

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**



“Desarrollo de instrumentos de laboratorio para la asignatura de Sistema De Medición en el área de Sistemas de Adquisición de Datos que contribuya a la construcción de un aprendizaje significativo de los estudiantes en Ingeniería Electronica.”

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRONICO**

REALIZADO POR:

Br. Sergio José Estrada Castellón

Br. Javier Alberto Lira calero

Tutor:

Ing. Álvaro Antonio Gaitán.

Managua-Nicaragua.

Diciembre, 2017.

Dedicatoria

En primer lugar, queremos dedicar esta tesis a Dios por permitirnos llegar a este momento tan importante en nuestras vidas, por los triunfos y los momentos difíciles que nos han enseñado más a valorarlo cada día más. También, dedicamos esta tesis a nuestros padres quienes siempre estuvieron apoyándonos en todo momento con sus consejos, comprensión y paciencia a lo largo de todos estos años de estudio.

Agradecimientos

Es nuestro deseo como sencillo gesto de agradecimiento dedicarles este trabajo monográfico, primeramente, a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud, ser el manantial de vida y darnos lo necesario para seguir adelante día a día para lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres por habernos apoyado en todo momento por medio de sus consejos, sus valores, la motivación constante que han permitido hacernos unas personas de bien, por todo el sacrificio que hicieron por nosotros, pero más que nada, por su amor.

También, agradecemos a nuestros maestros quienes nunca desistieron al enseñarnos, aun sin importar que muchas veces no prestábamos atención a sus clases, continuaron depositando su esperanza en nosotros de formar grandes profesionales. En especial, a nuestro tutor Ing. Álvaro Gaitán por sus instrucciones, apoyo y motivación ofrecidos para la culminación de nuestros estudios profesionales.

A nuestros compañeros de carrera quienes compartíamos el mismo sueño de ser ingenieros y continuamente nos manteníamos en la lucha para lograrlo con la ayuda y apoyo mutuo, de manera especial a Jader Báez, Josemario Chávez, Néstor Ulloa, Maykel Vargas, Santiago Zambrana, Allan Hernández, Francis Vargas. También a los estudiantes de cuarto año de electrónica por participar en la implementación de nuestros instrumentos de laboratorio

No tenemos letras para seguir diciendo el gran regocijo que nos da poder terminar esta carrera en donde profesores y compañeros dejan parte de su vida, para dar vida a las ilusiones de dos niños y que hoy en día se hacen realidad, solo sé que este camino es solo el comienzo de una gran historia.

Resumen

El presente documento muestra el resultado del desarrollo de instrumentos de laboratorio para la asignatura de Sistema de medición en el área de adquisición de datos de la carrera de ingeniería electrónica. Los instrumentos consisten en 5 guías de laboratorios y 3 tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de dato están diseñadas a partir del microprocesador atmega328 y una interfaz USB para la comunicación con el ordenador. Las guías de laboratorio están elaboradas con el propósito de ser utilizadas con las tarjetas de adquisición de datos y el software Processing para que el estudiante tenga las herramientas necesarias para construir un aprendizaje significativo en los sistemas de adquisición de datos.

Abstract

This document shows the result of the development of laboratory instruments for the subject of Measurement System in the area of data acquisition of the electronic engineering career. The instruments consist of 5 laboratory guides and 3 data acquisition cards. The data acquisition cards are designed from the microprocessor atmega328 and a USB interface for communication with the computer. The laboratory guides are developed with the purpose of being used with data acquisition cards and Processing software in order to the student has the necessary tools to build meaningful learning in data acquisition systems.

Índice

Introducción.....	1
Objetivos	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Especificos.....	2
Justificación.....	3
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO	5
1.1. Sistema de adquisición de datos (Mackay, 2003).....	5
1.1.1 Transductores y Sensores (Mackay, 2003).....	7
1.1.2 Acondicionamiento de señal (Mackay, 2003).....	16
1.1.3 Hardware de adquisición de datos (Mackay, 2003).....	22
1.1.4 Software de adquisición de datos (Mackay, 2003).....	32
Capítulo 2: ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS.....	38
2.1 Etapa de Análisis.	38
2.2 Etapa de diseño.....	42
2.2.1 Tarjeta de adquisición de datos basada en el Microcontrolador 18f4550 ...	42
2.2.2 Tarjeta de adquisición de datos basada en el ATemga328.....	45
2.2.3 Diseño del circuito de acondicionamiento de señal de los sensores	48
2.2.4 Diseño de guías de laboratorio.....	61
2.3 Etapa de desarrollo.....	63
2.3.1 Desarrollo de la tarjeta de adquisición de datos.....	63
2.4 Etapa de evaluación.....	68
2.4.1 Resultados.....	71
Capítulo 3 conclusiones y recomendaciones	72
3.1 Recomendaciones	73
Referencias Bibliográficas	74
Anexos.....	A

Lista de ilustración

Ilustración 1 Diagrama funcional de un sistema de adquisición de datos basado en PC.	6
Ilustración 2 Direccion donde se ejerce presión al sensor	11
Ilustración 3 Esquema de un sensor piezo-cerámico/multicapa.....	11
Ilustración 4 Modelo Motorola de un sensor de presión	11
Ilustración 5 Sensor de presión Px26 series	12
Ilustración 6 Efecto Hall.....	13
Ilustración 7 Diagrama de bloques de un sistema con sensor de efecto de Hall	13
Ilustración 8 Sensor de corriente de efecto Hall	14
Ilustración 9 Conexión del sensor ZMCT102	15
Ilustración 10 Conexión eléctrica del sensor ZMPT101B	15
Ilustración 11 Amplificador de Instrumentación	19
Ilustración 12 Configuración básica de un puente de Wheatstone.....	20
Ilustración 13 Encapsulado 28-DIP ATmega 328.....	23
Ilustración 14 Diagrama de bloques interno Atmega 328.....	24
Ilustración 15 Niveles de Voltaje.	28
Ilustración 16 conector DB-9	28
Ilustración 17 Envío de datos del puerto RS-232C	29
Ilustración 18 logo de Processing	33
Ilustración 19 IDE de Processing.	34
Ilustración 20 interfaz inicial de Processing.....	34
Ilustración 21 estructura de un programa en Processing	35
Ilustración 22 tarjeta de adquisición de datos del Laboratorio de Automatización.	39
Ilustración 23 Laboratorio de Automatización	40
Ilustración 24 sensores de Automatización	41
Ilustración 25 sensores de humedad, corriente y voltaje.....	41
Ilustración 26 esquema del circuito la tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador 18F4550	42
Ilustración 27 esquema del circuito de la tarjeta de adquisición de datos basada en el ATmega328.....	45

Ilustración 28 simulación Puente linealizado	50
Ilustración 29 simulación puente de Wheatstone	51
Ilustración 30 circuito de acondicionamiento con amplificador de instrumentación	51
Ilustración 31 caudín y PT100	52
Ilustración 32 Circuito de acondicionamiento del sensor de temperatura	52
Ilustración 34 sensor de presión	54
Ilustración 33 Circuito amplificador de señal	54
Ilustración 35 Prueba del sensor de corriente	55
Ilustración 36 OPAM configurado como seguidor de voltaje	57
Ilustración 37 Pruebas con el sensor de voltaje	58
Ilustración 38 Circuito rectificador de voltaje	59
Ilustración 39 módulo YL-69.....	60
Ilustración 40 Diagrama del módulo YL-38	60
Ilustración 41 Pistas realizadas en Proteus.....	64
Ilustración 42 PCB con el diseño de las pistas.....	64
Ilustración 43 PCB en Acido nítrico	65
Ilustración 44 Componentes Soldados en la tarjeta	65
Ilustración 45 Pistas finalizadas de la tarjeta electrónica	65
Ilustración 46 Tarjeta electrónica dentro de una caja acrílica.....	66
Ilustración 47 Producto final ODISEO 1.0	67

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 RTD en función de la temperatura.....	10
Ecuación 2 Voltaje máximo del sensor de presión Px26 series	12
Ecuación 3 Voltaje de salida del sensor ZMCT102.....	15
Ecuación 4 Voltaje de Salida del sensor ZMPT101B	15
Ecuación 5 Voltaje de salida del Amplificador de Instrumentación	19
Ecuación 6 Voltaje de salida del Puente de Wheastone	20
Ecuación 7 temperatura de la PT100	52
Ecuación 8 voltaje de salida del amplificador de instrumentación.....	53

Ecuación 9 Despeje de RT.....	53
Ecuación 10 RT con ganancia medida en el circuito.....	53
Ecuación 11 presión.....	54
Ecuación 12 presión con variable de ganancia	55
Ecuación 13 Despeje de corriente	56
Ecuación 14 corriente que mide el sensor	57
Ecuación 15 voltaje V_{rms1}	57
Ecuación 16 Calculo de R.....	58
Ecuación 17 Calculo del voltaje de entrada	59

Lista de Tablas

Tabla 1 Material de las RTD con sus rangos de temperatura y variación	10
Tabla 2 Sumario de Amplificadores Operacionales con retroalimentación Negativa	21
Tabla 3 Presupuesto de tarjeta basada en 18F4550	43
Tabla 4 Presupuesto de tarjeta basada en ATmega328	46
Tabla 5 Prueba del sensor de corriente	56
Tabla 6 Valores de las pruebas realizadas con el sensor de voltaje	58

Introducción

En este documento se describe el desarrollo del trabajo monográfico, los objetivos planteados, incluye las herramientas teóricas que se necesitaron para la ejecución del proyecto, los resultados obtenidos a través de la aplicación de instrumentos para el proceso de desarrollo del trabajo.

En este trabajo se desarrolló un sistema de adquisición de datos que consta de una tarjeta de adquisición de datos y guías de laboratorios, este sistema de adquisición de datos permite la medición de parámetros físicos de temperatura, voltaje, humedad, presión y corriente, siendo luego visualizados los resultados de manera gráfica y legible en una computadora a través del software Processing.

Este sistema de adquisición de datos fue evaluado con el profesor que imparte la clase, adaptándose a los criterios que considero necesario para cumplir con los requerimientos de la asignatura. La tarjeta de adquisición de datos propuesta consta de una etapa de acondicionamiento de señal, una etapa de adquisición de datos y una etapa de programación.

El contenido de las guías para el desarrollo de este sistema de adquisición de datos se basó en la elaboración de los distintos acondicionamientos de señales necesarias para las variables a medir y también en la programación necesaria para la manipulación de dichas variables, con el propósito de que los estudiantes obtengan un aprendizaje significativo de los contenidos abordados en cada una de las practicas realizadas en el laboratorio, permitiendo la ampliación de conocimientos y el desarrollo de destrezas necesarias para su campo laborar.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar instrumentos de laboratorio para la asignatura de sistemas de medición en el área de sistemas de adquisición de datos de la carrera de Ingeniería Electrónica considerando el programa analítico de la asignatura, perfil de la carrera que contribuya a la construcción de un aprendizaje significativo de los estudiantes.

Objetivos Especificos

- 1) Desarrollar una tarjeta de adquisición de datos compatible con el software Processing para el procesamiento de variables físicas: temperatura, humedad, presión, voltaje y corriente.
- 2) Diseñar los circuitos de acondicionamiento de la señal que correspondan a las variables físicas: temperatura, humedad, presión, voltaje y corriente.
- 3) Diseñar y evaluar guías de laboratorio acerca de adquisición de datos tomando como referencia el funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos desarrollada y las variables a medir.
- 4) Realizar un manual de usuario de la tarjeta de adquisición de datos el cual presente su circuito electrónico, los componentes utilizados , el código de su programación, el costo aproximado para su desarrollo, las especificaciones de su correcto uso y las limitaciones de la misma.

Justificación

El laboratorio de automatización de la FEC dispone de dos tarjetas las cuales una data del año 2006 y la otra data del año 2000, ambas son de la rama de adquisición de datos perteneciente a la asignatura de sistemas de medición. Estas tarjetas poseen inconveniente con la compatibilidad de los equipos de trabajo, uno presenta ciertos fallos con los accesorios complementarios para su correcta utilización. Cabe destacar que en laboratorio de Automatización actualmente posee 1 tarjeta disponible para 30 estudiantes que corresponde un grupo de clase, debido a que la otra tarjeta se encuentra en el aula de energía renovable.

Según la entrevista realizada al jefe de departamento de electrónica, la asignatura de sistema de medición tiene una gran importancia por el desarrollo basado en la lectura de datos (variables) en los equipos modernos que ha tenido más auge en las distintas aplicaciones sofisticadas del diario vivir. Por otro lado, algunos docentes que han impartido dicha asignatura expresaron la necesidad de actualizar los instrumentos de laboratorio y de equipos para lograr un aprendizaje satisfactorio completo.

En base a los resultados de encuestas realizadas a estudiantes que han trabajado en el área de sistema de adquisición de datos en distintos proyectos de asignaturas en el periodo 2013 - 2016, el 92% de los encuestados plantearon que los laboratorios deben de estar enfocados al desarrollo de destrezas y habilidades utilizando dispositivos físicos, que permitan a los estudiantes analizar los principios que abarcan los sistemas de adquisición de datos.

Mediante esta tesis se pretende desarrollar instrumentos de laboratorios con respecto a una tarjeta de adquisición de dato flexible que permita afianzar los conocimientos de la asignatura de Sistemas de Medición a través de actividades de análisis y comprensión que demuestran los principios de funcionamientos de cada uno de los elementos de los sistemas de adquisición de datos.

También, se pretende que la tarjeta de adquisición de Datos sea compatible con un software libre en donde el estudiante tenga fácil acceso de ello y puedan así trabajar de manera óptima.

Esta tesis beneficiara a los estudiantes de ingeniería electrónica en el desarrollo y consolidación de sus conocimientos, habilidades y destrezas acerca del diseño de sistemas de adquisición de datos para aplicaciones de control y monitoreo automático de procesos y variables. Por consiguiente, los estudiantes logran un aprendizaje satisfactorio en la asignatura de sistema de medición.

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Sistema de adquisición de datos (Mackay, 2003)

Cuando las exigencias de los procesos de control fueron creciendo, se fueron desarrollando nuevos instrumentos de control. Los requerimientos industriales son actualmente el motor que puso en marcha la iniciativa para idear y llevar a cabo la fabricación de nuevos instrumentos que cumplieran con dichos requerimientos en los procesos industriales. En la actualidad, una parte importante de los sistemas de medición que interactúan con un ordenador son los sistemas de adquisición de datos.

La adquisición de datos es el proceso por el cual los fenómenos físicos del mundo real son transformados en señales eléctricas que se miden y se convierten en un formato digital para procesamiento, análisis y almacenamiento en una computadora.

En la gran mayoría de las aplicaciones, el sistema de adquisición de datos (DAQ) está diseñado no solo para adquirir datos, sino también para actuar sobre ellos. En la definición de sistemas DAQ, por lo tanto, es útil ampliar esta definición para incluir los aspectos de control del sistema total. El control es el proceso mediante el cual las señales de control digital del hardware del sistema se convocan a un formato de señal para su uso por dispositivos de control tales como actuadores y relés. Estos dispositivos luego controlan un sistema o proceso. Cuando un sistema se conoce como sistema de adquisición de datos o sistema DAQ, es posible que también incluya funciones de control.

Los elementos básicos de un sistema de adquisición de datos, como se muestra en el diagrama funcional de la Ilustración 1, son los siguientes:

-) Sensores y transductores
-) Acondicionamiento de señal
-) Hardware de adquisición de datos
-) Software de adquisición de datos

) PC (sistema operativo)

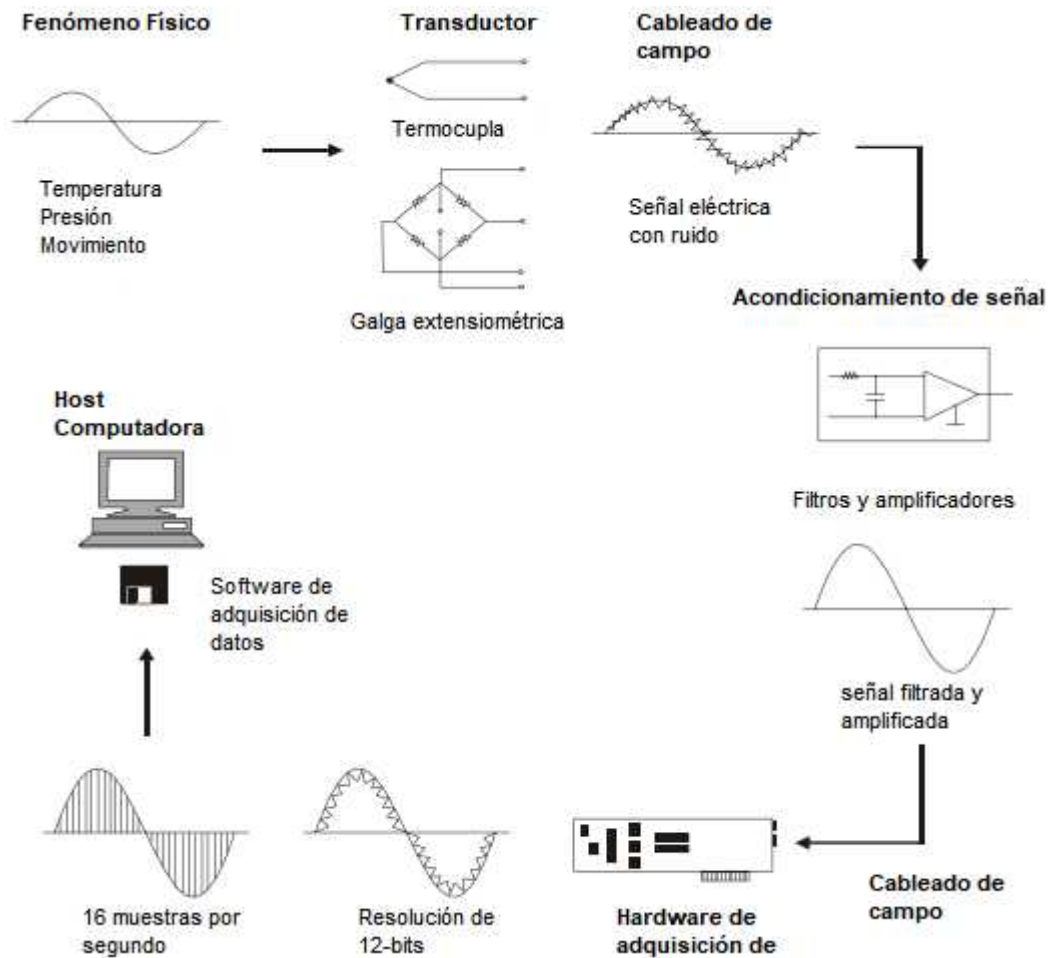


Ilustración 1 Diagrama funcional de un sistema de adquisición de datos basado en PC. Adaptado de (Mackay, 2003)

Cada elemento del sistema total es importante para la medición precisa y recopilación de datos del proceso o fenómenos físicos que se monitorean, y se discute en las siguientes secciones.

En la parte de hardware de adquisición de datos pueden utilizarse dispositivos plug-in para adquirir datos y transferirlos directamente a la memoria de la computadora. Otras utilizan algún hardware de adquisición de datos externos a la PC y que es acoplado a este mediante el puerto paralelo, serial, USB o algún otro protocolo de comunicación.

Se utiliza un software para mostrar de manera gráfica los datos obtenidos por el sistema en una computadora.

A continuación, se describirán de manera detallada cada una de las partes que componen un sistema de adquisición de datos digital basado en un ordenador.

1.1.1 Transductores y Sensores (Mackay, 2003)

Los transductores y sensores proporcionan la interfaz real entre el mundo real y el sistema de adquisición de datos mediante la conversión de fenómenos físicos en señales eléctricas que el hardware de acondicionamiento de señal y / o adquisición de datos puede aceptar (Langari & Morris, 2012).

El transductor es un dispositivo que tiene la misión de traducir o convertir una señal física en otra distinta entendible por el sistema, es decir convierte una señal no interpretable por el sistema, en otra variable interpretable por dicho sistema.

La variación de resistencia que se obtiene en el sensor es un valor directo de la temperatura, pero en los sistemas de control no trabajan con estas señales sino con tensión o intensidad por lo que, con ayuda de un transductor, esta variación de resistencia se asocia a una variación de voltaje, que también es proporcional a la temperatura (o variable que se mida en cada caso), una variación de resistencia en el sensor, es leída por el transductor, y asociada a una variación de voltaje. El transductor por tanto suele incluir al sensor (Rodríguez, 2015).

Los transductores disponibles pueden realizar casi cualquier medición física y proporcionar una salida eléctrica correspondiente. Por ejemplo, los termopares, los detectores de temperatura resistiva (RTD), los termistores y los sensores IC convierten la temperatura en una señal analógica, mientras que los medidores de flujo producen trenes de impulsos digitales cuya frecuencia depende de la velocidad del flujo.

Los medidores de deformación y los transductores de presión miden fuerza y presión respectivamente, mientras que otros tipos de transductores están disponibles para

medir desplazamiento lineal y angular, velocidad y aceleración, luz, propiedades químicas (por ejemplo, concentración de CO, pH), tensiones, corrientes, resistencias o pulsos. En cada caso, las señales eléctricas producidas son proporcionales a la cantidad física que se mide de acuerdo con alguna relación definida (Morris, 2001).

Las características necesarias de un transductor para su correcto funcionamiento en el sistema de adquisición de datos son las siguientes (Ibarra, 2007):

-) Exactitud: debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.
-) Precisión: debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
-) Rango de funcionamiento: El transductor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.
-) Velocidad de respuesta: El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.
-) Calibración: El transductor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.
-) Fiabilidad: El transductor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

1.1.1.1 Medición de Temperatura

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada. La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetalica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

Tipos de Sensores de Temperatura (Mayné, 2003)

- A) Termopares: Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico, debido a sus distintos comportamientos eléctricos.
- B) Semiconductores: Se basan en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente.
- C) Resistivos: Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Thermal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Thermal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo.

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales cuyas características se recogen en la Tabla 1. La resistencia de los RTD disponibles comercialmente se encuentra en el rango de 10 a 25000 ohmios. Las más utilizadas son las de valores de 100, 200 y 1000 ohmios de platino, denominadas PT100, PT200 y PT1000 respectivamente. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre -200°C y 850°C .

Material	Rango de Temperatura(°C)	Variación coef. (%/°C a 25°C)
Platino	-200 a 850	0.39
Níquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a 200	0.38
Níquel-acero	-200 a 260	0.46

Tabla 1 Material de las RTD con sus rangos de temperatura y variación. Adaptado de (Mayné, 2003)

El funcionamiento de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Las principales ventajas de estos sensores son que su sensibilidad son unas diez veces mayor que las de los termopares, la alta repetibilidad, estabilidad a largo plazo y exactitud en el caso del platino y el bajo coste en el caso del cobre y de níquel, que son tres de los metales empleados con esta finalidad [1].

La ecuación que define la variación de la resistencia de la RTD en función del aumento o disminución de la temperatura está dada por (Pallás, 1993):

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

Ecuación 1 RTD en función de la temperatura. Tomado de (Pallás, 1993)

Donde R_T es el valor de la resistencia a una determinada temperatura T ; R_0 es la resistencia del sensor calibrada en fábrica a $0\text{ }^\circ\text{C}$, con valor de $100\ \Omega$ y α es el coeficiente de temperatura de la RTD equivalente a $0.00385\ \text{ / } ^\circ\text{C}$.

1.1.1.2 Medición Presión (Mayné, 2003)

La presión es una fuerza que actúa en una superficie. Junto con la temperatura, constituyen las variables físicas que más frecuentemente se miden y controlan en los procesos industriales.

- A. Sensores de Presión Resistivos: Una presión sobre una membrana hace variar el valor de las resistencias montadas en puente de Wheatstone apareadas. Las Células de Carga y las Galgas Extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación del material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna (ver ilustración 2).

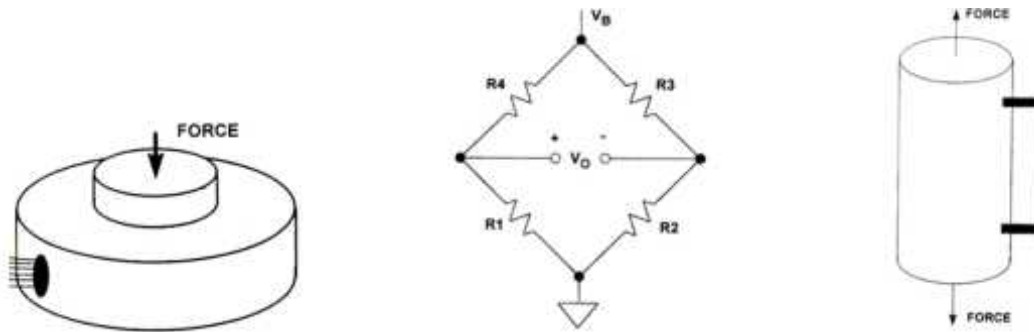


Ilustración 2 Dirección donde se ejerce presión al sensor. Tomado de (Mayné, 2003).

B. Sensores de Presión Piezo-Cerámicos/Multicapa: La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor (ver ilustración 3).

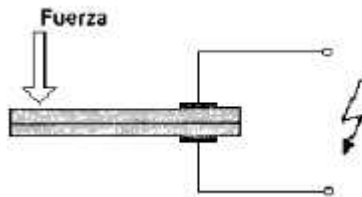


Ilustración 3 Esquema de un sensor piezo-cerámico/multicapa. Tomado de (Mayné, 2003).

C. Sensores de Presión con Semiconductores: Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor. Motorola fabrica sensores de presión con su familia MPX (ver Ilustración 4).



Ilustración 4 Modelo Motorola de un sensor de presión. Tomado de (Mayné, 2003).

Otro ejemplo de estos sensores son la serie PX26 del fabricante Omega Engineering Inc(ver Ilustración 5). El modelo PX26-030GV (30 [psig]) fabricados son dispositivos

activos con cuatro elementos piezorresistivos en un arreglo de puente de Wheatstone. De acuerdo al fabricante, estos sensores poseen una sensibilidad de 10 [mV/V]; una no linealidad de 1% en la escala completa y una desviación en la repetitividad del 0.2% (Omega Engineering Inc, s.f).

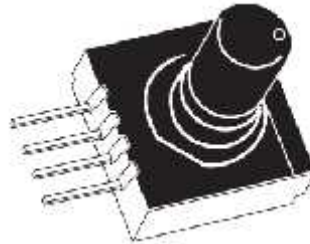


Ilustración 5 Sensor de presión Px26 series. Tomado de (Omega Engineering Inc., sin fecha)

El voltaje V_o máximo esta dado por la ecuación:

$$V_{o_{\text{máximo}}} = \text{Voltaje de polarización} * \text{Sensibilidad}$$

Ecuación 2 Voltaje máximo del sensor de presión Px26 series (Omega Engineering Inc., sin fecha)

1.1.1.3 Medición de Tensión y Corriente (Moreno, 2009)

Cuando se trata de medir tensiones o corrientes alternas a la frecuencia de la red de distribución se emplean como sensores transformadores de medida cuyo fundamento es bien conocido.

En este apartado nos vamos a dedicar a otros tipos de sensores de tensión y corriente no tan comunes y que resuelven la medida de magnitudes eléctricas que no podrían obtenerse mediante los transformadores convencionales. Se trata de los sensores basados en el efecto Hall que permiten transformar a niveles menores señales de tensión y corriente en alterna y continua además de mantener una respuesta en frecuencia plana con un ancho de banda muy amplio.

El denominado “efecto Hall” fue descubierto en 1879 por Edwin Herbert Hall mientras. Hall descubrió que cuando un conductor por el que circula una corriente eléctrica se sitúa en un campo magnético se genera una tensión perpendicular a ambos. En la

Ilustración 6 se muestra una lámina de semiconductor de espesor d a través del cual circula una corriente eléctrica I . Cuando esta corriente se encuentra sometida a un campo magnético de intensidad B , los electrones se ven sometidos a la fuerza de Lorentz apareciendo una diferencia de potencia V_H (tensión Hall).

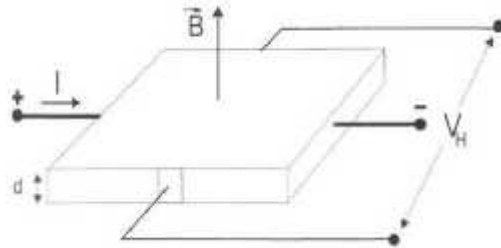


Ilustración 6 Efecto Hall. Tomado de (Moreno, 2009)

Las características más destacables de los sensores de efecto Hall son su larga vida útil, su rango de frecuencia de operación (desde continua hasta más de 100 kHz) y su amplio margen de temperatura de trabajo.

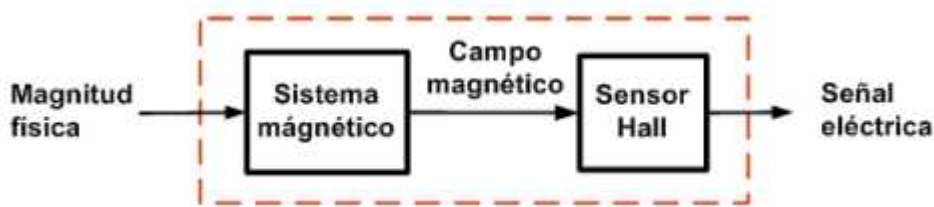


Ilustración 7 Diagrama de bloques de un sistema con sensor de efecto de Hall. Tomado de (García Pérez, 2011)

El efecto Hall se presenta en conductores y en semiconductores. Las diferencias de potencial producidas en tiras metálicas son muy pequeñas, siendo a menudo enmascaradas por el ruido. Por esto, los dispositivos comerciales usan materiales semiconductores especiales, donde el efecto Hall es más notable. En estos casos, el elemento básico es generalmente una tira de arseniuro de galio (GaAs) o de indio (InAs) la cual, cuando se polariza mediante una corriente constante y se sumerge en un campo magnético transversal a su superficie, genera un voltaje proporcional a la intensidad del campo. Este voltaje es reforzado por un amplificador operacional incorporado en el dispositivo y se procesa para proporcionar una señal de salida útil (ver Ilustración 7).

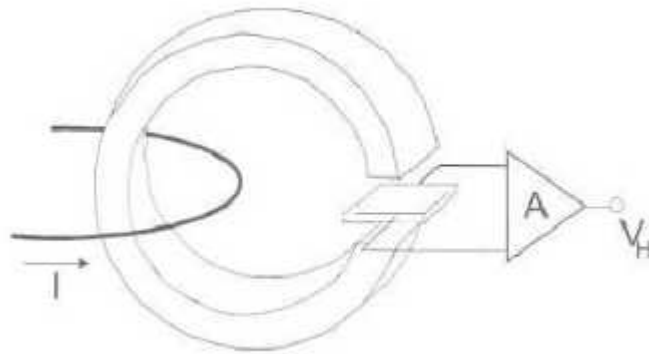


Ilustración 8 Sensor de corriente de efecto Hall. Tomado de (Moreno, 2009)

Un sensor de corriente puede realizarse mediante un núcleo de ferrita y un sensor Hall. La corriente que circula por un conductor genera un campo magnético que es conducido por el núcleo de ferrita hacia el sensor Hall. En la ilustración 8 puede observarse en esquema de una medida de corriente en bucle abierto mediante sensor Hall. La corriente a medir circula por un conductor que atraviesa el interior del núcleo de ferrita y el campo magnético generado provoca una tensión en el sensor Hall. Esta tensión tiene un valor muy bajo (μV) por lo que se dispone de una etapa de amplificación. Estos sensores de corriente tienen la ventaja de poder medir valores de continua lo que no se puede obtener con un transformador de corriente convencional. Por otra parte, la respuesta en frecuencia de un sensor de corriente de efecto Hall puede llegar a 100 KHz lo que permite medir, además de la componente fundamental de la red (60 Hz), todos los armónicos que puedan acompañarla. También se fabrican dispositivos de efecto Hall para medir tensiones.

Un sensor de corriente con este principio es el ZMCT102 (Made-in-china.com, 2017). Este sensor tiene una corriente de entrada nominal de 20 A. Su conexión consiste en agregarle una resistencia en paralelo a sus terminales (ver ilustración 9) la cual determinara la ganancia del voltaje generado (ver ecuación 3).

$$U = \frac{I}{2000} \cdot R$$

I: Corriente de entrada
R: Resistor de Muestreo
U: Voltaje de Muestreo

Ecuación 3 Voltaje de salida del sensor ZMCT102. Tomado de <http://current-transformer.en.made-in-china.com/product/oXjmAwBbMQhd/China-2000-1-20A-100ohm-5mm-Hole-0-2calss-PCB-Mounting-Current-Transformer.html>

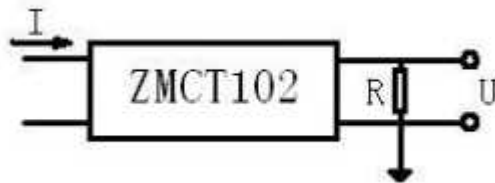


Ilustración 9 Conexión del sensor ZMCT102. Tomado de <http://current-transformer.en.made-in-china.com/product/oXjmAwBbMQhd/China-2000-1-20A-100ohm-5mm-Hole-0-2calss-PCB-Mounting-Current-Transformer.html>

En comparación al sensor de voltaje de ZMPT101B (Interplus Industry Co. Ltd, 2017). Éste es de tamaño pequeño, alta precisión, buena consistencia, para medición de voltaje y potencia. Es utilizado con un transformador convencional. En la ilustración 10 podemos apreciar las conexiones que incluyen una resistencia de entrada para limitar la corriente máxima que soporta el sensor y una resistencia en paralelo en el secundario. En la ecuación 4 podemos apreciar el cálculo del voltaje de salida y la relación directamente proporcional a R.

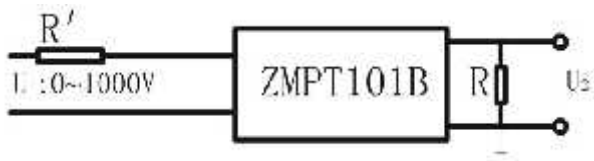


Ilustración 10 Conexion electrica del sensor ZMPT101B. Tomado de http://www.interplus-industry.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=173&lang=en

$$U_2 = \frac{U_1}{R'} \cdot R$$

Ecuación 4 Voltaje de Salida del sensor ZMPT101B. Tomado de http://www.interplus-industry.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=173&lang=en

De la ecuación anterior, tenemos que U_2 es el voltaje de salida; U_1 , es el voltaje de entrada; R' es el resistor limitador; y R , es el resistor de muestreo.

1.1.2 Acondicionamiento de señal (Mackay, 2003)

Las señales eléctricas generadas por los transductores a menudo necesitan convertirse a una forma aceptable para el hardware de adquisición de datos, particularmente el convertidor A / D que convierte los datos de la señal al formato digital requerido. Además, muchos transductores requieren alguna forma de excitación o terminación de puente para un funcionamiento correcto y preciso.

Las principales tareas realizadas por el acondicionamiento de señales son:

- Filtrado
- Amplificación
- Linealización
- Aislamiento
- Excitación

a) Filtración

En entornos ruidosos, es muy difícil que señales muy pequeñas recibidas de sensores como termopares y extensómetros (del orden de mV), sobrevivan sin comprometer los datos del sensor. Cuando el ruido es del mismo o mayor orden de magnitud que la señal requerida, primero se debe filtrar el ruido. El equipo de acondicionamiento de señal a menudo contiene filtros de paso bajo diseñado para eliminar el ruido de alta frecuencia que puede conducir a datos inexactos.

b) Amplificación

Una vez filtrada la señal de entrada requerida, debe amplificarse para aumentar la resolución. La resolución máxima se obtiene al amplificar la señal de entrada de modo que la oscilación máxima de voltaje de la señal de entrada sea igual al rango de entrada del convertidor analógico a digital (ADC), contenido en el hardware de adquisición de datos. Colocar el amplificador tan cerca del sensor como sea

físicamente posible reduce los efectos del ruido en las líneas de señal entre el transductor y el hardware de adquisición de datos.

c) Linealización

Muchos transductores, como los termopares, muestran una relación no lineal con la cantidad física que deben medir. El método de linealización de estas señales de entrada varía entre productos de acondicionamiento de señales. Por ejemplo, en el caso de los termopares, algunos productos combinan el hardware de acondicionamiento de señal con el tipo de termopar, proporcionando hardware para amplificar y linealizar la señal al mismo tiempo. El acondicionamiento de señales proporciona un método más económico, fácil y flexible productos que realizan la linealización de la señal de entrada usando software.

d) Aislamiento

El equipo de acondicionamiento de señal también se puede utilizar para proporcionar aislamiento de las señales del transductor desde la computadora donde existe la posibilidad de que se produzcan transitorios de alta tensión dentro del sistema que se está monitoreando, ya sea debido a descarga electrostática o falla eléctrica. El aislamiento protege los costosos equipos informáticos de los daños y los operadores informáticos contra lesiones. Además, cuando los niveles de voltaje en modo común son altos o existe la necesidad de una corriente de fuga en el modo común extremadamente baja, como en el caso de las aplicaciones médicas, el aislamiento permite obtener mediciones con precisión y seguridad.

e) Excitación

Los productos de acondicionamiento de señal también proporcionan excitación para algunos transductores. Por ejemplo: medidores de tensión, termistores y RTD, requieren señales de excitación de voltaje o corriente externa.

➤ Amplificador de instrumentación (Granda & Mediavilla, 2010)

El método más utilizado para combatir el ruido es incrementar la intensidad de las señales antes de su transmisión a través de los alambres. Esto se realiza frecuentemente con un amplificador llamado de instrumentación, un amplificador operacional o tan solo con transistores. A continuación, describimos características de un amplificador de instrumentación con respecto de los amplificadores operacionales.

Los amplificadores de instrumentación tienen ganancia finita. Un amplificador operacional tiene una ganancia muy grande, la cual es infinita en el caso ideal. El amplificador operacional se suele utilizar con realimentación externa para proporcionar una ganancia finita, o con otros elementos de circuito con el fin de generar otras funciones, como integradores, diferenciadores, filtros, etc. Además de una ganancia finita, el amplificador de instrumentación no proporciona estas funciones.

El amplificador de instrumentación tiene una entrada diferencial de alta impedancia. El amplificador operacional también tiene una entrada de alta impedancia. Sin embargo, cuando los elementos de realimentación se adicionan alrededor del amplificador operacional, la impedancia de entrada disminuye considerablemente. El amplificador de instrumentación tiene un rango de voltaje alto y un rechazo en modo común también alto. Aunque los amplificadores operacionales tienen rechazo y rango de voltaje en modo común, el amplificador de instrumentación es superior a la mayoría de los amplificadores operacionales.

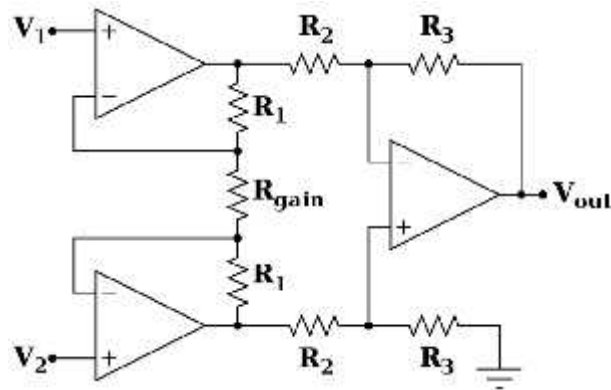


Ilustración 11 Amplificador de Instrumentación. Tomado de <http://electronicaengeneral.com/wp-content/uploads/2016/02/ampinstr.png>

En la Ilustración 11 podemos apreciar de los elementos que constituye el amplificador de instrumentación. En donde posee un R_{gain} (R_g) variable la cual se encarga de variar la ganancia. En la ecuación 5 podemos apreciar la salida del amplificador de instrumentación, tomando en cuenta que $R_2=R_3$.

$$V_o = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R}{R_G} \right), \text{ o bien } V_o = V_S G_{AI}$$

Ecuación 5 Voltaje de salida del Amplificador de Instrumentación. Tomado de (Morris, 2001)

➤ Puente de Wheastone (Mackay, 2003)

El puente de Wheastone es un circuito usado normalmente para la medición de pequeños cambios en la resistencia eléctrica mediante el equilibrio de los brazos de los puentes. Está constituido por cuatro elementos resistivos que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida, y puede estar excitado por cualquier fuente de voltaje o corriente (ver Ilustración 12). Por medio de la ecuación podemos obtener el valor de la resistencia a medir.

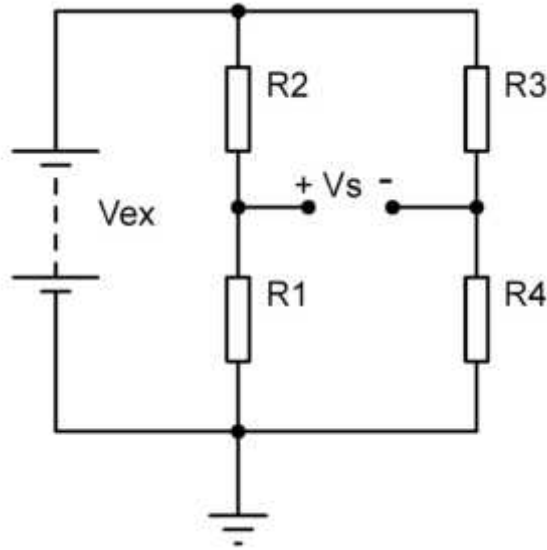


Ilustración 12 Configuración básica de un puente de Wheastone.. Elaboración propia

Cuando es excitado por un voltaje de entrada (V_{EX}), normalmente de 1V, el voltaje de salida indicado por el puente está dada por la ecuación 6, tomando en cuenta que los valores de tres de los elementos resistivos (R_3, R_4, R_2) son del mismo valor:

$$V_S = V_{EX} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

Ecuación 6 Voltaje de salida del Puente de Wheastone. (Rizo, 2014)

Si R_1 es un elemento activo, entonces un aumento en la resistencia del elemento activo R_1 provoca un aumento en el voltaje de salida. Así mismo, una disminución en su resistencia conllevará a una disminución del voltaje aplicado a la salida.

➤ Amplificador Operacional (Marquez)

Usualmente se utiliza los amplificadores operacionales en los circuitos de acondicionamiento de la señal para aumentar su potencia, además de su intensidad, para que no sufra distorsión o atenuación por el proceso de medición, sobre todo si la impedancia de entrada del circuito sensor no es suficientemente alta; esto se logra garantizando que la señal a medir tenga un nivel mínimo de potencia entregada; el acondicionamiento también incluye: paso a escala logarítmica, cambiar offset, polaridad, modulación, mayor inmunidad a ruido y estabilidad, etc.

En la tabla 2 podremos apreciar las configuraciones del amplificador operacional, el esquema correspondiente y una breve descripción de ello.

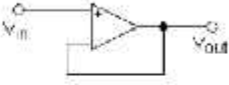
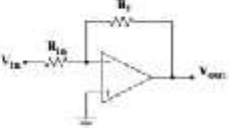
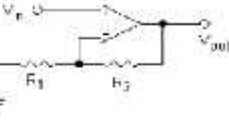
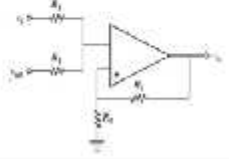
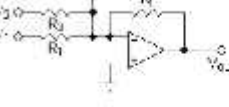
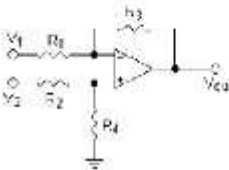
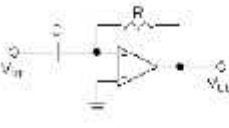
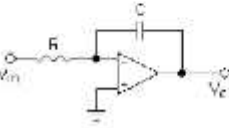
Nombre	Ganancia: $G = V_{out}/V_{in}$	Esquema	Descripción y Usos
Seguidor	$V_{out} = V_{in}$		Se usa como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa). Se puede incluir una resistencia de feedback para proporcionar algo de amplificación.
Amplificador inversor	$V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$		La señal de salida es igual a la señal de entrada (en forma) multiplicada por una constante y de signo contrario (fase invertida 180 grados).
Amplificador no inversor	$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$		Multiplica la señal de entrada por una constante.
Comparador con histéresis	$V_{out} = \begin{cases} +10V & \text{if } v_{in} > v_{ref} \\ 0V & \text{if } v_{in} = v_{ref} \\ -10V & \text{if } v_{in} < v_{ref} \end{cases}$		Este amplificador particular tiene realimentación positiva . Compara las señales de entrada, dando un valor de saturación de acuerdo a los tres casos posibles, aunque la igualdad puede no ser correctamente representada, dada pequeñas fluctuaciones. Sin histéresis, el circuito puede oscilar de forma salvaje justo en el caso $V_{in} = V_{ref}$. El ancho de histéresis es proporcional al valor de R_2 .
	$-R_f \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right]$		
Substractor	$V_{out} = \frac{(R_2 + R_1) R_4}{(R_2 + R_2) R_1} V_2 - V_1 \frac{R_2}{R_1}$		La salida es proporcional a la resta de las entradas. También es llamado amplificador diferencial.
Derivador	$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$		Es un circuito que no se suele usar en la práctica ya que no es estable. Esto se debe a que al amplificar más las señales de alta frecuencia se termina amplificando mucho el ruido.
Integrador	$V_{out} = -\int_0^t \frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial}$		El integrador no se usa en la práctica de forma discreta ya que cualquier señal pequeña de DC en la entrada puede ser acumulada en el capacitor hasta saturarlo por completo. Este circuito se usa de forma combinada en sistemas retroalimentados que son modelos basados en variables de estado (valores que definen el estado actual del sistema) donde el integrador conserva una variable de estado en el voltaje de su capacitor.

Tabla 2 Sumario de Amplificadores Operacionales con retroalimentación Negativa. Tomado de (Marquez)

1.1.3 Hardware de adquisición de datos (Mackay, 2003)

El hardware de adquisición y control de datos (DAQ) se puede definir como el componente de un sistema completo de adquisición y control de datos, que realiza cualquiera de las siguientes funciones:

-) La entrada, el procesamiento y la conversión a formato digital, utilizando ADC, de datos de señal analógica medidos desde un sistema o proceso: los datos se transfieren a una computadora para su visualización, almacenamiento y análisis.
-) La entrada de señales digitales, que contienen información de un sistema o proceso.
-) El procesamiento, conversión a formato analógico, utilizando DAC, de señales digitales de la computadora: las señales de control analógicas se utilizan para controlar un sistema o proceso.
-) La salida de señales de control digital

El hardware de adquisición de datos está disponible en muchas formas de diferentes fabricantes. Las placas de bus de expansión conectables, que están conectadas directamente al bus de expansión de la computadora, son un elemento comúnmente utilizado de hardware DAQ. Otras formas de hardware DAQ son registradores y controladores inteligentes independientes, que se pueden monitorear, controlar y configurar desde la computadora a través de una interfaz RS-232 o USB y, sin embargo, se pueden dejar para que funcionen independientemente de la computadora.

Otro elemento comúnmente utilizado de hardware DAQ es el instrumento autónomo remoto que puede ser configurado y controlado por la computadora, a través de la interfaz de comunicación IEEE-488.

1.1.3.1 Atmega328 (microchip, s.f)

El ATmega328 es un chip microcontrolador de la firma Atmel (ahora adquirida por Microchip) y está basado en la arquitectura AVR, AVR es una arquitectura basada en RISC (computadora con conjunto de instrucciones reducidas). El ATmega 328 contiene 32 KB ISP flash una memoria con la capacidad de leer mientras escribe, 1KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/ contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interfaz serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6 canales de 10 bits conversor A/D programable con oscilador interno y cinco modos de ahorro de energía seleccionables mediante software(ver Ilustración 13). El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. Por medio de la ejecución de poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza una respuesta de 1 MIPS, balanceando consumo de energía y velocidad de proceso.

La disposición de pines del encapsulado 28-DIP es la siguiente:

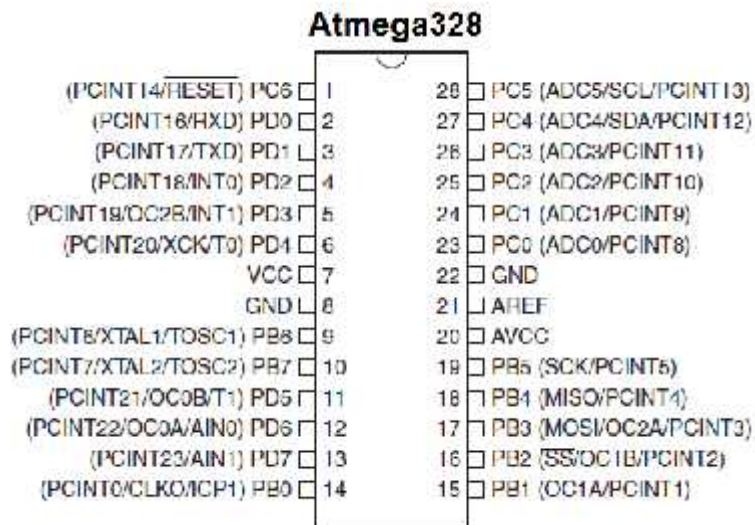


Ilustración 13 Encapsulado 28-DIP ATmega 328. Tomado de <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Atmega328-pinout.php>

Como podemos ver en la figura anterior, tenemos 3 puertos (B, C y D) donde estos poseen múltiples configuraciones, como por ejemplo el PC4 donde hacemos referencia al puerto C pin número 4 que aparte de funcionar como una entrada o salida, puede funcionar como un canal multiplexado del ADC (en este caso el canal 4) también funciona como uno de los pines de la interfaz I2C (en este caso el SDA) y también como interrupción (en este caso como PCINT12).

El microcontrolador puede ser configurado de múltiples maneras y puede configurar sus pines de diferentes maneras según su hardware se lo permita, claro que también podremos realizar algunos protocolos por software y asignarlo a pines que no están dedicados, por ejemplo podríamos tener un pin SDA en un pin PB5 , que no posee esta propiedad por hardware pero podríamos hacer la trama por software y utilizarlo, lo que no podemos hacer es usar este PB5 como un canal ADC ya que es una propiedad intrínseca del microcontrolador.

En la Ilustración 14 se muestra el diagrama de bloques interno del Atmega 328 con todos sus bloques y configuraciones internas para manipular vía firmware.

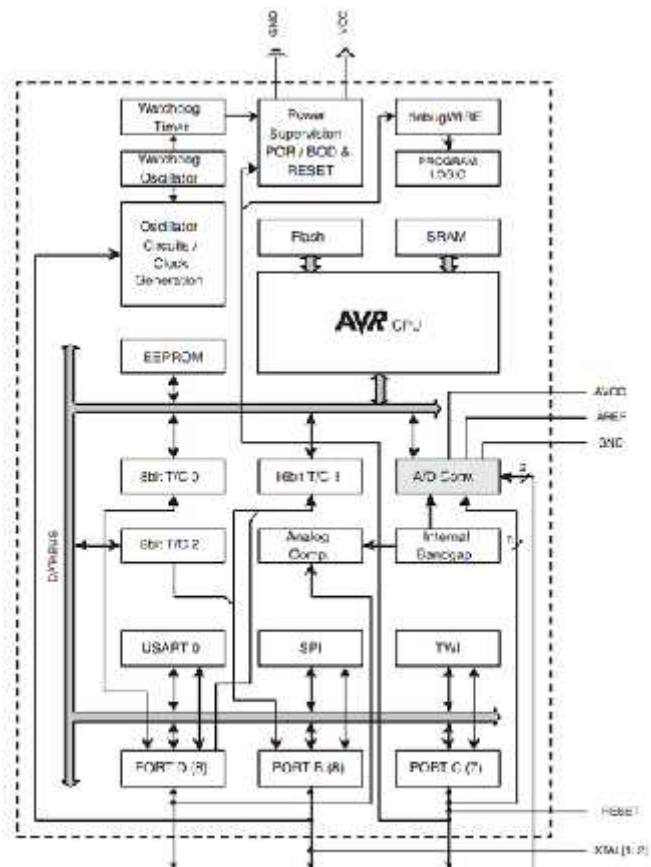


Ilustración 14 Diagrama de bloques interno Atmega 328. Tomado de <http://3.bp.blogspot.com/q2TsRZDHkWO/VMpJRpRY6xl/AAAAAAAAFaw/0xzU9ZN-5uY/s1600/diagrama%2Bmicro.jpg>

1.1.3.2 Convertidor analógico-digital (Ibarra, 2007)

Los conceptos de analógico y digital se conocen desde hace bastantes años. La mayoría de la información existente es la analógica, lo que significa que sufre una variación continua en amplitud a lo largo del tiempo.

No ocurre lo mismo con la información digital, ya que es bastante difícil encontrarla en la naturaleza y, posiblemente los pocos pasos que encontremos pueden llevar a confusión. Sin embargo, podemos poner como ejemplos lleno y vacío, vida y muerte, que son valores perfectamente diferenciados y solos admiten un número finito de estados en un intervalo finito de tiempo.

Las señales eléctricas utilizables de la mayoría de los transductores son analógicas por naturaleza, y si dichas señales se requieren procesar con equipo digital, es necesario convertir la información original en digital, de ahí que el uso y diseño de un CAD sea de primera importancia para las aplicaciones en ingeniería que usen y diseñen instrumentos digitales. Los CAD son normalmente el enlace entre el transductor y el procesador digital y son casi la única fuente de errores en un instrumento digital de aquí que la calidad del CAD normara la calidad final del equipo.

La información digital es una forma práctica de reflejar el comportamiento de la naturaleza de una manera sencilla. El proceso de extraer la información digital de la analógica es la denominada conversión analógico- digital. Y como va a ser una información digitalizada vendrá expresada con 0 y 1, ya que los encargados de tratarla serán los microprocesadores.

El funcionamiento de la conversión analógico- digital estriba en que la información analógica no es directamente manipulable, ni procesable, mediante sistemas digitales o a través de un ordenador, pero sí lo son las señales digitales que pueden almacenarse indefinidamente y más aún pueden incluso reproducir la señal analógica sin error apreciable. Como ejemplo más destacable en la actualidad, es la

técnica de grabación digital, donde las señales analógicas que es la voz, en un proceso previo, será sometida a muestreo y transformada en lenguaje binario. Los unos y ceros que se obtienen en esta acción serán los que posteriormente se grabarán sobre un disco.

En resumen, aunque existe una gran diversidad de tipos o familias de conversores analógicos- digitales y todos ellos han de cumplir las tres fases citadas anteriormente:

-) Muestreo
-) Cuantificación
-) Codificación

1.1.3.3 Comunicación (Tocci, Widmer, & Moss, 2007)

La transmisión de datos es aquella parte de la telecomunicación que se ocupa de la transmisión de señales digitales entre dos dispositivos conectados por un medio de transmisión directo. Considerar en particular solamente el uso de señales digitales no implica ninguna limitación en el proceso de comunicación, puesto que cualquier señal analógica se puede representar con el grado de precisión deseado por una señal digital.

De manera que con el término “datos” es posible referirse bien a información cuya representación natural es una señal analógica (una señal que a lo largo del tiempo toma valores en cierto rango de manera continua, como es el caso de las señales de voz o video) o bien a un mensaje de inherente naturaleza digital (como una secuencia de caracteres de un texto). Tradicionalmente, el termino datos se reserva para esta última clase de información, pero la distinción resulta ya obsoleta.

Esta es una importante etapa de los sistemas de adquisición de datos ya que es el enlace de comunicación ente el hardware de adquisición de datos y la PC. En esta comunicación se transmiten las señales que ya han pasado por los transductores,

acondicionadores de señal y el hardware de adquisición para que puedan ser tratadas y desplegadas en la PC.

En la transmisión de datos entre el hardware de adquisición y el ordenador pueden ocuparse diversas maneras de comunicación entre las cuales explicaremos las siguientes:

➤ Comunicación paralela (Tocci, Widmer, & Moss, 2007)

Todos los bits del dato se transfieren simultáneamente. Emisor y receptor se conectan por medio de n circuitos idénticos, que se utilizan simultáneamente para transmitir, en el caso de emplear transmisión binaria, un bit por cada uno de ellos durante cada intervalo de señalización. A este conjunto de circuitos operando en paralelo se le suele denominar bus cuando sirve para interconectar bidireccionalmente más de dos dispositivos y entonces, si la transmisión es binaria, n se conoce como la anchura del bus en bits. Así por ejemplo los diversos subsistemas de un ordenador (memoria, procesador, periféricos de entrada/salida) se interconectan entre si habitualmente con varios sistemas de transmisión tipo bus para posibilitar la transferencia de información directa entre ellos. En general, se adopta la técnica de transmisión en paralelo cuando la distancia entre las entidades que intercambian información es del mismo orden que el tamaño de los dispositivos transceptores (de lo contrario aparecen problemas debidos a la perdida de sincronización entre los distintos circuitos) y se precisa un elevado caudal de transferencia.

➤ Comunicación serie (Tocci, Widmer, & Moss, 2007)

La comunicación serial es un protocolo desarrollado para la comunicación de dispositivos sencillos, ampliamente utilizado debido a la facilidad de comunicación y las ventajas en coste que representa. Hace uso de conectores de tipo DB-25, sin embargo, es común observar dispositivos con conectores de tipo DB-9, de 9 pines debido a su menor costo. (Comunicacion serial : Conceptos Generales, 2014)

El interfaz eléctrico utiliza una conexión eléctrica asimétrica con circuitos no equilibrados, todos referenciados a tierra. Los estados lógicos son definidos por los siguientes niveles de voltaje (ver Ilustración 15).

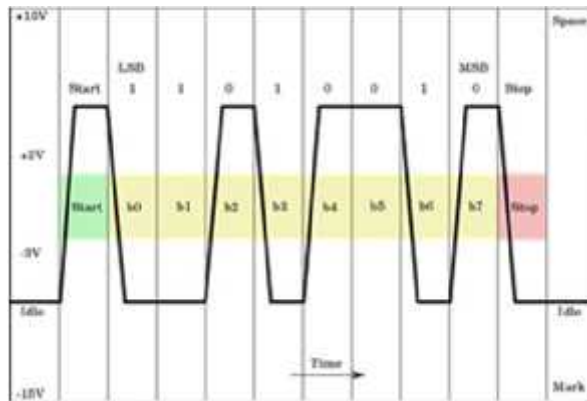


Ilustración 15 Niveles de Voltaje. Tomado de <http://perso.wanadoo.es/pictob/imagenes/comser30.jpg>

Como puede observarse, el estándar considera uno lógico a todo valor de voltaje entre 5 y 12 volts, y un cero lógico a aquellos valores entre 5 y 12 volts positivos, con una zona de transición (zona de operación prohibida) de 5 a -5 volts (ver Ilustración 16).

La interfaz se utiliza a una razón de menos de 20Kbps para una distancia menor de 15m. En la práctica se pueden exceder estos límites utilizando cables de baja capacidad en entornos eléctricamente poco ruidosos.

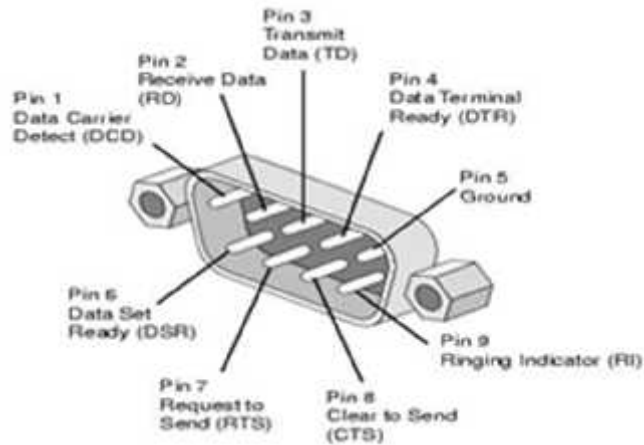


Ilustración 16 conector DB-9. Tomado de: <https://www.db9-pinout.com/db9-pinout/db9-pinout.gif>

La transferencia de información binaria básicamente se da en dos formas: la paralela y serial. La comunicación paralela transmite todos los bits de un dato de manera simultánea, por lo tanto, la velocidad de transferencia es rápida; sin embargo, tiene la desventaja de utilizar una gran cantidad de líneas volviéndolo más costoso y además tiende a atenuarse a grandes distancias debido a la capacitancia entre conductores, así como a sus parámetros distribuidos. Por otra parte, la comunicación serial transmite bit por bit la información por lo que más lenta, pero con la ventaja que utiliza menos hilos y puede extenderse a mayores distancias.

Existen dos tipos de comunicaciones seriales: síncrona y asíncrona. En la comunicación serial síncrona, se utiliza una línea sobre la cual se transmitirán los datos y adicionalmente se necesita de una línea que contendrá los pulsos de reloj que indicaran cuando un dato es válido; como ejemplos de este tipo se tiene: I2C, ONE WIRE, SPI. En la comunicación serial asíncrona no es necesario los pulsos de reloj, la duración de cada bit está determinada por la velocidad con la cual se realiza la transferencia de datos (Tocci, Widmer, & Moss, 2007).

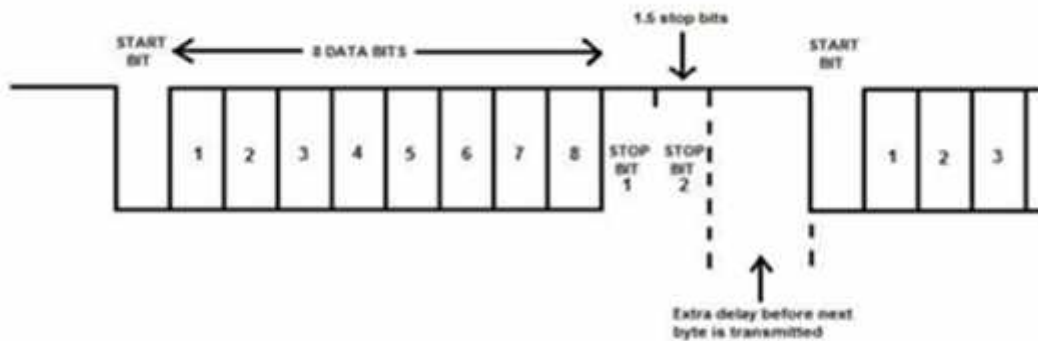


Ilustración 17 Envío de datos del puerto RS-232C tomado de: https://www.mac-usb-serial.com/docs/_images/SerialSignal.jpg

Normalmente cuando no se realiza ninguna transferencia de datos, la línea del transmisor se encuentra en estado idle, quiere decir en estado alto (Ver Ilustración 17). En los microcontroladores para representar un 0 lógico se trabaja con voltajes inferiores a 0.8 v, y para un 1 lógico con voltajes mayores a 2.0 v. En general cuando se trabaja con familias TTL y CMOS se asume que un "0" lógico es igual a cero voltios

y un "1" lógico es igual a cinco voltios. La importancia de conocer esta norma, radica en los niveles de voltaje que maneja el puerto serial del ordenador, por ello son diferentes a los que utilizan el micro controladores y los demás circuitos integrados. Por lo tanto, se necesita de una interface que haga posible la conversión de los niveles de voltaje a los estándares manejados por los C.I. y TTL para que sean compatibles.

Los modos de transmisión se clasifican en los siguientes:

-) Simplex: la transmisión se realiza en un solo sentido, es decir ya sea solo para transmitir o solo para recibir, pero no ambos.
-) Half-duplex: transmiten ambos equipos, pero no simultáneamente. Los equipos se alternan en la transmisión, uno transmite mientras el otro recibe.
-) Full-dúplex: la transmisión puede ocurrir en ambos sentidos y al mismo tiempo, ambos equipos transmiten simultáneamente. Para ello se requieren dos líneas independientes, transmisión y recepción; la línea de transmisión de un equipo se conecta a la entrada de recepción del otro y viceversa. Los puertos serial del PC son capaces de utilizar este modo.

➤ Comunicación USB (Tocci, Widmer, & Moss, 2007)

Universal serial bus (USB) es una interfaz entre la pc y ciertos dispositivos tales como teclados, mouse, scanner, impresoras, módems, placas de sonido, cámaras, entre otros.

Una característica importante es que permite a los dispositivos trabajar a velocidades mayores, en promedio a unos 12Mbps, esto es más o menos 3 a 5 veces más rápido que un dispositivo de puerto paralelo y de 20 a 40 veces más rápido que un dispositivo de puerto serial.

Trabaja como interfaz para transmisión de datos y distribución de energía, que ha sido introducida en el mercado de PC's y periféricos. Esta interfaz de 4 hilos, distribuye 5V para alimentación, transmite datos y está siendo adoptada rápidamente por la industria informática.

El controlador USB distribuye testigos por el bus. El dispositivo cuya dirección coincide con la que porta el testigo responde aceptando o enviando datos al controlador. Este también gestiona la distribución de energía a los periféricos que lo requieran.

Emplea una topología de estrellas apiladas que permite el funcionamiento simultáneo de 127 dispositivos a la vez. En la raíz o vértice de las capas, está el controlador anfitrión o host que controla todo el tráfico que circula por el bus lógico sin que los dispositivos que se encuentran más abajo en la pirámide sufran retardo. A diferencia de otras arquitecturas, USB no es un bus de almacenamiento y envió, de forma que no se produce retardo en el envió de un paquete de datos hacia capas inferiores.

1.1.3.4 Convertidor FT232RL USB a serial

El FT232RL es un módulo con un convertidor de USB a Serial (UART del CI), esta tarjeta cuenta con un pin DTR, el pin DTR permite auto establecer el microcontrolador cuando un sketch nuevo es descargado sin tener que reestablecer el microcontrolador a través de un pulso enviado al pin de reinicio, el convertidor FT 232RL posee un tablero con 2 LEDs para RX y TX para ver el trafico serial y verificar si la tarjeta está funcionando.

1.1.4 Software de adquisición de datos (Mackay, 2003)

Esta etapa va de la mano de la PC, ya es la que determina la manera en que se visualizaban y trataban los datos provenientes del Hardware de adquisición de datos. El hardware de adquisición de datos no funciona sin software, porque es el software que se ejecuta en la computadora para transformar el sistema en un sistema completo de adquisición, análisis, visualización y control de datos.

El software de aplicación se ejecuta en la computadora con un sistema operativo que puede ser de una sola tarea (como DOS) o multitarea (como Windows, Unix, OS2), lo que permite que se ejecute más de una aplicación simultáneamente.

El software de la aplicación puede ser un panel interactivo de pantalla completa, un programa de control de entrada / salida dedicado, un registrador de datos, un controlador de comunicaciones o una combinación de todos estos.

Hay tres opciones disponibles, con respecto al software requerido, para programar cualquier hardware del sistema:

-) Programar los registros del hardware de adquisición de datos directamente
-) Utilizar software de controlador de bajo nivel, generalmente provisto con el hardware, para desarrollar una aplicación de software para las tareas específicas requeridas
-) Utilizar software de aplicación estándar: este puede ser software de aplicación, provisto con el hardware en sí, que realiza todas las tareas requeridas para aplicación particular; alternativamente, paquetes de terceros como LabVIEW y Labtech Notebook proporcionan una interfaz gráfica para programar tareas requeridas para un elemento de hardware en particular, así como proporcionar herramientas para analizar y visualizar los datos adquiridos

Dentro del software existente para realizar estas labores se encuentran los programas proporcionados por las diferentes compañías de instrumentación y que acompañan a sus productos de adquisición de datos, tales como National Instruments, Hewlet Packard o Advantech. También contamos con herramientas que compiten en el terreno educativo de la programación visual como MyOpenLab, LabVIEW y Processing, sin embargo, podemos desarrollar nuestros propios programas y software utilizando diversos lenguajes de programación tales como visual Basic, C, java, etc.

1.1.4.1 Processing (Introducción a Processing, 2014)



*Ilustración 18 logo de Processing
tomado de: <https://processing.org>*

Processing (Ver Ilustración 18) es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo basado en java, de código abierto y bajo una licencia GNU GPL. Se inició en 2001 en el MIT Media Lab por Ben Fry y Casey Reas a partir de reflexiones en el Aesthetics and Computation Group del MIT.

Uno de los objetivos declarados de Processing es el de actuar como herramienta para que artistas, diseñadores visuales y miembros de otras comunidades ajenos al lenguaje de la programación, orientado para crear imágenes, animaciones e interacciones, para hacer la adquisición de datos en sistemas visualmente atractivos, así como también es útil para enseñar el contexto de las artes visuales, creando de esta manera proyectos de calidad.

Processing dispone de un IDE propio desarrollado en Java, es sencillo y fácil de usar, suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

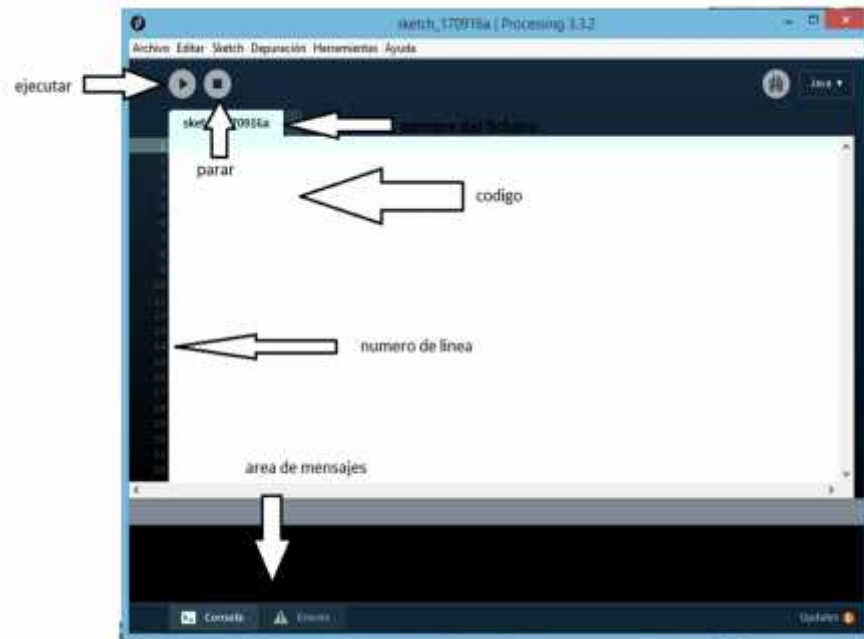


Ilustración 19 IDE de Processing. Elaboración propia

Cuando guardamos una aplicación se genera un directorio con ese nombre y el fichero de la aplicación se almacena dentro con la extensión .pde.

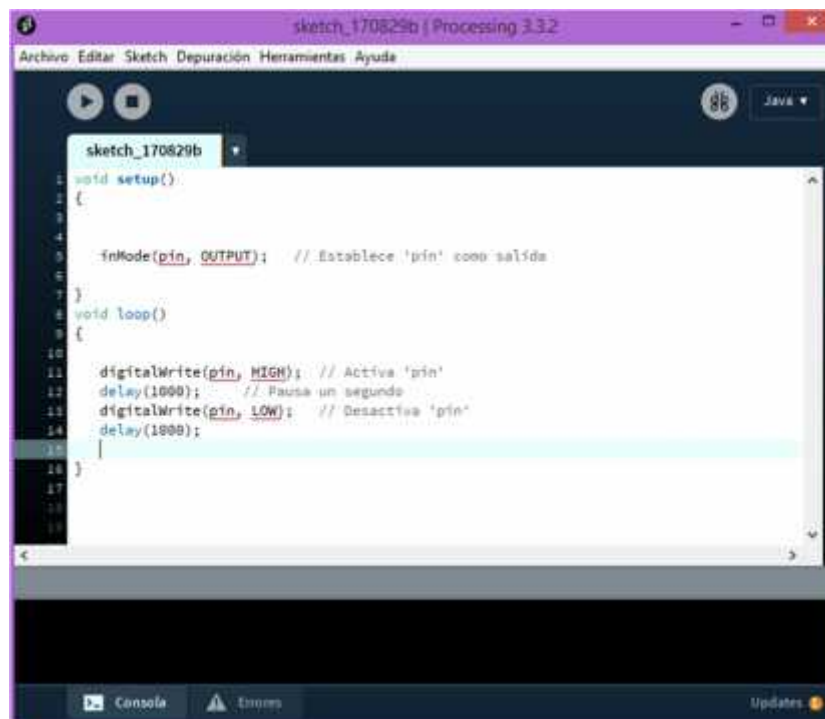
Para abrir un proyecto bastara con abrir cualquier .pde del interior del directorio. Run y Stop permiten iniciar la ejecución y finalización de la aplicación.



Ilustración 20 interfaz inicial de Processing. Elaboración propia

Export permite generar un “applet” de la aplicación. La opción del menú “Export Application” permite generar una aplicación lista para ejecutarse en Mac OS, Linux o Windows. Todo esto se genera en directorios dentro del directorio principal de la aplicación. El directorio “Sketchbook” es el directorio por defecto para el usuario pero se puede almacenar las aplicaciones en cualquier directorio.

La estructura básica de programación de processing es bastante simple y divide la ejecución en dos partes: setup y loop. Setup() constituye la preparación del programa y loop() es la ejecución. En la función Setup() se incluye la declaración de variables y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función se ejecuta una única vez y es empleada para configurar el pinMode (p. ej. si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación serie. La función loop() incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas, etc.).



```
sketch_170829b (Processing 3.3.2)
Archivo Editar Sketch Depuración Herramientas Ayuda

sketch_170829b
1 void setup()
2 {
3
4   pinMode(pin, OUTPUT); // Establece 'pin' como salida
5
6 }
7
8 void loop()
9 {
10
11   digitalWrite(pin, HIGH); // Activa 'pin'
12   delay(1000); // Pausa un segundo
13   digitalWrite(pin, LOW); // Desactiva 'pin'
14   delay(1000);
15 }
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

Ilustración 21 estructura de un programa en Processing. Elaboración propia

1.1.4.2 Firmata (*Librería FIRMATA, 2017*)

Firmata es un protocolo genérico para la comunicación con microcontroladores desde software instalado en un ordenador. Este protocolo se puede implementar en cualquier arquitectura de microcontroladores, así como en cualquier paquete de software. El objetivo primordial de este protocolo es hacer que el microcontrolador sea una extensión de nuestro entorno de desarrollo. Fue diseñado para ser abierto y flexible para que pueda ser soportado por cualquier lenguaje de programación, también debe ser simple de implementar en el microcontrolador y en el ordenador.

Firmata fue creado en el 2006 como una demo para Arduino por Hans-Christoph Steiner. Cuando se trabaja con microcontroladores, siempre es necesario disponer de un ordenador y un cable para la comunicación serie con los microcontroladores. Estos son utilizados para capturar información a través de los sensores y actuar en consecuencia con los dispositivos conectados. En este caso se hace necesario un protocolo serie que permita comunicar el microcontrolador y el ordenador.

Existen varios tipos de protocolos de comunicaciones, protocolos ASCII, Open Sound Control, Gainer, USB HID, MIDI, SLIP, etc. El protocolo Firmata se basa en la representación de la API de Arduino (comandos del lenguaje) y los tipos de datos que se transfieren entre la placa y el ordenador. Está enfocado en la facilidad de uso aunque esto conlleve un peor rendimiento. El protocolo MIDI fue elegido como el núcleo central de Firmata debido a su eficiencia, su facilidad y por la gran cantidad de implementaciones existentes de libre acceso. Firmata implementa solo el formato de mensajes de MIDI.

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) es un protocolo, interfaz digital y conectores que se utilizan para comunicar y conectar ordenadores, instrumentos musicales eléctricos y otros dispositivos entre sí.

El protocolo MIDI utiliza unos mensajes estándar para la comunicación. En el caso de Firmata estos mensajes han sido sustituidos y se creó un nuevo conjunto de mensajes tanto para los tipos de datos (analógicos y digitales) como para los mensajes de control (pinMode digitalWrite, etc.). Esto hace posible representar la API de Arduino usando mensajes de Firmata.

Gracias a su condición de código abierto, se han implementado diferentes versiones que dan soporte a multitud de funcionalidades de los microcontroladores. La versión original es la Standard_Firmata.

Capítulo 2: ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS

En este capítulo se abordó la metodología utilizada en el diseño y desarrollo de los instrumentos de laboratorio en el área de adquisición de datos, también todos los componentes que conforman este proyecto. Según nuestro criterio hemos evaluado algunas tecnologías de bajo costo existentes en el mercado internacional utilizando como principal criterio el uso de Hardware de bajo costo y Software libre. También se describen todos los procesos que fueron necesarios para la elaboración de los instrumentos de laboratorio, luego se detalla la ejecución del trabajo propuesto para la evaluación de las guías de laboratorio diseñadas.

2.1 Etapa de Análisis.

En esta etapa se realizó una entrevista al actual docente de la asignatura de sistema de medición Ing. Álvaro Antonio Gaitán con el fin de obtener los requerimientos de una tarjeta de adquisición de dato para el uso de los estudiantes en la asignatura, además, la elección de los principales contenidos de la rama de adquisición de dato.¹

Los parámetros que el docente estableció para la realización del proyecto fueron los siguientes:

- a) Las tarjetas de adquisición de datos no se deben de programar.
- b) Los dispositivos conectados a las salidas digitales de las tarjetas deben de tener una alimentación distinta a la del microcontrolador.
- c) Las tarjetas deben de contener, salidas digitales, salidas PWM y al menos cuatro canales analógicos.
- d) El contenido en las guías de laboratorio debe estar relacionado con el contenido de la clase.

¹ Ver Anexo A

Se realizó una entrevista al encargado del laboratorio de automatización de la FEC donde se refleja que solo dispone de dos tarjetas de adquisición de datos, una data del año 2006 (ver ilustración 22) y la otra del año 2000, las cuales poseen inconveniente con la compatibilidad de los equipos de trabajo, una presenta ciertos fallos con los accesorios complementarios para su correcta utilización.²



Ilustración 22 tarjeta de adquisición de datos del Laboratorio de Automatización.

En la entrevista realizada a MSc. María Virginia Moncada quien en años atrás impartió la clase de sistemas de medición , refleja que se requiere actualizar el equipo y las guías de laboratorio en función del programa, tomando en cuenta parámetros como software libre y hardware menos comercial , apoyando también la elaboración de tarjetas de adquisición de datos.³

Se entrevistó al jefe de departamento de Ingeniería electrónica Ing. Francisco Galo Montenegro quien dio una respuesta positiva hacia la importancia de la asignatura de sistemas de medición y recomienda mejores equipos y software actualizados para mejorar las destrezas de los estudiantes en el área de adquisición de datos.⁴

² Ver Anexo B

³ Ver Anexo C

⁴ Ver Anexo D

Se realizaron 27 encuestas en línea a los estudiantes de ingeniería electrónica de la universidad nacional de ingeniería con el objetivo de obtener información relacionada a la unidad de adquisición de datos de la asignatura de sistemas de medición, estas encuestas nos mostraron que casi el 60% de los estudiantes había trabajado con un sistema de adquisición de datos en su mayoría en la clase de sistemas de medición utilizando software como Labview y MyOpenLab, y hardware como ARDUINO, todos los encuestados estipularon que les gustaría conocer más sobre los sistemas de adquisición de datos, algunos argumentaron su repuesta con el hecho de que los sistemas de adquisición de datos en tiempo real son necesarios en las industrias y otros argumentaron que deseaban adquirir nuevos conocimientos que contribuyeran a una mejor formación como ingenieros.

Se observó también que a todos los estudiantes encuestados les gustaría fortalecer los conocimientos a través de prácticas en el área de adquisición de datos con un hardware flexible que les permita desarrollar sus habilidades, algunos estudiantes hicieron hincapié en que es necesario desarrollar una tarjeta para dicho fin y realizar prácticas de laboratorios dedicadas al uso de la tarjeta.⁵

Por último, se realizó una visita al laboratorio de automatización para ver las condiciones y las herramientas que posee el laboratorio para las prácticas de adquisición de datos.



Ilustración 23 Laboratorio de Automatización

⁵ Ver Anexo E

En la ilustración 24 se pueden observar los sensores que posee el laboratorio de automatización, sensor de temperatura PT100, termocupla y sensor de presión PX26 por lo que fue necesario comprar nuevos sensores para desarrollar todas las guías de laboratorio. Ver ilustración 25



Ilustración 24 sensores de Automatización

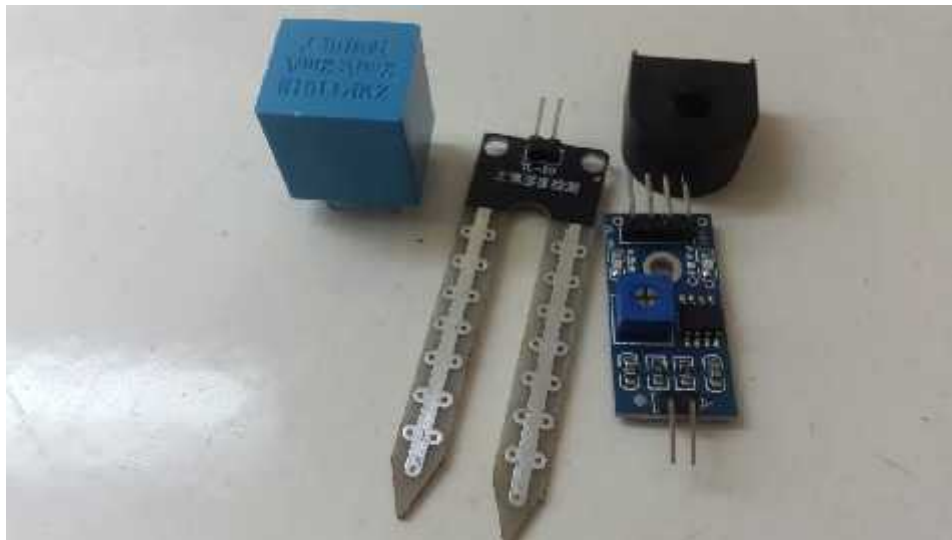


Ilustración 25 sensores de humedad, corriente y voltaje

2.2 Etapa de diseño

En esta etapa se realizó indagación exhaustiva sobre las diferentes tecnologías que utilizan las tarjetas de adquisición de datos, así también como los software dedicados a la adquisición de datos, durante este estudio se determinaron cuáles eran los adecuados componentes para desarrollar una tarjeta de adquisición de datos que cumpliera con los requerimientos necesarios y también los posibles software que utilizaríamos para el desarrollo de las interfaces graficas que se realizarían en las guías, surgiendo dos propuestas para el desarrollo de este proyecto.

A continuación se presentan las dos propuestas que se concibieron con los distintos componentes que encontramos, cabe destacar que en cada una de las propuestas se pretendía mantener un diseño con bajo costo.

2.2.1 Tarjeta de adquisición de datos basada en el Microcontrolador 18f4550

Esta propuesta consistía en una tarjeta de adquisición que utilizaba un microcontrolador 18f4550 con las siguientes prestaciones:

- 8 entradas analógicas con resolución de 10 bits
- 8 entradas digitales
- 8 salidas digitales
- Comunicación USB (emulando RS-232)

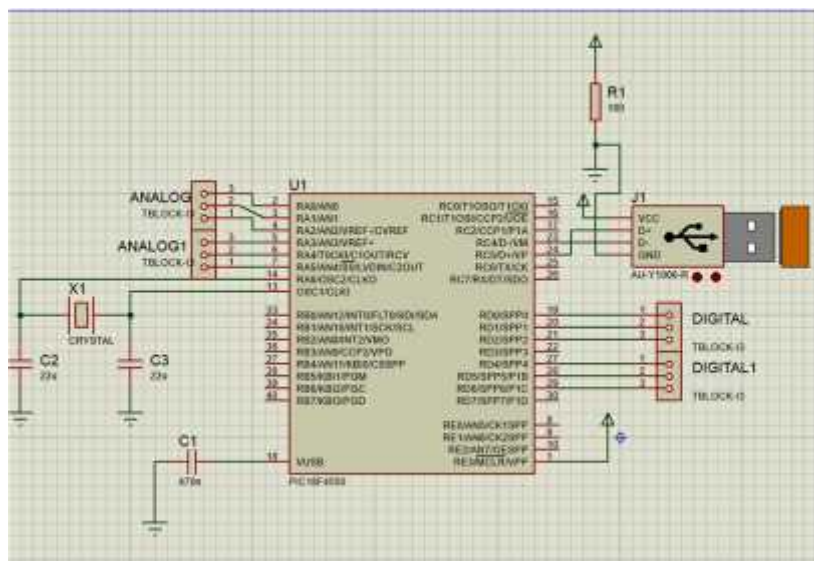


Ilustración 26 esquema del circuito la tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador 18F4550

Presupuesto para el desarrollo de la tarjeta de adquisición basada en el microcontrolador 18f4550

Tabla 3 Presupuesto de tarjeta basada en 18F4550

Cantidad	Ítems	Valor
1	Microcontrolador PIC 18f4550	300C\$
3	Capacitores cerámicos 22uf	25C\$
6	Capacitor cerámico 470nf	10C\$
1	Interface RS232/USB FT232L	310C\$
1	Resistor de 180	3C\$
1	Oscilador 20Mhz	20C\$
1	Placa de cobre 10cmx15cm	60C\$
1	Litro de ácido nítrico	80C\$
1	Impresión en papel fotográfico de las pistas	60C\$
1	Estaño	10C\$
1	Cable USB	100C\$
1	Caja acrílica	750C\$
12	Terminales de 3 pines	50C\$
2	Terminales de 2 pines	3C\$
1	Spray	60C\$
1	POXIPOL	80C\$
1	Impresión de la designación de pines en papel pegatina	80C\$
	Mano de obra	9300 C\$
TOTAL		11,381C\$

Este microcontrolador permitía por un lado adquirir el voltaje que entregaba la etapa de acondicionamiento de señal para digitalizarla y por otro lado permitía la comunicación con una PC, es importante aclarar que el módulo de comunicación

serial que contiene el microcontrolador, permite enviar y recibir información de forma serial, empleando el protocolo de comunicación RS-232 por lo que era necesario hacer uso de otro dispositivo que convirtiera y adaptase las señales establecidas por este protocolo, para que puedan ser transmitidas a través del puerto USB, el dispositivo que se utilizaría para esta función era el FT232L para luego visualizar los resultados de manera gráfica y legible en una computadora a través del software libre MyOpenLab

Se pretendía desarrollar 5 guías de laboratorio utilizando MyOpenLab para diseñar una interfaz gráfica en cada una de estas.

Esta primera propuesta no fue posible desarrollarla debido a que en las pruebas realizadas con el PIC18F4550 se presentó un problema con el driver, este no era compatible con Windows 10 y Windows 8, la comunicación entre el PIC y la PC se interrumpía y el microcontrolador se desconectaba, se probó en una de nuestras computadoras portátiles que tenía instalado Windows 7 y funcionaba a la perfección, luego de analizar esta situación llegamos a la conclusión que no era posible desarrollar esta propuesta de esta manera, puesto que solo algunos estudiantes son usuarios de Windows 7 debido a que las nuevas computadoras vienen por defecto con el sistema operativo más actual hasta el momento y en futuras generaciones estas tarjetas hubiesen quedado inutilizables.

Otra limitante para esta propuesta fue con MyOpenLab, este software permite comunicación serial entre el Microcontrolador PIC y la PC a través de una interfaz RS-232 de manera que se pueden recibir datos en el software, para que esto sea posible se debe de programar el Microcontrolador con un código específico que ejecute las instrucciones necesarias para el desarrollo de una aplicación específica, por lo que se requería la programación del microcontrolador en cada una de las guías a implementar y uno de los parámetros principales consistía en que las tarjetas no se iban a programar.

2.2.2 Tarjeta de adquisición de datos basada en el ATmega328

En esta segunda propuesta se solucionó el problema de incompatibilidad con el sistema operativo y también se logró diseñar una herramienta que no necesitara ser programada por el estudiante para la implementación de las guías de laboratorio

El desarrollo de esta propuesta consistió en una tarjeta de adquisición de datos basada en el ATmega328 con las siguientes prestaciones:

- 6 entradas analógicas con resolución de 8 bits
- 6 entradas digitales
- 6 salidas digitales
- Comunicación USB (emulando RS-232)
- Alimentación externa para los dispositivos conectados a las salidas digitales

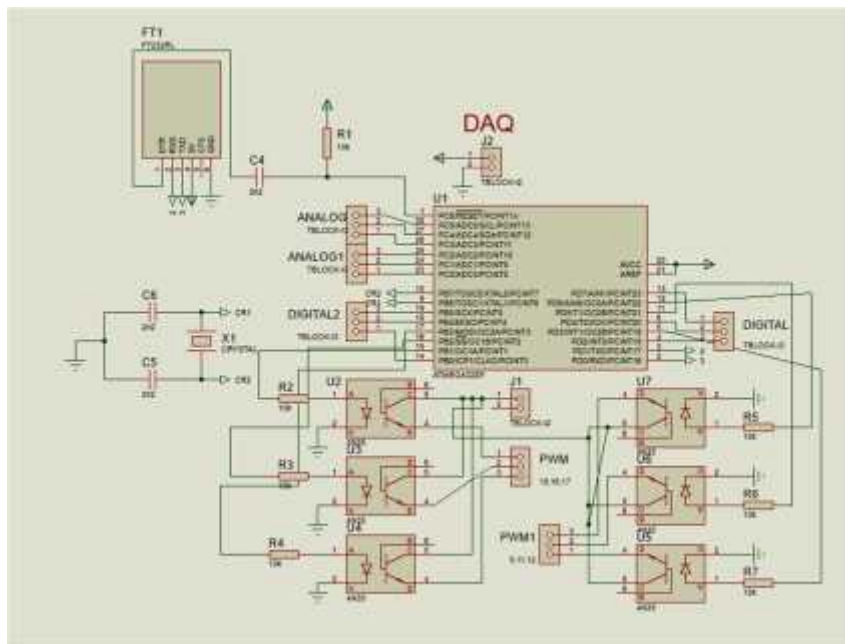


Ilustración 27 esquema del circuito de la tarjeta de adquisición de datos basada en el ATmega328

Presupuesto para el desarrollo de la tarjeta de adquisición basada en el microcontrolador ATmega238

Cantidad	Ítems	Valor
1	Microcontrolador ATmega328	120C\$
3	Capacitores cerámicos 22uf	27C\$
6	Optoacplador 4N35	25C\$
1	Interface USB/serial FT232RL	300C\$
1	Resistor de 10K	3C\$
1	Oscilador 20Mhz	20C\$
6	Resistor 110	3C\$
1	Placa de cobre 10cmx15cm	60C\$
1	Litro de ácido nítrico	80C\$
1	Impresión en papel fotográfico de las pistas	60C\$
1	Estaño	10C\$
1	Cable USB	100C\$
1	Caja acrílica	750C\$
12	Terminales de 3 pines	50C\$
2	Terminales de 2 pines	3C\$
1	Spray	60C\$
1	POXIPOL	80C\$
1	Impresión de la designación de pines en papel pegatina	80C\$
	Mano de obra	9300 C\$
TOTAL		11,131C\$

Tabla 4 Presupuesto de tarjeta basada en ATmega328

Al igual que la tarjeta de adquisición de datos mencionada en la primer propuesta, la tarjeta basada en el ATmega328 adquiere por un lado el voltaje que entregaba la etapa de acondicionamiento de señal para digitalizarla y por otro lado permite la comunicación con una PC, a diferencia de la tarjeta basada el 18F45550 este nuevo diseño se conecta a la PC mediante un módulo FTD1232RL el que convierte la señal serial a USB y con la ayuda de un driver, crea un puerto COM virtual (VCP) que emula un puerto COM estándar de esta manera se soluciona el problema de compatibilidad con el software presentado en la primera propuesta. Este fue uno de los motivos por el cual decidimos utilizar este diseño.

Cabe resaltar que la placa de programación Arduino Uno utiliza el microcontrolador ATmega328 por lo que los códigos desarrollados para esta placa son compatibles con nuestra tarjeta de adquisición de datos.

Para la programación del ATmega328 se utilizó el código Standar Firmata que fue desarrollado para Arduino UNO, decidimos optar por un software libre más actualizado con mayor libertad para realizar una mejor interfaz gráfica, se utilizó el software Processing el que posee un entorno de programación más amigable, muy similar al entorno de ARDUINO, entorno con el que algunos alumnos ya están familiarizados. Processing posee una librería diseñada para gobernar Arduino Uno. Mediante esta librería y el protocolo de comunicación Firmata podemos en processing mandar a llamar funciones que nos permitan controlar el microcontrolador ATmega328, como por ejemplo mandar a leer una entrada analógica o mandar a escribir un dato en una salida PWM, sin necesidad de estar programando continuamente el microcontrolador. Siendo este el principal motivo por el cual decidimos desarrollar esta propuesta.

Una vez que se obtuvo el diseño el diseño de la tarjeta de adquisición de datos se realizó un análisis en cuanto a precio y prestaciones de las tecnologías existentes en el mercado.

Se observaron dos tarjetas de adquisición de datos una de ellas fue una tarjeta de adquisición de datos National Instruments modelo USB-6009 con un valor de 288\$ en el extranjero, algunas de sus características son las siguientes:

- 8 entradas analógicas (14 bits)
- 2 salidas analógicas (12 bits)
- Compatible con LabVIEW, Measurement Studio para Visual Studio .NET para registro de datos

La segunda tarjeta que se observó fue una tarjeta de adquisición de datos modelo USB-1024LS con un valor de 95\$, algunas de sus características son las siguientes:

- E/S digitales de 24 bits
- Terminales incorporados de tornillo
- Usb dispositivo compatible 2.0 soportado en Microsoft Windows 98SE/2000/XP
- Software:
- Universal Library para LabVIEW

Si un estudiante desea fabricar una tarjeta de adquisición de datos le resulta un más económico que comprar una tarjeta de adquisición en el mercado

Luego de haber desarrollado y analizado el diseño de la tarjeta de adquisición de datos y el software que utilizaríamos, realizamos una lista con el presupuesto y los componentes necesarios para la elaboración de la tarjeta de adquisición de datos, estos componentes fueron pedidos desde la página de Amazon por lo que tuvimos que esperar dos meses para que se nos hiciera entrega del pedido, mientras esperábamos que nos llegaran los componentes procedimos a realizar las guías de laboratorio para lo que fue necesario diseñar primero el acondicionamiento de señal de los sensores que utilizaríamos para la implementación de las guías de laboratorio.

2.2.3 Diseño del circuito de acondicionamiento de señal de los sensores

En el acondicionamiento de señal para los sensores de temperatura, presión, voltaje, corriente y humedad se realizaron pruebas de funcionamiento de cada uno de los sensores para determinar el comportamiento y seleccionar el acondicionamiento adecuado para posteriormente ser utilizado con la tarjeta de adquisición de datos. A continuación, se explicará las pruebas realizadas de cada sensor y el circuito de acondicionamiento necesario para la visualización de las variables físicas (presión, temperatura, humedad, voltaje y corriente) a través de la tarjeta de adquisición de datos y la computadora.

2.2.3.1 Medición de Temperatura

Para la medición de temperatura se utilizó la RTD PT100⁶, ya que se encuentra en el laboratorio de automatización. La PT100 varía su resistencia de acuerdo su temperatura y utilizando la Ecuación 1, podremos determinar la temperatura despejando el valor de T(temperatura).

Debido a que la PT100 varía su resistencia, es necesario traducir esa variación de resistencia a una variación de voltaje ya que es así como el microcontrolador puede interpretar dicha variación. Por tanto, se inició la búsqueda del circuito de acondicionamiento para la RTD PT100.

Primero, se encontró el circuito del puente linealizado (Pallas, 1993) el cual, de acuerdo a la variación de la temperatura, varía el voltaje y es amplificador por el valor del resistor R4, el valor de R2, R3 y R1, tenía que coincidir con el valor de R0 de la PT100 que es igual a 100 Ω . Además, se estableció que el suministro de voltaje del circuito de resistencia sería 1 v debido a que si se aumenta el voltaje puede ocasionar errores en la medición por el efecto Joule el cual en este caso con el aumento de voltaje que circule por la PT100, habría un incremento en la temperatura de la PT100 aparte de la temperatura medida. Utilizando el simulador Proteus 8, se realizó la simulación del circuito para comprobar el correcto funcionamiento del circuito, el cual resultó estar trabajando bien a como mencionaba la teoría (ver ilustración 28). Sin embargo, al

⁶ Ver Anexo F

momento de montar el circuito en una tabla de nodos se tenía ciertas variaciones en las cuales la sensibilidad de los OPAM y la exactitud de las resistencias jugaban un papel importante, por lo que se tenía que, en vez de aumentar el voltaje con el aumento de temperatura, disminuía el voltaje. Aun con las revisiones y cambios de componentes, resultaba complicado la estabilidad de la medición. Debido a ello, se decidió por optar otro circuito de acondicionamiento.

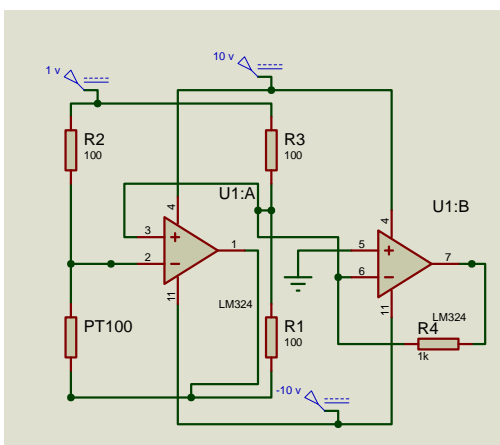


Ilustración 28 simulación Puente linealizado

Segundo, se encontró el circuito del puente de Wheatstone el cual mide pequeños cambios en la resistencia eléctrica mediante el equilibrio de los brazos de los puentes (ver Ilustración 12). Consta de 3 resistores y la conexión de la PT100, los cuales tienen que coincidir con el valor de 100 como en el caso anterior y el suministro de voltaje de 1 v (Ecuación 6). Utilizando el simulador Proteus 8 se procedió a revisar el comportamiento del puente (ver ilustración 29), el cual resultaba ser el correcto entregando una variación de voltaje en el orden de los milivolts. Posteriormente, se hizo el montaje en la tabla de nodos en donde se verificó que el funcionamiento del puente de Wheatstone es el correcto.

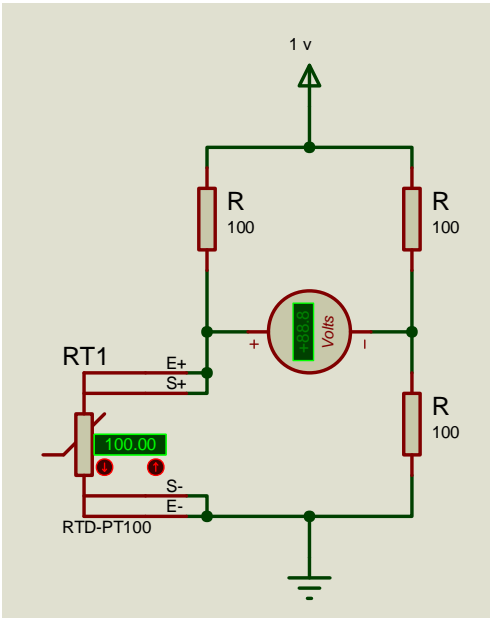


Ilustración 29 simulación puente de Wheatstone

Tomando en cuenta que la variación de voltaje que entrega el puente de Wheatstone es el orden de los milivolts, se requirió amplificarlo a un determinado rango de voltaje que no superara los 5 v debido a que es máximo valor que lee el convertidor analógico - digital de los microcontroladores en sus entradas. Se eligió utilizar el amplificador de instrumentación debido a que la ganancia es superior a la de un OPAM y a la estabilidad de la señal.

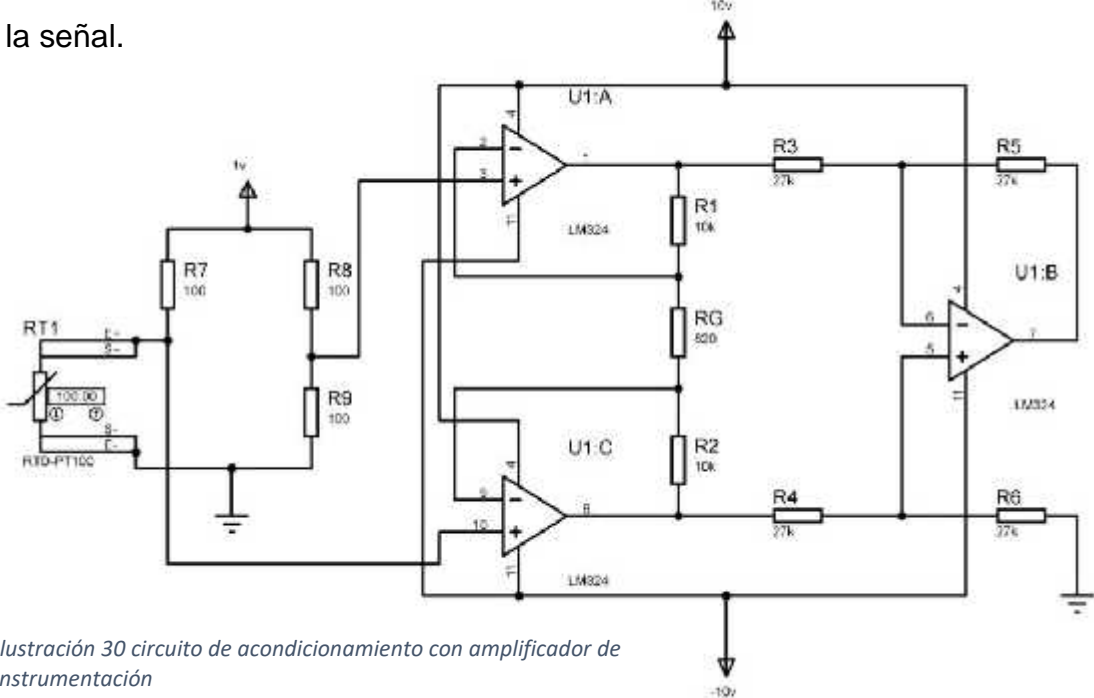


Ilustración 30 circuito de acondicionamiento con amplificador de instrumentación

En la ilustración 30 se puede observar el valor de los resistores y utilizando el circuito integrado LM324 el cual consiste en 4 OPAM en donde se alimentó con -10 v y +10 v. Posteriormente, se montó en la tabla de nodos el circuito completo (ver ilustración 31) con la PT100 el cual se calentó con un caudín para variar la temperatura (ver ilustración 31) y se obtuvo que el voltaje de salida del amplificador aumentaba al aumentar la temperatura sin exceder los 5 v. Por tanto, cumplía con los requerimientos para utilizarlo para el acondicionamiento de la señal de temperatura

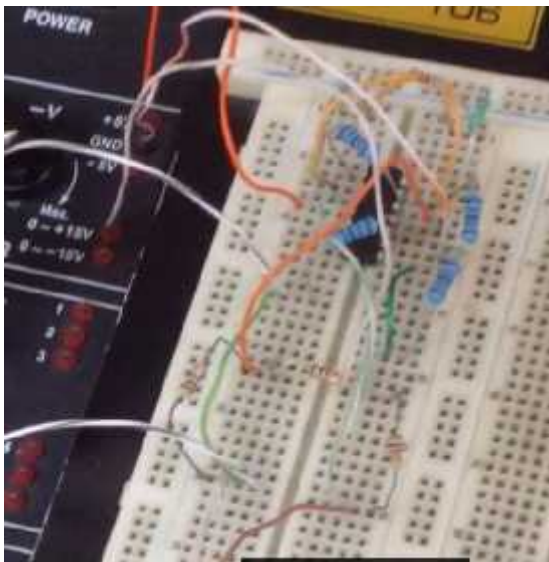


Ilustración 32 Circuito de acondicionamiento del sensor de temperatura



Ilustración 31 caudín y PT100

Luego, se realizó el análisis matemático para obtener la temperatura a partir del voltaje de salida del amplificador de instrumentación. A partir de la Ecuación 1, podemos despejar la temperatura (T) de la ecuación de la PT100.

$$T = \frac{\frac{R_T}{R_0} - 1}{\alpha}$$

Ecuación 7 temperatura de la PT100

Luego, se calcula el valor de R_T (resistencia de la PT100 a una determinada temperatura) tomando la Ecuación 5 del amplificador de instrumentación y la Ecuación 6 del puente de Wheatstone obtenemos, en donde V_{Ex} es el voltaje del puente de Wheatstone equivalente a 1 v:

$$V_0 = V_{Ex} \left[\frac{R_T}{R_T + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right)$$

Ecuación 8 voltaje de salida del amplificador de instrumentación

De la Ecuación 8, se despeja R_T lo cual quedaría:

$$R_T = \frac{R_2 * \left[\frac{v_0}{\left[\left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right) v_{Ex} \right]} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]}{1 - \left[\frac{v_0}{\left[\left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right) v_{Ex} \right]} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]}$$

Ecuación 9 Despeje de R_T

De esta manera, se calcula el valor de R_T en función del v_0 (voltaje de salida del amplificador de instrumentación) y posteriormente se utiliza en la Ecuación 7 para determinar la temperatura que está midiendo la PT100.

Considerando que el valor de los resistores no es exacto, la ganancia puede variar con respecto a la calculada, por lo que se es necesario medir el voltaje de entrada y el voltaje de salida del amplificador de instrumentación para verificar la ganancia exacta del amplificador y así obtenemos la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{R_2 * \left[\frac{v_0}{\left[(G) v_{Ex} \right]} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]}{1 - \left[\frac{v_0}{\left[(G) v_{Ex} \right]} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]}$$

Ecuación 10 R_T con ganancia medida en el circuito

Por tanto, la ecuación 7 de temperatura y la ecuación 9 R_T de ganancia son las que se ingresaría en el programa para medir la temperatura.

2.2.3.2 Medición de Presión

Para la medición de presión se utilizó el sensor PX26-030GV⁷, ya que se encuentra en el laboratorio de automatización. El sensor genera un voltaje acorde a la variación de presión. De la hoja de dato del sensor (Omega Engineering Inc., sin fecha) se obtiene que la sensibilidad del sensor es de mV, la presión máxima del sensor es de 30 PSIG y el voltaje de polarización puede ser de 10 v hasta 16 v. En este caso, se eligió el voltaje de polarización de 10 V.

Se utilizó la Ecuación 2 para determinar el voltaje de salida máximo que proporciona el sensor a su máxima presión (30 PSIG), lo cual resultaría de 100 mV.

Luego, se aplicó una regla de 3 para obtener la ecuación de la presión. En donde V_{sensor} es el voltaje que genera el sensor.

$$\text{Presion_psi} = (V_{\text{sensor}} * 30) / (V_{\text{omax}})$$

Ecuación 11 presión

Debido a que la Ecuación 11 está en el orden de los milivoltios, es necesario amplificar ese voltaje, por lo que se recurrió al amplificador de instrumentación (ver ilustración 33).

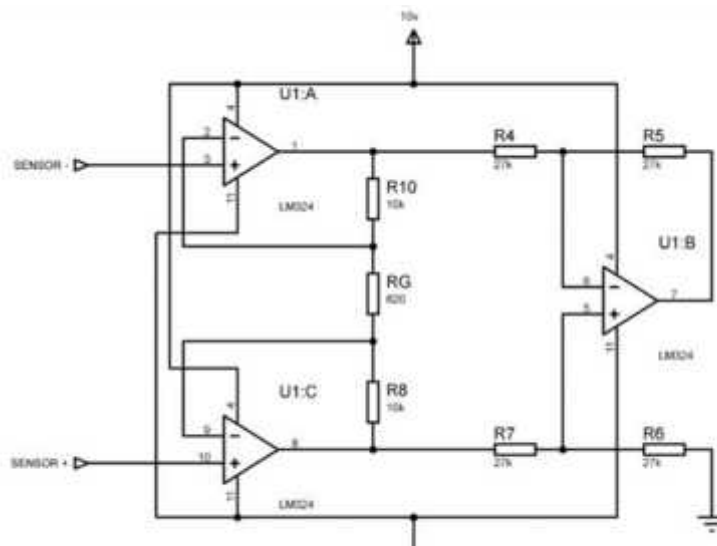


Ilustración 34 Circuito amplificador de señal

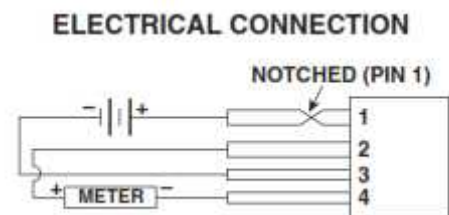


Ilustración 33 sensor de presión

⁷ Ver Anexo G

En la ilustración 33 se puede apreciar los valores de los resistores y los determinados puntos donde se conectaría el sensor los cuales sería el pin 2 al + y el pin 4 al – (ilustración 34)

Similarmente a la medición de la temperatura, se requiere saber con exactitud la ganancia (G) del amplificador de instrumentación por lo que se divide el voltaje de salida entre el voltaje de entrada y el resultado sería:

$$\text{Presion_psi} = (V_{\text{sensor}} * 30) / (G * V_{\text{Omax}})$$

Ecuación 12 presión con variable de ganancia

Por tanto, la Ecuación 12 se ingresaría en el programa para medir la presión.

Luego, se verifico el funcionamiento montando el circuito con el sensor en una tabla de nodos. Se utilizó una jeringa de 10 ml conectado a una sonda para generar presión al sensor y así verificar el funcionamiento del circuito. Por tanto, se obtuvo una variación de voltaje significativo al presionar la jeringa lo que comprobaba el correcto funcionamiento del circuito y el sensor.

2.2.3.3 Medición de corriente

Para la medición de corriente se utilizó el sensor ZMCT102 ya que fue facilitado el docente de la asignatura de Sistema de medición y Sistema de control para realizar las mediciones. De la hoja de dato se obtiene que la corriente máxima es de 20 A alterno. La Ilustración 9 muestran el cálculo del sensor y el bosquejo de conexión el cual indica que la línea de alimentación atraviesa el sensor por medio del orificio del mismo y se conecta un resistor para multiplicar el voltaje (ver Ecuación 3). Primeramente, se realizaron pruebas de funcionamiento del sensor montando un circuito en serie de 4 resistores de 150 Ω y 1 resistor de 220 Ω en la tabla de nodo (ver ilustración 35).

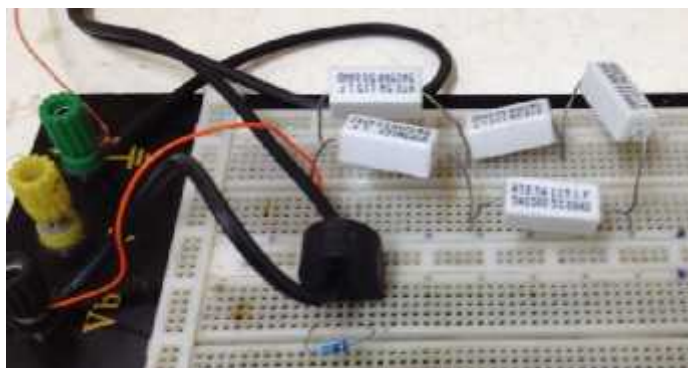


Ilustración 35 Prueba del sensor de corriente

Se procedió a medir el voltaje que generaba el sensor con una resistencia (R) de 5k con un voltaje AC de 120, lo cual fue de 0.36 v. Se realizó el despeje de la corriente (I) en la Ecuación 3 lo cual resulto:

$$I = \frac{U \times 2000}{R}$$

Ecuación 13 Despeje de corriente

Por tanto, el resultado del voltaje que genero el sensor con una resistencia de 820 fue de 0.144 A, en comparación a la corriente teoría que sería de 0.146, se encuentra muy cercana.

A continuación, se muestra una tabla (ver tabla 5) en donde se procedió ir removiendo resistencia por resistencia para medir el voltaje que generaba el sensor ZMCT102⁸ con una resistencia de 2 K . Como se pudo observar, las variaciones siguen siendo mínimas en la medición del sensor lo cual se asegura que el sensor está funcionando correctamente.

U	V ac	Resistencia	I _{sensor}	I _{teorico}
0.14 v	120 v	820	0.14 A	0.146 A
0.17 v	120 v	670	0.17 A	0.179 A
0.21 v	120 v	520	0.21 A	0.23 A
0.37 v	120 v	300	0.37 A	0.4 A

Tabla 5 Prueba del sensor de corriente

Luego, ya que el voltaje que genera el sensor es alterno, se necesita rectificarlo para utilizarlo posteriormente. Para ello, se utilizó un diodo semiconductor, pero no resulto la rectificación ya que el voltaje que, generada el sensor, era muy pequeño en comparación a la caída de voltaje del diodo. Después, se decidió conectar este sensor a un OPAM configurado como seguidor de voltaje ((V_{in}=V_{out})) (ver ilustración 26) pero polarizándolo con +5v y 0 v, para que el OPAM reconstruyera la señal solo en el cuadrante positivo y así rectificar el voltaje.

⁸ Ver Anexo H

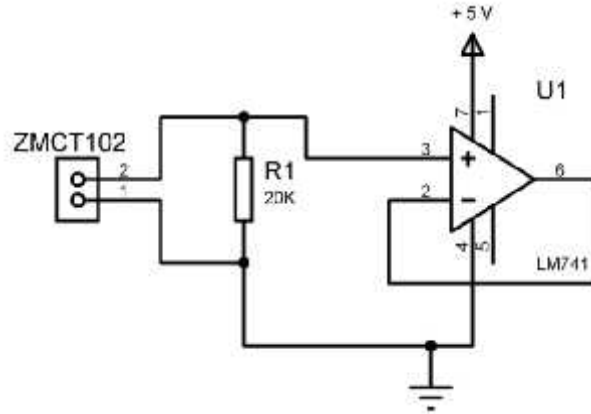


Ilustración 36 OPAM configurado como seguidor de voltaje

Con el fin de poder apreciar mejor el voltaje y luego ser utilizado en la siguiente etapa, se usó un resistor de 20 K . Por tanto, tenemos que el voltaje de salida será 10 veces la corriente que está midiendo el sensor (ver Ecuación 14). La ecuación anterior se ingresaría en el programa para medir la corriente alterna.

$$I=U/10$$

Ecuación 14 corriente que mide el sensor

2.2.3.4 Medición de voltaje

Para la medición de voltaje se utilizó el sensor ZMPT101B⁹, ya que fue facilitado por el docente de la asignatura de Sistema de medición y Sistema de control para realizar las mediciones. De la hoja de dato se obtiene que la corriente máxima es de 2 mA alterno. La Ilustración 10 muestran el cálculo del sensor y el bosquejo de conexión del sensor con una resistor (R') para limitar la corriente que circula por el sensor y una resistencia (R) que funciona como la ganancia para amplificar el voltaje (ver Ecuación 4).

Primeramente, se realizó el cálculo de R' para limitar la corriente que circulara por el sensor en donde se tomó como voltaje máximo el voltaje de la red eléctrica domestica monofásico (120 V), pero tomando en cuenta que dicho voltaje de es rms, se necesitó saber el voltaje pico para realizar los cálculos, utilizando la Ecuación 15.

$$U_{rms1} = \sqrt{2} * 120v = 170v$$

Ecuación 15 voltaje Vrms1

⁹ Ver Anexo I

Teniendo el voltaje pico, se procedió a calcular la R' para una corriente 1 mA con el fin de proteger contra algún pico de voltaje que pueda dañar el sensor. Utilizando la ecuación 16 se obtuvo que el R' es de 170 K

$$R' = \frac{U_{rms1}}{I}$$

Ecuación 16 Cálculo de R

Luego, se procedió a realizar pruebas de funcionamiento en una tabla de nodo con un circuito en serie de 5 resistores: 4 resistores de 150 Ω y 1 resistor de 220 Ω (ver ilustración 37). En primera instancia, se midió el voltaje en cada resistor con el sensor (ver tabla 6) para variar el voltaje, se utilizó la Ecuación 4 para saber el valor esperado y se midió con el multímetro el voltaje que generaba el sensor. Al finalizar, se concluyó que la medición del sensor es aproximada al calculado.

Resistor	Sensor	Formula
27.2 V	0.75 V	0.832 V
39.73 V	1.01 V	1.21 V
67.03 V	1.86 V	1.97 V
94.6 V	2.64 V	2.78 V
120 V	3.42 V	3.52 V

Tabla 6 Valores de las pruebas realizadas con el sensor de voltaje

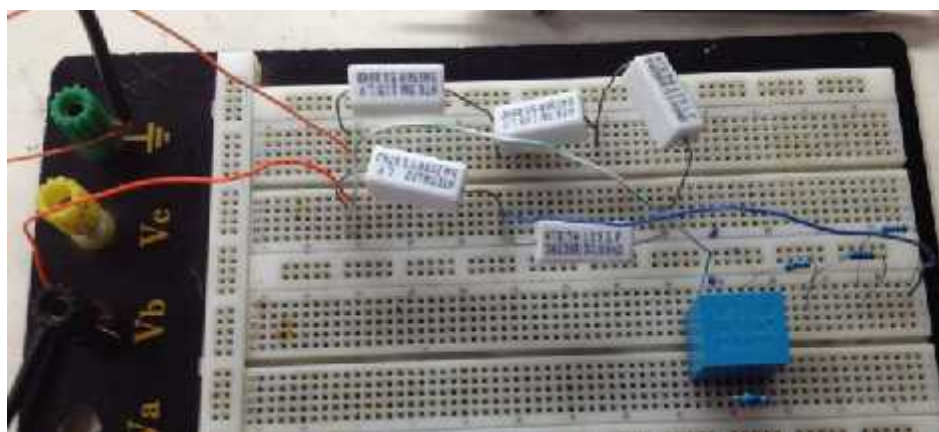


Ilustración 37 Pruebas con el sensor de voltaje

Posteriormente, se necesitaba rectificar el voltaje ya que el sensor generaba voltaje alterno para asegurar la manipulación con el microprocesador a utilizar. Por tanto, se

decidió utilizar el mismo método de rectificación del sensor de corriente el cual consiste en conectar la salida del sensor a un OPAM configurado como seguidor de voltaje ($V_{in}=V_{out}$) (ver ilustración 38) pero polarizándolo con +5v y 0 v, para que el OPAM reconstruyera la señal solo en el cuadrante positivo y así rectificar el voltaje. Por otro lado, se despejo el voltaje de entrada (U_1) de la Ecuación 4 para saber el voltaje que se está midiendo. De la Ecuación 17, tenemos que U_2 es el voltaje de salida; U_1 , es el voltaje de entrada; R' es el resistor limitador; y R , es el resistor de muestreo.

$$U_1 = \frac{U_2}{R} * R'$$

Ecuación 17 Calculo del voltaje de entrada

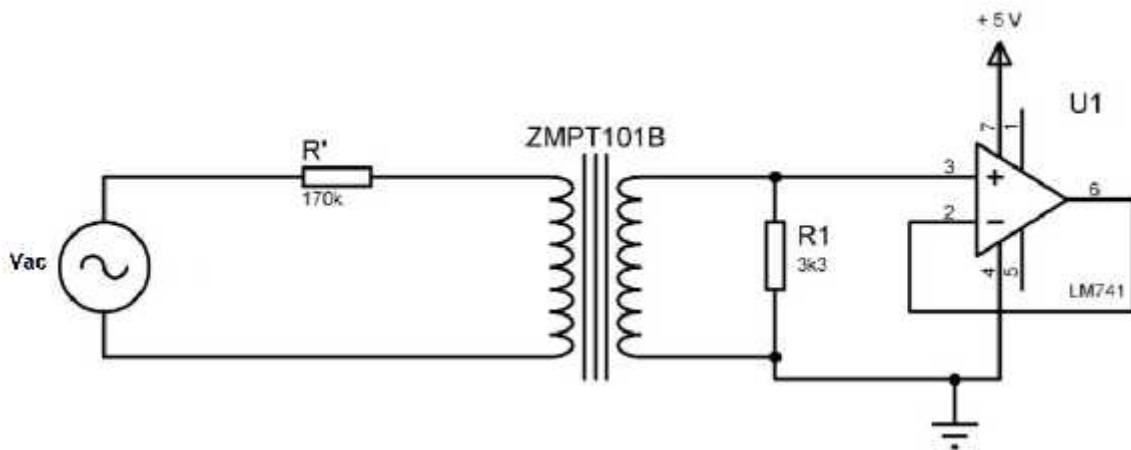


Ilustración 38 Circuito rectificador de voltaje

En conclusión, luego de haberse realizado las pruebas necesarias del circuito y obtener los resultados esperados, se decidió por el circuito (ver ilustración 39) ya que cumplía con los requerimientos necesarios para poder utilizarlos. Además, se ingresará la ecuación anterior en el programa que se realice para saber el voltaje alterno que está midiendo el sensor.

2.2.3.4 Medición de humedad

Para la medición de humedad se utilizaron los módulos YL-69 y YL-38¹⁰, debido a su bajo costo y a su pequeño tamaño facilitando su uso en la práctica de laboratorio. De la hoja de dato se obtiene que aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Por lo tanto al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

El circuito de acondicionamiento de señal es el módulo YL-38 quien se encarga de registrar la variación de intensidad según la humedad gracias a su CI comparador LM393 SMD, que emitirá una señal analógica (0-1023) y/o una señal digital.

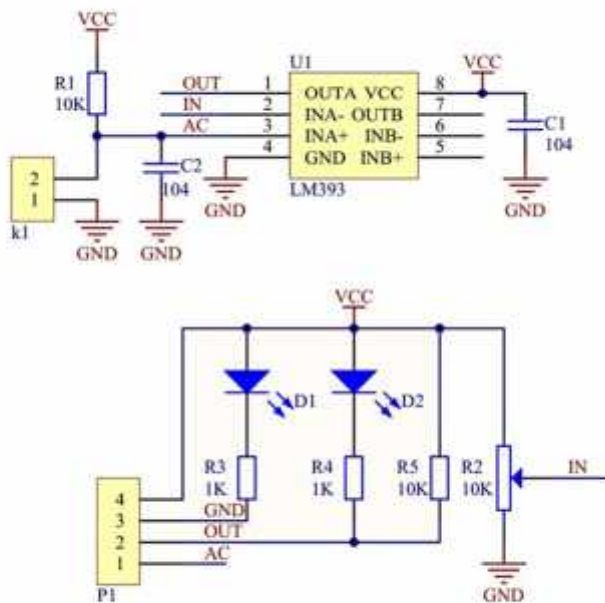


Ilustración 40 Diagrama del módulo YL-38



Ilustración 39 módulo YL-69

Posterior a haber tenido claro los sensores que se utilizarían y haber diseñado los circuitos de acondicionamiento de señal se procedió al diseño de las guías de laboratorio.

¹⁰ Ver Anexo J

2.2.4 Diseño de guías de laboratorio

Para el diseño de las guías de laboratorios se tomó en cuenta el contenido de la unidad IV de la clase de Sistemas de Medición de la carrera de Ingeniería Electrónica identificando los dispositivos disponibles en el laboratorio de Automatización. Seguidamente se eligieron los experimentos adecuados con los sensores y se procedió al diseño de las guías de laboratorio con los correspondientes sensores mencionados tomando en cuenta el periodo de tiempo que abarca una sesión de clases.

Se diseñaron cinco guías de laboratorios que abarcan el principio de funcionamiento de un sistema de adquisición de datos, debido a que en esta etapa no habíamos realizado la tarjeta de adquisición de datos utilizamos la placa de programación Arduino UNO la que programamos con el protocolo Firmata para el desarrollo de las guías.

Las guías de laboratorio diseñadas se describen a continuación, así como también una síntesis del contenido de la guía: ¹¹

Laboratorio 1 : es una guía introductoria que ayuda al estudiante a familiarizarse con el software Processing y la tarjeta de adquisición de datos y para manejar los puertos de entradas y salidas de la tarjeta con el fin que puedan desarrollar las guías posteriores. El primer programa que muestra la guía consiste en encender un led conectado al pin 3 de la tarjeta al presionar el botón izquierdo del mouse, luego se le deja una asignación al estudiante de manera que este edite de manera sencilla el programa para realizar dicha asignación.

Laboratorio 2: para esta práctica se utiliza el sensor de temperatura Pt100, el estudiante deberá montar en la tabla de nodos el circuito de acondicionamiento de la

¹¹ Ver Anexo K

Pt100 y luego realizar una interfaz gráfica en Processing para visualizar los datos partiendo de los códigos que se plantean en la guía.

Laboratorio 3: La tercera guía utiliza el sensor de presión PX26030GV, para realizar esta práctica de laboratorio el estudiante deberá montar en la tabla de nodos el circuito de acondicionamiento de señal planteado en la guía, la guía muestra una interfaz gráfica donde se puede observar el nivel de presión medido por el sensor , mediante una sonda conectada al sensor el estudiante deberá hacer variar la presión y esta a su vez se mostrara en la gráfica, luego el estudiante deberá editar este código para realizar la actividad propuesta en la guía.

Laboratorio 4: La cuarta guía es una práctica de laboratorio que consiste en utilizar el sensor de voltaje zmpt101b y el sensor de corriente zmct102 para realizar una interfaz gráfica en Processing donde se muestren los datos censados por la tarjeta de adquisición de datos, para lo que será necesario el montaje del diseño de acondicionamiento de señal para cada uno de los sensores.

Laboratorio 5: En esta última guía se utiliza el sensor de temperatura YL-69 Y el sensor de temperatura LM35, con la ayuda de Processing se realiza la interfaz de un datalogger que muestra y almacena los valores obtenidos por el sensor de temperatura y humedad en tiempo real.

La estructura de las guías de laboratorio consta de la siguiente manera

- a) **Objetivos:** se plantea el logro que se persigue con la práctica de laboratorio
- b) **Actividades previas:** es el trabajo previo que se debe elaborar, siendo primordial para el desarrollo de la guía de laboratorio.
- c) **Materiales a utilizar:** los componentes y el equipo que se utilizara para el desarrollo de la guía.

- d) Introducción:** se muestra la importancia de la medición de la variable de la práctica y algunas aplicaciones, en la introducción también se describe en qué consistirá la práctica.

- e) Acondicionamiento de señal:** se presenta el sistema de acondicionamiento de señal necesario para el sensor que se utilizara.

- f) Actividades:** son las actividades que el estudiante debe desarrollar en la practica

- g) Informe:** se indica la forma en que debe entregarse los resultados de la práctica de laboratorio.

- h) Bibliografía:** son las referencias que sustentan la guía.

2.3 Etapa de desarrollo

En esta etapa se muestran todos los procesos que fueron necesarios para la elaboración de la tarjeta de adquisición de datos

2.3.1 Desarrollo de la tarjeta de adquisición de datos

Una vez que se obtuvieron todos los componentes a nuestra disposición se realizó el montaje del circuito electrónico sobre una tabla de nodos, tomando en cuenta el diagrama eléctrico, para comprobar que la selección de los componentes y el diseño del esquema eléctrico eran los correctos.

Se realizaron todas las pruebas necesarias y se comprobó que el diseño funcionaba correctamente por lo que procedimos a la creación del circuito impreso partiendo del diagrama eléctrico para lo cual utilizamos el software Proteus.

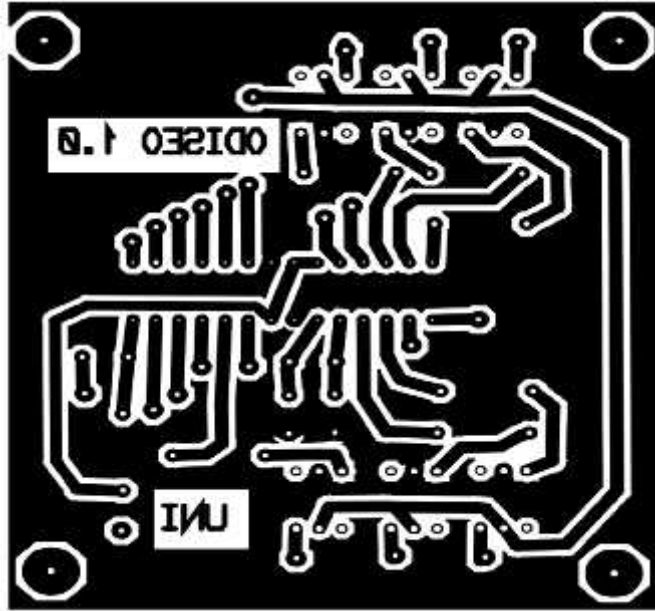


Ilustración 41 Pistas realizadas en Proteus

Una vez terminadas las pistas, se imprimieron en papel fotográfico y se procedió al planchado de las pistas en las tarjetas vírgenes.



Para quemar las pistas se realizó una compuesto de ácido nítrico con agua para luego sumergir las PCB en el ácido.



Ilustración 43 PCB en Acido nítrico

Una vez listas las pistas se taladraron los agujeros donde iban los componentes electrónicos y se procedió a realizar la soldadura de dichos componentes.



Ilustración 45 Pistas finalizadas de la tarjeta electrónica

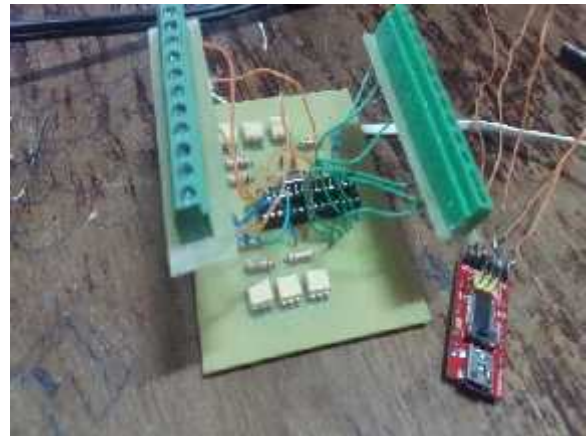


Ilustración 44 Componentes Soldados en la tarjeta

Hasta este punto se había concluido con la elaboración de las tarjetas de adquisición de datos, posteriormente se realizó el diseño de las cajas donde iban a ser insertadas las terminales de bloques junto con las tarjetas PCB y el módulo FT232RL, una vez terminado el diseño se elaboró la caja con la ayuda del encargado del laboratorio de Electrónica Digital Santiago Zambrana quien utilizó una impresora 3D para elaborar dicha caja.

Cuando la caja fue elaborada poseía un color blanco, por lo que se decidió utilizar spray para pintarla en negro y darle un poco más de estética, luego pegamos las terminales de bloques y el módulo FT232RL a dicha caja, para pegar las terminales de bloques se utilizó silicón, sin embargo el silicón no se adhirió con mucha solides a la caja, por lo que se deicidio utilizar POXIPOL, que nos adhirió muy bien las terminales de bloques a las cajas.

La caja presentaba un desnivel en la parte superior haciendo que las terminales no sobre salgan muy bien, luego de analizar la situación optamos por hacer las siguientes cajas faltantes con un material diferente, utilizando el mismo diseño, la mejor opción que tuvimos fue dar a hacer las cajas en Display Nicaragua donde nos entregaron 2 cajas elaboradas con acrílico de color transparente.



Ilustración 46 Tarjeta electrónica dentro de una caja acrílica

Luego estas cajas se pintaron con spray negro y se procedió a pegar las terminales dando como resultado final la Ilustración 47.



Ilustración 47 Producto final ODISEO 1.0

Luego con las cajas listas procedimos a añadirle las correspondientes etiquetas de las terminales de bloques y por ultimo probamos todos los códigos de las guías en las tarjetas de adquisición de datos corroborando el funcionamiento de dichas tarjetas y de los códigos elaborados en Processing.

Una vez que las tarjetas estuvieron terminadas se procedió a desarrollar el manual¹² de usuarios de la tarjeta de adquisición de datos ODISEO 1.0, en el que se presenta su circuito electrónico, los componentes utilizados, el código de su programación, el costo aproximado para su desarrollo, las especificaciones de su correcto uso y las limitaciones.

¹² Ver Anexo L

2.4 Etapa de evaluación

En esta etapa se implementaron y evaluaron 5 guías de laboratorios, para ello se contó con la participación de 8 estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica del grupo 4T1-Eo, como solo se contó con 3 tarjetas de adquisición de datos se decidió dividir al grupo en dos grupos de tres estudiantes y un tercer grupo de dos estudiantes para implementar las guías, estas guías fueron evaluadas con rubricas¹³, se plantearon cinco criterios para evaluar estas guías:

- Claridad del contenido y actividades a desarrollar en la guía.
- Tiempo de ejecución de las guías de laboratorio.
- El contenido de la guía se ajustaba al nivel de conocimiento de los estudiantes.
- Desempeño de la tarjeta de adquisición de datos ODISEO 1.0.
- Cumplimiento de los objetivos propuestos.

Cada uno de estos criterios se evaluó en una escala del 0 al 5, además se le agrego un espacio para las observaciones.

Laboratorio 1: en este laboratorio se presentó una introducción a Processing y correcto uso de las tarjetas de adquisición de datos, el tiempo dedicado para este laboratorio fue aproximadamente un bloque de clase que corresponde a 1 hora y 45 minutos, para este primer laboratorio, de ante mano se le facilito al estudiante el manual de usuario de la tarjeta de adquisición de datos ODISEO 1.0 , debido a que la lectura de dicho manual era una actividad previa antes de realizar este laboratorio. En esta guía se le facilito al estudiante el programa Processing, y los drivers necesarios para que sus computadoras pudieran reconocer la tarjeta de adquisición de datos.

Al finalizar esta práctica se cumplieron los objetivos propuestos por la guía, la tarjeta de adquisición de datos tuvo un buen desempeño y se tomaron dos observaciones

¹³ Ver Anexo M

la primera consistía en aclarar la última actividad de la guía y la segunda observación consistía en entregar a los estudiantes la librería G4P de Processing debido a que esta librería se necesita descargar o instalar una vez que el software es instalado en la computadora para el desarrollo de la práctica.

Laboratorio 2: en esta práctica de laboratorio se utilizó sensor de temperatura Pt100, el desempeño mostrado por la tarjeta de adquisición de datos fue excelente, los estudiantes se mostraron satisfechos con el desarrollo de esta práctica, obtuvieron nuevos conocimientos respecto al software Processing y pusieron en práctica los conocimientos adquiridos en la primer practica de laboratorio , una vez iniciada la práctica no se presentó ningún inconveniente a la hora de ir realizando cada uno de los puntos establecidos en la guía, se realizó una observación correspondiente al tiempo de ejecución de la guía, los primeros dos grupos concluyeron la práctica de laboratorio en un tiempo aproximado de 1 hora y 30 minutos y el tercer grupo que constaba de dos estudiantes realizo la practica en un tiempo aproximado de 2 horas , esto debido al circuito de acondicionamiento de señal del sensor de temperatura

Laboratorio 3: para el desarrollo de este laboratorio se utilizó el sensor de presión PX26030GV, con el cual se hizo variar la presión con ayuda de una jeringa y una sonda, se realizó una interfaz gráfica en Processing en donde se observó el nivel de presión que se ejercía sobre el sensor y este a su vez mandaba a activar algunos leds conectados a las salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos la práctica de laboratorio se realizó en 1 hora y 15 minutos, se observó que a la guía le hacía falta un poco más de claridad en el inciso f de la actividad 7, faltó agregarle la designación de los pines del LM324 y la designación de pines del sensor de presión, los estudiantes se mostraron muy interesados y animados a seguir introduciéndose en el área de adquisición de datos.

Laboratorio 4: esta práctica de laboratorio constaba en medir corriente y voltaje con los sensores zmpt101b y zmct102, la guía se realizó en 1 hora puesto que la interfaz

gráfica era algo sencilla debido a que en el laboratorio 3 se realizó una gráfica parecida a la utilizada en esta ocasión, se desarrollaron todas las actividades propuestas en la guía y de esta manera cumpliendo con los objetivos propuestos, se tuvo un inconveniente, dentro de la práctica se dañó un sensor de voltaje debido a que en el sensor no se visualizaba claramente su conexión. Debido a ello, un grupo conectó más los pines del sensor y hizo un cortocircuito. Por tanto, se anexo en la guía que el estudiante tiene que llamar a su instructor para que revise las conexiones de su circuito.

Laboratorio 5: en este último laboratorio se utilizó el sensor de humedad yl69 y un sensor de temperatura LM35, la práctica consistía en leer los valores del sensor de humedad con la tarjeta de adquisición de datos y luego editar el código para que este leyera también los datos que proporcionaba el sensor de temperatura y almacenar estas dos variables, con la fecha y la hora exacta en un archivo TXT, el periodo para desarrollar esta guía fue de 1 hora y 20 minutos, al concluir esta última práctica de laboratorio los estudiantes habían terminado de reafirmar algunos conocimientos obtenidos en las aulas de clases, en este laboratorio al igual que en los anteriores la tarjeta de adquisición ODISEO 1.0 se desempeñó sin ningún problema, se observó que a la guía se le debía agregar la designación de los pines del LM35 y corregir el inciso A de la actividad 6.

2.4.1 Resultados

Como resultado de este proyecto se desarrollaron 3 tarjetas de adquisición de datos y 5 guías de laboratorio utilizando el software Processing para la asignatura de Sistema de medición en el área de adquisición de datos.

Se diseñaron los circuitos de acondicionamientos de la señal de temperatura, presión, corriente, voltaje y humedad trabajan de manera correcta con la tarjeta de adquisición de datos acorde a los fines didácticos para el aprendizaje de los estudiantes.

Las tarjetas de adquisición de datos han demostrado trabajar de manera correcta para la realización de las guías de laboratorio diseñadas y cualquier código que se programe en Processing.

Las guías de laboratorio fueron evaluadas por estudiantes del grupo 4T1-Eo quienes fueron asignados por el actual docente de la asignatura de Sistema de medición y Sistema de control que fueron mejoradas con las observaciones obtenidas durante la realización de las guías.

Se realizó un manual de usuario de la tarjeta ODISEO 1.0 con el fin de quienes utilicen la tarjeta ODISEO 1.0 puedan utilizarla de forma correcta. Además, si el usuario desea fabricar otras tarjetas de ODISEO 1.0, en el manual podrá encontrar la información necesaria para lograrlo.

Capítulo 3 Conclusiones y recomendaciones

Se desarrollaron 3 tarjetas de adquisición de datos utilizando el microcontrolador ATmega328, estas son compatibles con el software Processing el cual, por medio de una computadora, procesa y visualiza las variables físicas de temperatura, humedad, presión voltaje y corriente a través de los sensores correspondiente.

Se diseñaron los circuitos de acondicionamientos de la señal que corresponden a las variables físicas: para la temperatura, se utilizó el puente de Wheatstone y el amplificador de instrumentación con el sensor PT100; para la humedad, se utilizó el módulo YL38 con el sensor YL-69; para la presión, se utilizó el amplificador de instrumentación con el sensor PX26-030GV; para el voltaje, se utilizó un amplificador operacional configurado en seguidor de voltaje con el sensor ZMPT101B; y para la corriente, se utilizó un amplificador operacional configurado en seguidor de voltaje con el sensor ZMCT102.

Se diseñaron 5 guías de laboratorios utilizando el software Processing y la tarjeta de adquisición de datos desarrollada en las cuales se diseñaron con el siguiente orden: primero, introducción al ambiente de Processing y la manipulación de la tarjeta de adquisición de datos; segundo, medición de temperatura; tercero, medición de presión; cuarto, medición de corriente y voltaje; y por último, medición de humedad y temperatura. Se evaluaron las guías de laboratorio con algunos estudiantes de 4T1 asignados por el actual docente de la asignatura de Sistema de medición y Sistema de control, quienes realizaron las guías con la tarjeta de adquisición de datos desarrollada.

Se realizó un manual de usuario de la tarjeta de adquisición de datos llamada ODISEO 1.0 presentando los siguientes aspectos para el conocimiento acerca de la tarjeta: circuito electrónico, los componentes utilizados, el código de su programación, el costo aproximado para su desarrollo, las especificaciones de su correcto uso y las limitaciones de la misma.

3.1 Recomendaciones

La tarjeta Odiseo está elaborada con una caja protectora de acrílico, por lo que se recomienda una manipulación sutil del mismo para asegurar su vida útil.

La tarjeta Odiseo 1.0 tiene disponible la conexión de una alimentación eléctrica externa para las salidas, de esta manera entregando voltajes mayores de 5 v. Para tener un Kit completo, se recomienda anexar una fuente variable para alimentar completamente las salidas de Odiseo de acorde al voltaje que se necesitara trabajar. Para una realización más eficiente de las guías de laboratorio (presión y temperatura) que utilizan el amplificador de instrumentación, se recomienda utilizar el circuito integrado AD620, el cual contiene un amplificador de instrumentación con valores más precisos en su diseño el cual favorecerá en una lectura más precisa.

En el caso del sensor de voltaje ZMPT101B es necesario especificar la manera correcta de conexión ya que puede ocasionar daños del mismo.

Es necesario para la futura utilización de las guías, el laboratorio conste con los materiales necesarios para el desarrollo de la práctica. Así que se recomienda anexarlo en la lista de materiales que se necesitan en los laboratorios donde se realicen las prácticas.

En el caso que la Facultad de Electrotecnia y Computación necesite más tarjetas Odiseo 1.0 para completar un grupo de clase, Odiseo 1.0 puede ser replicada de manera muy económico con la ayuda de los responsables de laboratorio.

En el caso del sensor PX26030GV es necesario otro sensor de presión que sirva de comparación con dicho sensor para realizar una mejor medición.

Referencias Bibliográficas

- Comunicacion serial : Conceptos Generales.* (02 de Enero de 2014). Obtenido de National Instruments:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- Creus, A. (2005). *Instrumentacion industrial.* Marcombo.
- F, R. (1993). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales.* Mexico: Prentice Hall.
- Frederick, R. (1993). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales.*
- Garcia, P. (2011). *Instrumentacion electronica.* Madrid: Thomson.
- Granda, M., & Mediavilla, E. (2010). *Instrumentacion electronica: tansductores y acondicionadores de señal.*
- Ibarra, V. &. (2007). *Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos de entrada basado en un PIC16F877 para uso general en los laboratorios de CIAII (Tesis de pregrado).* México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Interplus Industry Co. Ltd. (16 de Octubre de 2017). *Interplus Industry Co. Ltd.* Obtenido de ZMPT101B: http://www.interplus-industry.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=173&lang=en
- Introduccion .* (s.f.). Obtenido de Programacion visual con Processing:
<http://medialabmx.org/processing/>
- Introduccion a Processing.* (17 de Enero de 2014). Obtenido de Programacion visual con processing: <http://medialabmx.org/processing/>
- J.Bentley. (1999). *Sistemas de medicion principios y aplicaciones.* Mexico: Continental.
- Langari, R., & Morris, A. (2012). *Measurement and instrumentation. Theory and.* San Diego: California: Academic Press.

- Libreria FIRMATA*. (2017). Obtenido de ARDUINO:
<https://www.arduino.cc/en/Reference/Firmata>
- Mackay, J. P. (2003). *Data acquisition for instrumentation and control systems*. Oxford: Newnes.
- Made-in-china.com. (16 de Octubre de 2017). *2000: 1 20A 100ohm 5mm Hole 0.2calss PCB Mounting Current Transformer*. Obtenido de Made-in-china:
<http://current-transformer.en.made-in-china.com/product/oXjmAwBbMQhd/China-2000-1-20A-100ohm-5mm-Hole-0-2calss-PCB-Mounting-Current-Transformer.html>
- Marquez, J. (s.f.). *Amplificadores Operacionales*. México. Recuperado el 17 de Octubre de 2017, de
www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/.../AmplificadoresOperacionales.pdf
- Mayne, J. (2003). *sensores, Acondicionadores y Procesadores de señal*.
- microchip. (s.f). *ATmega328 - 8-bit AVR Microcontrollers - Microchip*. Obtenido de
[www.microchip.com: www.microchip.com/wwwproducts/ATmega328](http://www.microchip.com/wwwproducts/ATmega328)
- Moreno, V. (2009). *Monitarizacion y control con tarjetas de adquisicion de datos*. Universidad de Cantabria.
- Morris, A. (2001). *Measurement and instrumentation principles*. Heinemann: Oxford: Butterworth.
- Omega Engineering Inc. (s.f). *PX26 Series Pressure Transducers*. Recuperado el 16 de Octubre de 2017, de Omega Engineering Inc:
<http://www.omega.com/manuals/manualpdf/M1608.pdf>
- Pallás, R. (1993). *Sensores y acondicionadores de señal*. MARCOMBO, S.A.
- Pallas, R. (2007). *sensores y acondicionadores de señal* . Marcombo.
- Protocolo MIDI*. (15 de Enero de 2002). Obtenido de Hispasonic:
<https://www.hispasonic.com/reportajes/protocolo-midi/13>

Rodríguez, M. (15 de 01 de 2015). *Diferencia entre sensor, transductor y captador*.
Obtenido de Revistadigital INESEM: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-sensor-transductor-captador/>

Sistema de adquisicion de Datos. (s.f.). Obtenido de Omega:
<https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Tocci, R., Widmer, N., & Moss, G. (2007). *Interfaces Serie y paralelo*. Prentice Hall.

Anexos