char *str){
    UARTprint(str);
    UARTputc('\r');
}

void LCDupdate(){
    lcd_clrscr();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts(line1);
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_puts(line2);
}

void LCDWelcomeMessage(){
    uint8_t i;

    sprintf(line1,"-[Bienvenido]-+");
    sprintf(line2,"+-----+");
    for(i=0;i<16;i++){
        line1[i+16]=255;
        line2[i+16]=255;
    }
    LCDupdate();

    _delay_ms(2000);

    for (i=0;i<16;i++){
        lcd_command(LCD_MOVE_DISP_LEFT);
        _delay_ms(100);
    }
    for(i=0;i<16;i++){
        line1[i]=255;
        line2[i]=255;
    }
    line1[16]=0;
    line2[16]=0;
    strcat(line1,"  Autora :D  ");
    strcat(line2,"Joselyne Beltran");
    LCDupdate();

    _delay_ms(2000);

    for (i=0;i<16;i++){
        lcd_command(LCD_MOVE_DISP_LEFT);
        _delay_ms(100);
    }
}

```

```

    sprintf(line1, "  Autora :D  ");
    sprintf(line2, "Joselyne Beltran");
    for(i=0;i<16;i++){
        line1[i+16]=255;
        line2[i+16]=255;
    }
    LCDupdate();

    _delay_ms(2000);

    for (i=0;i<16;i++){
        lcd_command(LCD_MOVE_DISP_LEFT);
        _delay_ms(100);
    }
}

void LCDprintCurrent(float instCurrent, float rmsCurrent){
    sprintf(line1, "Inst=%.3f Amp", instCurrent);
    sprintf(line2, "Irms= %.3f Amp", rmsCurrent);
    LCDupdate();
}

void UARTwelcomeMessage(){
    UARTprintln("*****");
    UARTprintln("***      TESIS DE GRADUACION:      ***");
    UARTprintln("** Sensores de corriente EFECTO HALL **");
    UARTprintln("*****");
    UARTprintln("***          AUTORA:          ***");
    UARTprintln("***      Joselyne Beltran      ***");
    UARTprintln("*****");
    UARTprintln("      ***          ***          ");
    UARTprintln("      ***          ***          ");
    UARTprintln("      *****          ");
}

void UARTtransmit(char *str, float instCurrent, float rmsCurrent){
    sprintf(buffer, "Sensor [ %s ] [I inst: %.3f] [I rms: %.3f]\n", str, instCurrent,
rmsCurrent);
    UARTprintln(buffer);
}

void ADCInit(){
    ADMUX |= (1 << REFS0); // use AVcc as the reference
    ADMUX &= ~(1 << ADLAR); // clear for 10 bit resolution
}

```

```

        ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); // 128
prescale for 8Mhz
        ADCSRA |= (1 << ADEN); // Enable the ADC
    }

int ADCsingleREAD(uint8_t adctouse){
    int ADCval;

    ADMUX = adctouse; // use # ADC

    ADCSRA |= (1 << ADSC); // Start the ADC conversion

    while(ADCSRA & (1 << ADSC)); // Thanks T, this line waits for the
ADC to finish

    ADCval = ADCL;
    ADCval = (ADCH << 8) + ADCval; // ADCH is read so ADC can be
updated again

    return ADCval;
}

float ACS712currentINST(uint8_t chanel){
    return ((float)5*(float)ADCsingleREAD(chanel)/(float)1023 -
(float)2.5)/(float)0.066;
}

float ACS712currentRMS(uint8_t chanel){
    static int i;
    static float instCurrent, avgCurrent, rmsCurent;

    avgCurrent = 0;
    for (i=0;i<MUESTREO;i++){
        instCurrent = ACS712currentINST(chanel);
        if(instCurrent<0){
            instCurrent=(float)(-1)*instCurrent;
        }
        avgCurrent = avgCurrent + instCurrent/(float)MUESTREO;
    }
    rmsCurent = 1.1107 * avgCurrent;
    if(rmsCurent < 0.1){
        rmsCurent = 0;
    }
    return rmsCurent;
}

float FHS40PcurrentINST(uint8_t chanel, float radius){

```

```

    return ((float)5*(float)ADCsingleREAD(chanel)/(float)1023 - (float)2.5
)*(float)radius/(float)0.00012;
}

```

```

float FHS40PcurrentRMS(uint8_t chanel, float radius){
    static int i;
    static float instCurrent, avgCurrent, rmsCurent;

    avgCurrent = 0;
    for (i=0;i<MUESTREO;i++){
        instCurrent = FHS40PcurrentINST(chanel,radius);
        if(instCurrent<0){
            instCurrent=(float)(-1)*instCurrent;
        }
        avgCurrent = avgCurrent + instCurrent/(float)MUESTREO;
    }
    rmsCurent = 1.1107 * avgCurrent;
    if(rmsCurent < 0.65){
        rmsCurent = 0;
    }
    return rmsCurent;
}

```

```

float MLX912currentINST(uint8_t chanel, float radius){
    return ((float)5*(float)ADCsingleREAD(chanel)/(float)1023 - (float)2.5
)*(float)radius/(float)0.00012;
}

```

```

float MLX912currentRMS(uint8_t chanel, float radius){
    static int i;
    static float instCurrent, avgCurrent, rmsCurent;

    avgCurrent = 0;
    for (i=0;i<MUESTREO;i++){
        instCurrent = FHS40PcurrentINST(chanel,radius);
        if(instCurrent<0){
            instCurrent=(float)(-1)*instCurrent;
        }
        avgCurrent = avgCurrent + instCurrent/(float)MUESTREO;
    }
    rmsCurent = 1.1107 * avgCurrent;
    if(rmsCurent < 1.7){
        rmsCurent = 0;
    }
    return rmsCurent;
}

```

Anexo 2
Summary Datasheet ATmega328P



ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P

ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH

DATASHEET

Features

- High Performance, Low Power Atmel®AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFNMLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFNMLF and 32-pad QFNMLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 4MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
 - Active Mode: 0.2mA
 - Power-down Mode: 0.1µA
 - Power-save Mode: 0.75µA (Including 32kHz RTC)

1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P

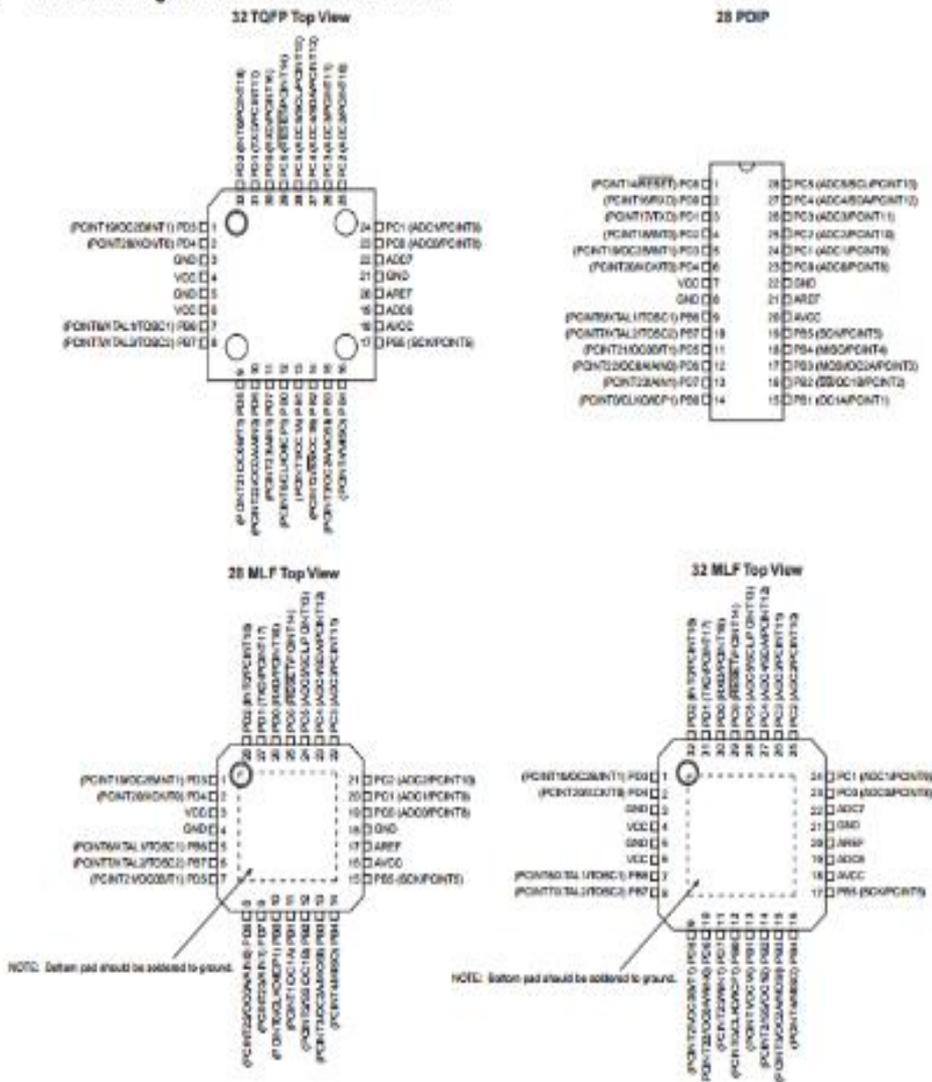


Table 1-1. 32UFPGA - Pinout ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA

	1	2	3	4	5	6
A	PD2	PD1	PC6	PC4	PC2	PC1
B	PD3	PD4	PD0	PC5	PC3	PC0
C	GND	GND			ADC7	GND
D	VDD	VDD			AREF	ADC6
E	PB6	PD6	PB0	PB2	AVDD	PB5
F	PB7	PD5	PD7	PB1	PB3	PB4

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7...6 is used as TOSC2...1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in ["Alternate Functions of Port B" on page 82](#) and ["System Clock and Clock Options" on page 27](#).

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5...0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 29-11 on page 305](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in ["Alternate Functions of Port C" on page 85](#).

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in ["Alternate Functions of Port D" on page 88](#).

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6...4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

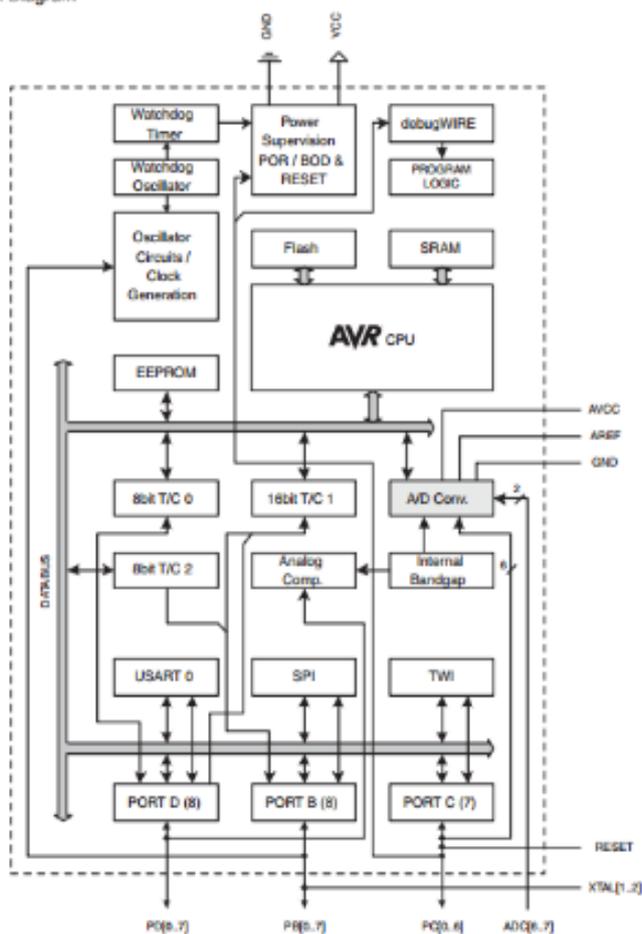
In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

2. Overview

The ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

Anexo 3
Datasheet del Sensor ACS712

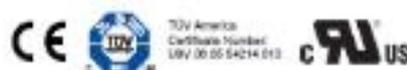


ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 90 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC current
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Automatic output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

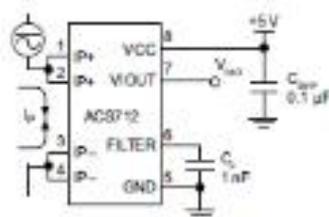
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of 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 voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\sim V_{OUT}/I_P$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 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 recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{REV}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{REVOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _{OC}	1 pulse, 100 ns	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(MAX)}		155	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-66 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WRB}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WRR}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	194	VDC or V _{pk}

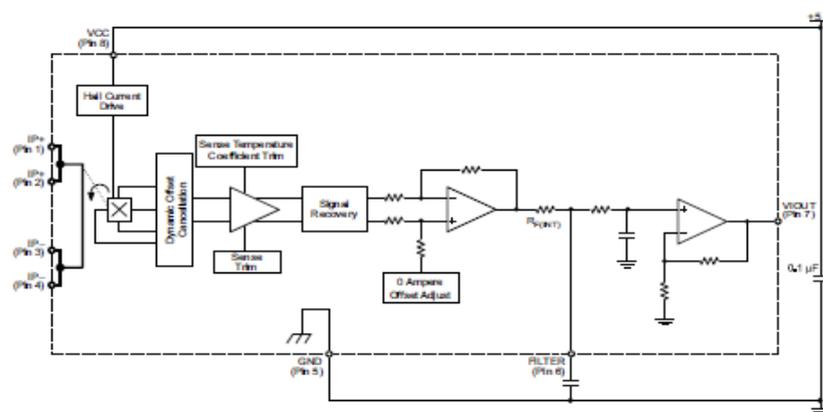
* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

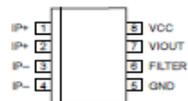
ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Anexo 4
Datasheet del Sensor FHS40-P/SP600



Current transducer FHS 40-P/SP600

$I_{RM} = 0 - 100\text{ A}$

Minisens



Introduction

The Minisens transducer is an ultra flat SMD open loop integrated circuit current transducer based on the Hall effect principle. It is suitable for the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed, mixed. It has no insertion loss and provides galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (sensor). It measures the magnetic field generated by the current flowing in a conductor such as a PCB track. The output voltage is proportional to that magnetic field.

The IC is calibrated to minimize offset and temperature drifts. An integrated magnetic circuit gives an optimum transducer sensitivity. High isolation between the primary circuit and transducer electronics can be obtained with a double sided PCB.

This datasheet is for a device programmed for maximum sensitivity; other options will be available. For example, the sensitivity range will be adjustable, and a choice of fixed or ratiometric (proportional to power supply voltage) sensitivity and reference voltage will be offered.

Features

- Programmable Hall effect transducer for current measurement applications up to $\pm 100\text{ A}$
- 5 V power supply
- Standard S01C 8 pin package
- Magnetic field measurement range $\pm 3.3\text{ mT}$
- Sensitivity range up over to 200 mV/A
- Isolated current measurement.

Advantages

- Low cost
- Small size
- Excellent linearity
- No power loss in primary circuit
- Internal or external reference voltage may be used on the same pin
- Standby mode for reduced power consumption
- Additional output for fast detection with response time 3 μs .

Applications

- Battery supplied applications
- Motor control
- Power meter
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Overcurrent fault protection
- Threshold detection
- Garage door opener
- Window shutters
- Motors and fans
- Air conditioning
- White goods.

Application domain

- Industrial.

Standard

- EN 50178.



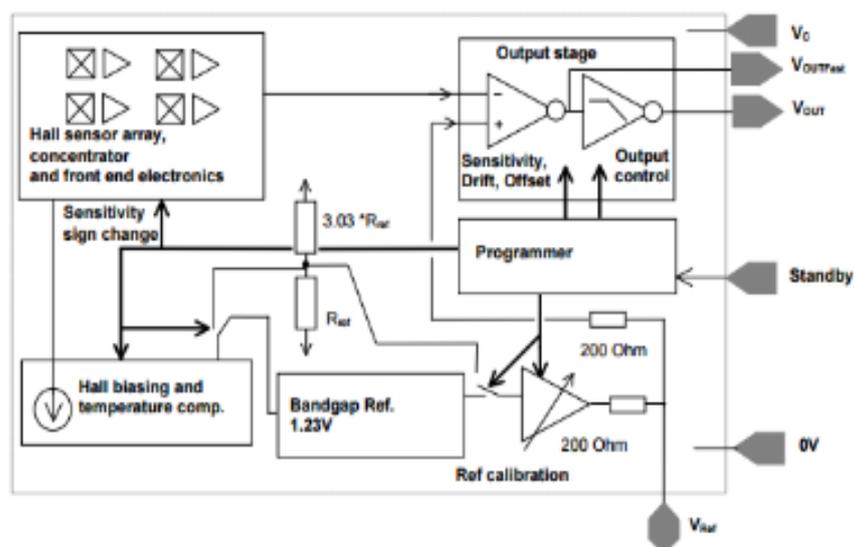
FHS 40-P/SP600
0 - 100A

Absolute maximum ratings (non operating)

Parameter	Symbol	Unit	Specifications	Conditions
Supply voltage	V_C	V	5.5	Exceeding this voltage may temporarily reconfigure the circuit until next power-on
			8.25	Destructive
Electrostatic discharge		kV	2	Human Body Model
Latch-Up, Normal mode			According to Jedic Standard JESD78A	
Latch-Up, Standby mode			According to Jedic Standard JESD78A	@ 25°C
Latch-Up voltage in Standby mode		V	5.5	@ 125°C
Ambient operating temperature	T_a	°C	- 40 . + 125	
Ambient storage temperature	T_s	°C	- 55 . + 150	
Output short circuit duration			Indefinite	

Block diagram

This block diagram includes user programmable options: please contact LEM for details.





FHS 40-P/SP600 0 - 100A

Notes: All parameters are for the V_C range from 4.5 V to 5.5 V, and $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$.
Typical values are for $V_C = 5\text{ V}$; $T_A = 25^\circ\text{C}$. Values are for the application schematic shown in figure 6.

Electrical data

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max	Conditions
Supply voltage	V_C	V	4.75	5	5.5	4.5 V possible but limits measurement range
Current consumption	I_C	mA		15	19	Operating mode
		μA			20	Standby mode
Output voltage in a flux density B	V_{OUT}	V	$V_{REF} + V_{OC} + (G \times B)$			Simplified model
Magnetic flux density measuring range	B_M	mT		± 3.3		$V_C = 5\text{ V}$
Linearity error	ϵ_L	%	-1.5	± 0.4	1.5	$G_M = 600\text{ mV/mT}$, $B = \pm 3.3$, $V_C = 5\text{ V}$
Sensitivity, referred to magnetic field	G_M	mV/mT	582	600	618	@ 25°C , $V_C = 5\text{ V}$
Sensitivity - V_C influence		% of $V_C = 5\text{ V}$ value	-1		1	@ 25°C , @ $V_C = 5\text{ V} \pm 10\%$
Temperature coefficient of G_M	TCG	ppm/ $^\circ\text{C}$	-350		350	Referred to 25°C ; 3 sigma limits
Reference voltage (Internal reference used as output)	V_{REF}	V	2.480	2.5	2.52	@ 25°C , $V_C = 5\text{ V}$
Regulation V_C		mV/V	-5		5	@ 25°C , $V_C = 5\text{ V} \pm 10\%$
Output impedance V_{REF}		Ω	150	200	250	
Temperature coefficient of V_{REF}	TCV _{REF}	ppm/ $^\circ\text{C}$	-80		80	$25^\circ\text{C} - 125^\circ\text{C}$; 3 sigma limits
Temperature coefficient of V_{REF}	TCV _{REF}	ppm/ $^\circ\text{C}$	-100		100	$-40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$; 3 sigma limits
Reference voltage (External reference used as input)	V_{REF}	V	1.5		2.8	
Additional sensitivity error		%/V	-1		1	Relative to 2.5 V
Additional electrical offset voltage		mV/V	-40		20	Relative to 2.5 V
Electrical offset voltage $V_{OUT} - V_{REF}$	V_{OC}	mV	-10		10	@ 25°C , $B = 0$, $V_C = 5\text{ V}$
Electrical offset voltage $V_{OUT(REF)} - V_{REF}$	$V_{OC(REF)}$	mV		± 50		@ 25°C , $B = 0$, $V_C = 5\text{ V}$
Temperature coefficient of V_{OC} and $V_{OC(REF)}$	TCV _{OC}	mV/ $^\circ\text{C}$	-0.15		0.15	Referred to 25°C and V_{REF} ; 3 sigma limits
Offset - V_C influence (V_{OC} and $V_{OC(REF)}$)		mV	-10		10	@ 25°C , $V_C = 5\text{ V} \pm 10\%$
Output resistance V_{REF}	R_{OUT}	Ω			5	DC
Output resistance $V_{OUT(REF)}$	$R_{OUT(REF)}$	Ω			10	DC
Output current magnitude V_{OUT}	I_{OUT}	mA		30		As source
				50		As sink
Output current magnitude $V_{OUT(REF)}$	$I_{OUT(REF)}$	mA		5		As source
				10		As sink
Maximum output capacitive loading	C_L	nF			18	4.7 nF recommended
Standby pin "0" level		V		-0.3	+0.5	
Standby pin "1" level		V	$V_C - 0.5$		$V_C + 0.3$	For standby mode
Time to switch from standby to normal mode		μs		50		50 % of correct output
Output voltage noise V_{OUT} and $V_{OUT(REF)}$	V_{IN}	$\mu\text{Vrms}/\text{Hz}$		15		$f = 1500\text{ Hz} - 100\text{ Hz}$
Internal Clock feed through V_{OUT}		μVrms		400		($f = 500\text{ kHz typ}$)
Internal Clock feed through $V_{OUT(REF)}$		μVrms		1600		($f = 500\text{ kHz typ}$)
Reaction time V_{OUT}	t_r	μs			3	Input signal rise time 1 μs
Response time V_{OUT}	t_s	μs			5	Input signal rise time 1 μs
Reaction time $V_{OUT(REF)}$	$t_{r(REF)}$	μs			3	Input signal rise time 1 μs
Response time $V_{OUT(REF)}$	$t_{s(REF)}$	μs			3	Input signal rise time 1 μs
Frequency bandwidth V_{OUT}	BW	kHz		105		@ -3 dB (G1 G)
				45		@ -1 dB (G1 G)
Frequency bandwidth $V_{OUT(REF)}$	BW _{Fast}	kHz		120		@ -3 dB (G1 G)
				55		@ -1 dB (G1 G)

Application information

Single track on PCB

The main practical configurations will now be reviewed and their main features highlighted.

The use of Minisens to measure a current flowing in a track provides the following advantages:

- Isolation is guaranteed by PCB design. If the primary track is placed on the opposite (bottom) side of the PCB, the isolation can be very high
- stable and reproducible sensitivity
- inexpensive
- large input currents (up to about 100 A).

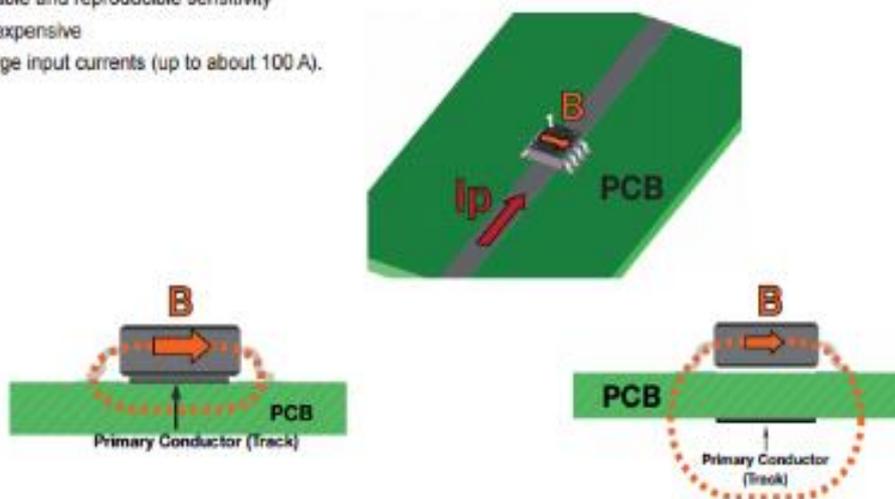


Figure 10: Principle of Minisens used to measure current in a PCB track

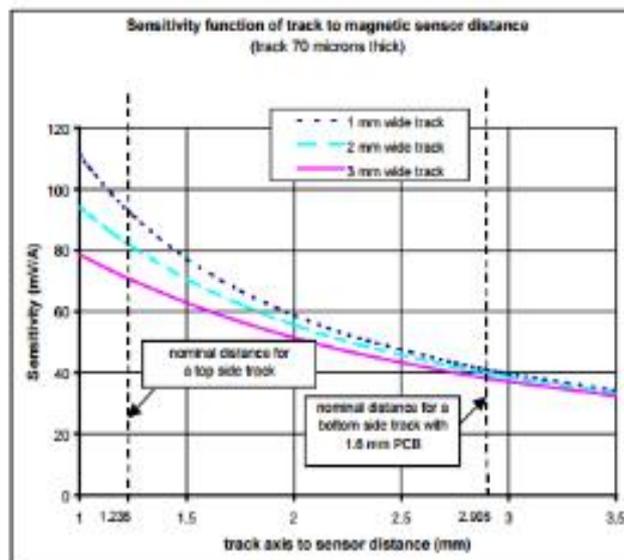


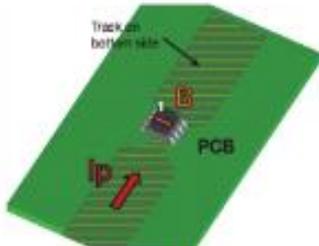
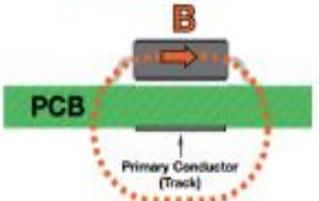
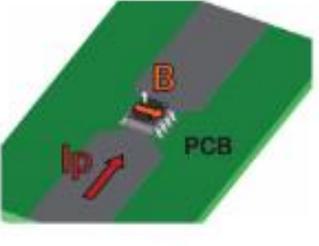
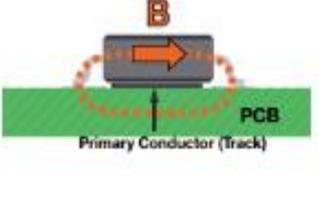
Figure 11: Sensitivity versus track width and versus distance between the track and the Minisens sensing elements

Application information

The sensitivity depends on the track width and distance, as shown in figure 11.

The maximum current that can be safely applied continuously is determined by the temperature rise of the track. The use of a track with varying width gives the best combination of sensitivity and track temperature rise.

The following paragraphs show optimized track shapes for bottom and top side tracks. they are only examples and there could be many others depending on the application requirements.

	Track bottom side High isolation configuration		Track top side Low isolation configuration	
	 		 	
	KIT 5	KIT 9		KIT 4
Creeepage, clearance	8 mm	8 mm		0.4 mm
Nominal primary current IPN 16 A (85°C ambient, natural convection, 30°C track temperature rise)		30 A		16 A
Measuring range IPM	55 A	76 A		29 A
Sensitivity G	36 mV/A	26 mV/A		68.7 mV/A
Track width under IC	3 mm	8 mm		3 mm
Track width elsewhere	10 mm	16 mm		10 mm
A demo board of this design is available	G2.00.23.104.0	GE.00.23.108.0		G2.00.23.103.0
PCB characteristics	1.6 mm / 70 µm Cu			70 µm Cu

Application information

Multi-turns

For low currents (under 10 A), it is advisable to make several turns with the primary track to increase the magnetic field generated by the primary current.

As with a single track, it is better to have wider tracks around the Minisens than under it (to reduce temperature rise)

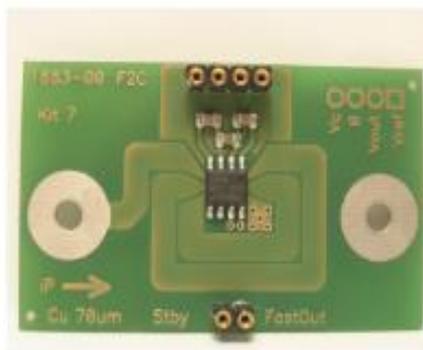
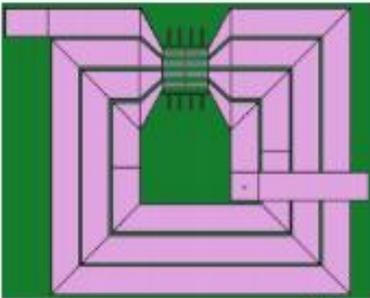
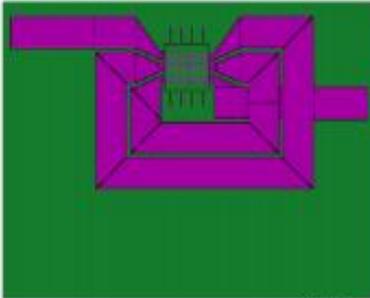


Figure 12: Example of multi-turns PCB design

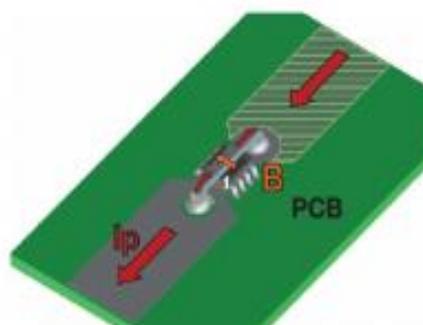
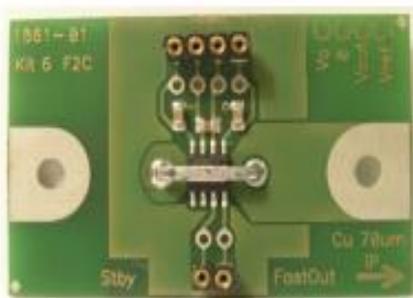
Two optimized design examples are presented below.

4 turns bottom side High isolation configuration		3 turns bottom side Low isolation configuration	
	KIT 8		KIT 7
Creeepage, clearance	8 mm	Creeepage, clearance	0.4 mm
Nominal primary current I_{pN}	5 A	Nominal primary current I_{pN}	5 A
(85°C ambient, natural convection, 30°C track temperature rise)		(85°C ambient, natural convection, 30°C track temperature rise)	
Measuring range I_{pM}	15 A	Measuring range I_{pM}	10 A
Sensitivity G	126 mV/A	Sensitivity G	186 mV/A
Track width under IC	0.78 mm	Track width under IC	0.78 mm
Track width elsewhere	3 mm	Track width elsewhere	3 mm
A demo board of this design is available	GE.00.23.107.0	A demo board of this design is available	GE.00.23.106.0
PCB characteristics 1.8 mm / 70 μ m Cu		PCB characteristics 1.8 mm / 70 μ m Cu	

Application information

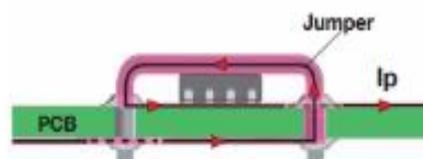
Jumper

The use of a jumper and PCB tracks to realize a complete loop around Minisens allows it to have a very high sensitivity for a nominal current of about 10 Amps.



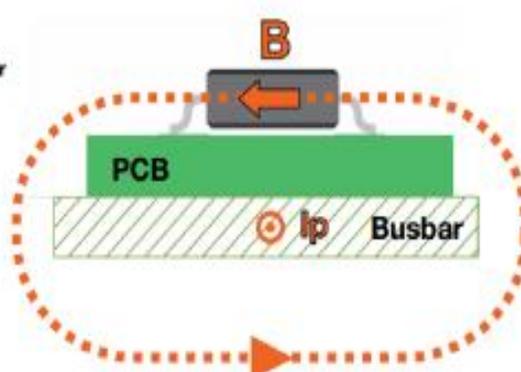
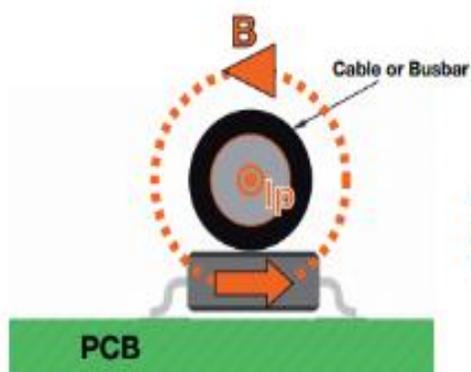
Creepage, clearance
Nominal primary current I_{pr}
(85°C ambient, natural convection,
30°C track temperature rise)
Measuring range I_{pr}
Sensitivity G
Track width under IC
Track width elsewhere
A demo board of this
design is available
PCB characteristics 1.6 mm / 70 µm Cu.

KIT 6
0.4 mm
9 A
9 A
206 mV/A
3 mm
10 mm
GE.00.23.105.0



Cable or busbar

For very large currents (>50A), Minisens can be used to measure the current flowing in a cable or busbar.
The position of Minisens relatively to the conductor has to be stable to avoid sensitivity variations.



Anexo 5
Datasheet del Sensor MLX91205



MLX91205

IMC-Hall® Current Sensor (Triaxis® Technology)

Features and Benefits

- ❑ Triaxis® Technology
- ❑ Very high sensitivity due to integrated magnetic concentrator (IMC-Hall®)
- ❑ Sensitive to a magnetic field parallel to the chip surface
- ❑ Linear output voltage proportional to a magnetic field
- ❑ Wideband: DC to 100kHz
- ❑ Short response time 8µs
- ❑ Low offset and offset drift
- ❑ Very low noise
- ❑ Isolated from current conductor
- ❑ Surface mount SOIC8 package

Applications Examples

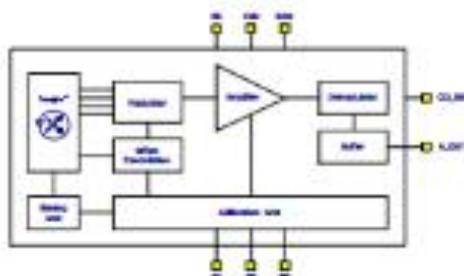
- ❑ AC and/or DC contact-less current measurement
- ❑ Wideband Magnetic Field Measurement
- ❑ Battery Management
- ❑ AC/DC Converters
- ❑ Motor Control
- ❑ Solar Power Converter (MPPT)
- ❑ Power Management

Ordering Information

Product Code	Temperature Code	Package Code	Ordering Option Code	Packing form Code	Sensitivity (Typ.)
MLX91205	K (-40°C to 150°C)	DC (SOIC)	AAH-003	TU (Tube) / RE (Reel)	100 mW/mT
MLX91205	K (-40°C to 150°C)	DC (SOIC)	AAL-003		200 mW/mT

Ordering example: MLX91205KDC-AAH-003-TU

1 Functional diagram



2 General description

The new IMC-Hall® current sensor MLX91205 is a single axis integrated magnetic sensor based on the Hall Effect. It produces an analog linear, ratio-metric output voltage proportional to the applied magnetic field parallel with the chip surface.

The circuit is fabricated using a standard CMOS process. The additional ferromagnetic layer (IMC-Hall® = Integrated Magnetic Concentrator, Triaxis® Technology) that is added in a simple post-processing step, amplifies the magnetic field and concentrates it on the Hall elements. Therefore, the circuit features very high magnetic sensitivity, low offset, and low noise.

The MLX91205 is ideally suited for current sensing in automotive and industrial environments.

There are 2 different product versions available. The 91205HB features a linear magnetic field range of $\pm 25\text{mT}$ and the 91205LB features a linear range of $\pm 10\text{mT}$. HB refers to a high magnetic field, whereas LB refers to a low magnetic field range.



MLX91205

IMC-Hall[®] Current Sensor (Triaxis[®] Technology)

3 Glossary of Terms

Gauss (G), Tesla (T): Magnetic flux density units where 1 mT = 10 G.

ADC: Analog-to-Digital Converter

TC: Sensitivity Temperature Coefficient (in ppm/Deg.C.).

Triaxis[™]: The Triaxis[™] technology refers to the Melexis Hall technology that is based on both planar and vertical (bulk & IMC) Hall plates. This technology allows the realization of Hall effect sensors able to sense the flux density along the 3 axis (i.e. X, Y & Z) as well as position sensors able to sense the magnetic vector over 360 degrees.

IMC: Integrated Magneto Concentrator. It concentrates the magnetic flux lines and bends them at the extremity under the planar Hall plate. Furthermore, it can provide some magnetic gain factor.

4 Maximum ratings

Parameter	Units
Supply Voltage, V_{DD} (overvoltage)	6V
Supply Voltage, V_{DD} (operating)	5.5V
Reverse Voltage Protection	0V
Operating Temperature Range, T_A	-40 to +125°C
Storage Temperature Range, T_S	-40 to +150°C

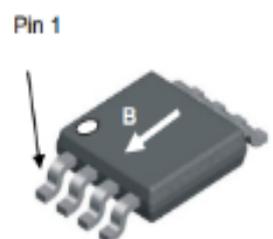
Table 1: Absolute maximum ratings

Exceeding the absolute maximum ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum rated conditions for extended periods may affect device reliability.

5 Pin definitions and descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
1	A_out	Analog Output
2	VDD	Supply
3	NC	
4	PV	Factory Programming Pin (default VDD)
5	GND	Supply Common
6	PD	Factory Programming Pin (default GND)
7	PC	Factory Programming Pin (default VDD)
8	CO_out	Common Output (VDD/2)

Table 2: Pin description MLX91205



Magnetic sensitive direction



MLX91205 IMC-Half[®] Current Sensor (Triaxis[®] Technology)

6 MLX91205 General Electrical Specifications

DC Operating Parameters $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 5.000\text{V}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Nominal Supply Voltage	Vdd		4.5	5	5.5	V
Supply Current	I _{DD}	I _{out} =0mA		11	16	mA
Common Output	CO_Out	Referring to VDD/2	-50	VDD/2	+50	mV
Output Current	I _{out}		-1		1	mA
Output Load Resistance	R _{load}		5			kΩ
Output Load Capacitance	C _{load}			1000		pF
Start-up cycle	T _s			150		μs

Table 3: Electrical specifications

7 MLX91205 Sensor Specific Specifications

7.1 91205 LB: Low Field version 10mT (marking xxL)

DC Operating Parameters $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 125°C , $V_{DD} = 5.000\text{V}$, differential output (i.e. $V_{out} = A_{out} - CO_{out}$), unloaded. Unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Magnetic Sensitivity	S ⁽¹⁾	T=25°C, B = B _L	275	280	285	V/T
Magnetic Sensitivity over Temp.	S ⁽¹⁾	T= -40, 25, 125°C; See also below 10.2	270	280	290	V/T
Thermal Sensitivity Drift	TC	T= 25°C		<+/-200		ppm/°C
Offset Voltage	V _{off}	T= 25°C	-20	0	20	mV
Offset Voltage over Temperature	V _{offT}	T= -40, 25, 125°C; See also below 11.1	-50	0	50	mV
Linear Magnetic Field Range	B _L		-7.5		7.5	mV
Fullscale Magnetic Field Range	B _{FS}			±10		mT
Non Linearity	NL	B<B _L		±0.5		%
Hysteresis	Hyst	B<100mT		<±10		μT
Max. Output Voltage Swing	V _{out,max}	B>B _{FS}	5		95	%VDD
Response Time	t _r			8		μs
Bandwidth (-3 dB) DC to	BW	R _{load} >1MΩ; C _{load} <10pF		100		kHz
Spectral Noise Density	ΔBnoise	f=10Hz to 10kHz		<125		nT/sqrt(Hz)

Table 4: Sensor specifications 10mT version (low-field version)

Note 1: Ratio-metric (proportional to V_{DD}). The absolute accuracy on magnetic sensitivity trimming is +/- 2%.

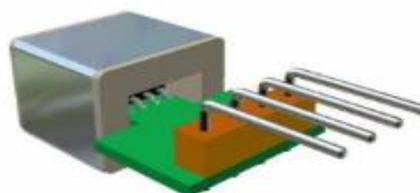


MLX91205 IMC-Half[®] Current Sensor (Triaxis[®] Technology)

12 Applications Information

12.1 Low current measurement up to ± 2 A

Low currents can be measured with the MLX91205 by increasing the magnetic field via a coil around the sensor. The sensitivity (output voltage vs. current in coil) of the measurement will depend on the size of coil and number of turns. Additional sensitivity and increased immunity to external fields can be gained by adding a shield around the coil. The bobbin provides very high dielectric isolation making this a suitable solution for high voltage power supplies with relative low currents. The output should be scaled to obtain the maximum voltage for the highest current to be measured in order to obtain the best accuracy and resolution.



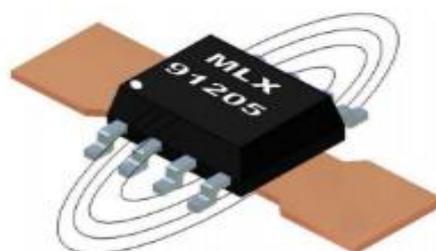
12.2 Medium current up to ± 30 A

With a single conductor located on the PCB, currents in the range of up to 30 amps can be measured. The sizing of the PCB trace needs to take into account the current handling capability and the total power dissipation. The PCB trace needs to be thick enough and wide enough to handle the RMS current continuously.

The differential output voltage for this configuration can be approximated by the following equation:

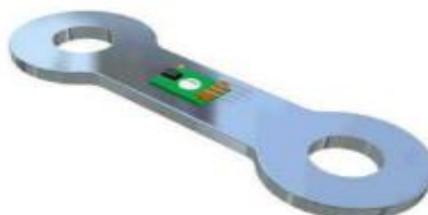
$$V_{out} = \text{typ. } 35 - 40 \text{ mV/A} \cdot I$$

For a current level of 30 A, the output will be approximately 1050 mV.



12.3 High current measurement up to ± 600 A

Another method of measuring high currents on PCB's is to use a large thick gauge copper trace capable of carrying the current on the opposite side of the PCB. The MLX91205 should be located near the centre of the trace, however because the trace is wide, the output is less sensitive to location on the PCB. This configuration also has less sensitivity due to the distance and width of the conductor.





Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Beltrán Usho Joselyne Madeleine, con C.C: # 0706574605 autora del trabajo de titulación: **“Evaluación de la precisión de sensores de corriente digitales basados en efecto hall, considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas, para aplicaciones de bajo coste de telemetría en la industria”** previo a la obtención del título de **INGENIERA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, marzo de 2016

f.

Nombre: Beltrán Usho Joselyne Madeleine

C.C: 0706574605



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación de la precisión de sensores de corriente digitales basados en efecto hall, considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas, para aplicaciones de bajo coste de telemetría en la industria.		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Beltrán Usho, Joselyne Madeleine		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Electrónica en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de marzo 2016	No. DE PÁGINAS:	103
ÁREAS TEMÁTICAS:	Telemetría Industrial, Corriente Eléctrica AC/DC		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SENSORES DE CORRIENTE, EFECTO HALL, ATMEGA328P		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En el presente proyecto de tesis se plantea evaluar el comportamiento de distintos modelos seriales de sensores de corriente digitales basados en Efecto Hall, sometiéndolos a distintas pruebas de aplicaciones. Primero veremos toda la información basada en la teoría de los sensores de Efecto Hall, en especial su aplicación para la medida de corriente eléctrica.</p> <p>Luego se verán las características de cada uno de los modelos de los sensores que se utilizarán, su forma de funcionamiento, el desarrollo del software de control que se hace respectivamente para cada modelo y el modelo esquemático de la tarjeta electrónica para este caso se utilizó programas de simulación de diseño y el programador de ATMEL para configurar tanto el microcontrolador ATMEGA328P_PDIP como los sensores.</p> <p>Finalmente se hace la evaluación de la precisión del funcionamiento de cada uno de los sensores en las aplicaciones a los que son sometidos, para de esta manera determinar su factibilidad en la medición de corriente eléctrica. El objetivo de esta evaluación es para ver la precisión de trabajo de medición de corriente que realizan los sensores considerando los efectos de la temperatura e interferencias electromagnéticas.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 072949145 / 0979375437	E-mail: joselyne.beltrán@cu.ucsg.edu.ec / jos_mad@live.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente		
	Teléfono: 0985086815		
	Ezmail: edu.mendoza@hotmail.com		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	