 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE PROTOTIPOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES PARA EL ACONDICIONAMIENTO Y FILTRADO DE SEÑALES

Daniel Morales Rodriguez
Tecnología Electrónica

Director
Alexander Arias Londoño
IEo. MSc

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Medellín

Noviembre de 2018

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este proyecto nace de las necesidades del semillero MMCC con el procesamiento de señales de audio, por lo que se decide diseñar una serie de filtros activos de topología Sallen and Key para el filtrado de señales acústicas. También al ver que en la asignatura de PLC se utilizan sensores de temperatura usados en la automatización industrial como lo son la PT100 y la Termocupla, estos sensores son recomendados desde la asignatura de sistemas de adquisición de datos y el semillero MMCC. Los diseños de acondicionamiento de tarjetas de los sensores por medio de amplificadores operacionales facilitan los procesos del desarrollo curricular de la asignatura de PLC y del futuro programa de Automatización Electrónica del ITM.

Palabras Clave: Amplificadores operacionales, Acondicionamiento de PT100, Acondicionamiento de Termocupla K, Filtros Activos, PasaBajas, PasaAltas, PasaBanda, Rechazabanda.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo al profesor Alexander Arias Londoño por permitirme presentar este proyecto y asesorarme durante el periodo en el cual fue realizado, a los laboratoristas Daniel Estrada y Delicia chamorro por estar siempre presentes en los laboratorios de electrónica los cuales fueron muy útiles para hacer pruebas de los circuitos, a mi compañero Santiago Rojas por brindarme apoyo en temas de software para hacer la interfaz gráfica de LabVIEW, a mi familia por estar siempre presente y a todos los profesores y compañeros del ITM que fueron parte de este proceso de aprendizaje en el cual me fui formando para hoy por hoy llegar hasta este punto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

MMCC: modelamiento matemático y computación científica.

PLC: controlador lógico programable.

LP: low pass (pasa baja).

HP: high pass (pasa alta).

BP: band pass (pasa banda).

RB: band rejected (rechaza banda).

RTD: Resistance temperature detector (resistencia detectora de temperatura).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Amplificadores Operacionales	14
2.2. SENSOR DE TEMPERATURA PT100.....	15
2.2.1. Características de las PT100.....	16
2.2.2. Tipos de PT100	16
a) PT100 de platino	17
b) PT100 de níquel.....	18
c) PT100 de cobre.....	18
d) PT100 de molibdeno	18
2.2.3. Configuraciones de cableado de la PT100	19
a) PT100 de 2 hilos	19
b) PT100 de 3 hilos	19
c) PT100 de 4 hilos	20
2.3. SENSOR DE TEMPERATURA Termocupla	21
2.3.1 Características de una termocupla.....	21
2.3.2. Tipos de termocuplas	22
a) Tipo k.....	22
b) Tipo J.....	22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

c) Tipo T.....	22
2.4. LabVIEW y Arduino.....	23
2.4.1. LabVIEW y programación orientada a objetos.....	23
a) Panel frontal.....	23
b) Diagrama de boques.....	24
2.4.2 Arduino.....	24
2.5. Filtros pasivos.....	25
2.5.1. Filtro pasa bajas.....	25
2.5.2. Filtro pasa altas.....	26
2.5.3 Filtro pasa bandas.....	26
2.6. Filtros activos.....	27
2.6.1 Filtro activo pasa bajas.....	28
2.6.2 Filtro activo pasa altas.....	29
2.6.3 Filtro activo pasa bandas.....	29
2.6.4. Filtro activo rechaza bandas.....	30
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA PT100.....	31
3.1.1. Diseño con amplificador operacional AD620N.....	31
3.1.1. Programa en LabVIEW para visualizar datos de la PT100.....	36
3.1.2. Programa en Arduino para PT100.....	38
3.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA Termocupla.....	39
3.2.1. Diseño con amplificador operacional LM358.....	40
3.2.2. Software de LabVIEW para visualización de sensado de la Termocupla K.....	44
3.2.3. Programa en Arduino para Termocupla.....	45

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.	FILTROS ACTIVOS.....	46
3.3.1.	Filtro LP.....	47
3.3.2.	Filtro HP (High Pass)	50
3.3.3.	Filtro BP	54
3.3.4.	Filtro RB	57
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.2.	RESULTADOS DE LA PT100.....	61
4.1.1.	Toma de medidas de la PT100 (laboratorio de química)	61
4.1.2.	Modelo matemático de los datos de la PT100.....	64
4.1.3.	Sistema de adquisición de datos para PT100.....	65
4.2.	RESULTADOS Termocupla	66
4.2.1.	Toma de medidas de la Termocupla (laboratorio de química)	66
4.2.2.	Modelo matemático de los datos de la Termocupla	68
4.2.3.	Sistema de adquisición de datos para Termocupla.....	69
4.3.	RESULTADOS FILTROS ACTIVOS	70
4.3.1.	Resultados filtro PasaBajas (LPF).....	70
4.3.2.	Resultados filtro Pasa Altas (HPF)	72
4.3.3.	Filtro Pasa bandas (BPF)	74
4.3.4.	Resultados filtro Rechaza bandas (RSB)	74
	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	76
	REFERENCIAS	77
	ANEXOS.....	78
	Anexo A. Tabla de Creus Termocupla.....	78
	Anexo B. Tabla de Creus PT100	78

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo C. Semillero MMCC..... 79

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso con un Amplificador Operacional.	15
Figura 2. Construcción interna de un RTD (Icytsa, 2018).	15
Figura 3. Conexión de PT100 con 2 hilos.....	19
Figura 4. Conexión de Termocupla de 3 hilos	20
Figura 5. Conexión de Termocupla de 4 hilos	20
Figura 6. Configuración interna de una termocupla.	22
Figura 7. Panel frontal LabVIEW	23
Figura 8. Bucle (for) LabVIEW (estuelectronic, 2018).....	24
Figura 9. Arduino y sus componentes	24
Figura 10. Filtro pasivo pasa bajas (Electrónica fácil, 2018).....	25
Figura 11. Grafica filtro pasivo pasa bajas (Electrónica fácil, 2018).....	25
Figura 12. Filtro pasivo pasa altas (Electrónica fácil, 2018).....	26
Figura 13. Grafica Filtro pasivo pasa altas (Electrónica fácil, 2018).	26
Figura 14. Filtro pasivo pasa bandas (Electrónica fácil, 2018).....	27
Figura 15. Grafica filtro pasivo pasa bandas (Electrónica fácil, 2018).....	27
Figura 16. Señales filtros activos.	28
Figura 17. Filtro activo pasa bajas (Peña, 2018).....	28
Figura 18. Filtro activo pasa altas (Peña, 2018).....	29
Figura 19. Filtro activo pasa bandas (Peña, 2018).....	29
Figura 20. Filtro activo rechaza banda (Peña, 2018).	30
Figura 21. Puente de Wheatstone.....	32
Figura 22. Configuración AD620N.	33
Figura 23. Filtrado de Ruidos.....	34
Figura 24. Leds indicadores de polarización.....	34
Figura 25. Borneras de conexión.....	35
Figura 26. Diseño PT100 PCB.....	35
Figura 27. Montaje físico PT100.	36
Figura 28. Software en LabVIEW para PT100.	37

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 29. Panel frontal para PT100.	38
Figura 30. Programa Arduino para PT100.	39
Figura 31. Acople Termocupla.	40
Figura 32. Acondicionamiento amplificador.	40
Figura 33. Protección contra polarización inversa.	42
Figura 34. Led indicador.	42
Figura 35. Diseño Termocupla PCB.....	43
Figura 36. Montaje físico Termocupla.....	43
Figura 37. Software en LabVIEW para Termocupla.....	44
Figura 38. Panel frontal termocupla.....	45
Figura 39. Programa en Arduino para Termocupla.	46
Figura 40. Diseño en Webench filtro pasa baja Sallen and Key.	47
Figura 41. Gráfica de Webench filtro pasa bajas.....	48
Figura 42. Diseño filtro pasa bajas PCB.	48
Figura 43. Filtro pasa bajas Sallen and Key.....	49
Figura 44. Montaje físico filtro pasa bajas.....	50
Figura 45. Diseño en Webench filtro pasa altas Sallen and Key.....	51
Figura 46. Gráfica en Webench filtro pasa altas.....	51
Figura 47. Diseño filtro pasa altas PCB.	52
Figura 48. Filtro pasa altas Sallen and Key.	52
Figura 49. Montaje físico filtro pasa altas.	53
Figura 50. Diseño en Webench filtro pasa bandas Sallen and Key.....	54
Figura 51. Gráfico Webench filtro pasa bandas.	54
Figura 52. Diseño filtro pasa bandas PCB.	55
Figura 53. Filtro pasa bandas Sallen and Key.	55
Figura 54. Montaje físico filtro pasa bandas.	57
Figura 55. Diseño en Webench filtro rechaza bandas Sallen and Key.....	57
Figura 56. Grafica Webench filtro rechaza bandas.	58
Figura 57. Diseño filtro rechaza bandas PCB.	58
Figura 58. Filtro rechaza bandas Sallen and Key.	59
Figura 59. Montaje físico filtro rechaza bandas.	60

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 60. Materiales químicos usados para toma de datos.....	61
Figura 61. Proceso para toma de datos PT100.....	62
Figura 62. Gráfica y ecuaciones datos PT100.	65
Figura 63. Sistema de adquisición de datos para PT100.	65
Figura 64. Proceso para toma de datos Termocupla.....	66
Figura 65. Gráfica y ecuaciones para datos Termocupla.....	69
Figura 66. Sistema de adquisición de datos para Termocupla.....	70
Figura 67. Polarización filtro pasa baja.....	71
Figura 68. Barrido con generador y osciloscopio filtro pasa bajas.....	71
Figura 69. Frecuencias de salida filtro pasa baja.....	72
Figura 70. Polarización filtro pasa altas.....	72
Figura 71. Barrido con generador y osciloscopio filtro pasa altas.....	73
Figura 72. Frecuencias de salida filtro pasa altas.....	73
Figura 73. Frecuencias de salida filtro pasa banda.....	74
Figura 74. Polarización filtro rechaza bandas.....	74
Figura 75. Barrido con generador y osciloscopio filtro rechaza bandas.....	75
Figura 76. Frecuencia de salida filtro rechaza bandas.....	75
Figura 77. Tabla de Creus de 0 a 100° para termocupla tipo k.	78
Figura 78. Tabla de Creus de 0 a 100° para PT100.	78
Figura 79. Clase en salón de producción del semillero MMCC.	79
Figura 80. Vista de transientes de una muestra vocal en protools.	79

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Características de la PT100.	17
Tabla 2. Características de las termocuplas (WEISZ, 2018).....	21
Tabla 3. Tabla de datos PT100.....	62
Tabla 4. Tabla de datos Termocupla.....	67

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se hablará de los diferentes prototipos diseñados con amplificadores operacionales tanto para la adquisición de datos como la PT100 y la Termocupla, y para el filtrado de frecuencias con los diferentes tipos de filtros activos.

En primera instancia se hablará de la teoría y los conceptos de los diferentes dispositivos que se utilizarán y se acondicionarán a la hora de realizar los proyectos empezando por el sensor de temperatura PT100, seguido por la Termocuplas y terminando el marco teórico con la teoría básica de filtros.

Como segundo se presentará la metodología que se debe llevar a cabo para el desarrollo de los proyectos planteados: PT100, Termocupla y Filtros Activos. Los que tienen que ver con sensado de temperatura se trabajan con interfaces en Arduino y LabVIEW.

Por último, se darán a conocer los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en los diferentes sistemas diseñados.

Objetivo general

Diseñar prototipos con amplificadores operacionales para el acondicionamiento y filtrado de señales.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de adquisición de datos para una PT100 con Interfaces en Arduino y LabVIEW.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos para una termocupla k con Interfaces en Arduino y LabVIEW.
- Diseñar filtros activos pasa bajas, pasa altas, pasa banda y rechaza banda.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

En el diseño de prototipos para el acondicionamiento de señales es necesario conocer temas de Amplificadores Operacionales para la adquisición de diferentes variables, en este caso se aplicará al sensado de temperatura por medio de PT100 y Termocupla K, las cuales son muy utilizadas industrialmente. La interfaz de monitoreo se hace por medio de LabView y Arduino. En los procesos acondicionamiento a nivel industrial es necesario eliminar el ruido y ajustar las señales para ello se deben conocer los principios de los Filtros Pasivos y los Filtros Activos. Se mostrarán los principios básicos de todos los temas mencionados anteriormente, empezando por amplificadores operacionales y terminando con Filtros Activos.

2.1. Amplificadores Operacionales

Hoy en día los procesos en la industria o en nuestros hogares están controlados por dispositivos electrónicos. Los circuitos utilizan componentes analógicas o digitales. La señal de salida es función de la señal de entrada como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{señal de salida} = \text{función de control (señales de entrada)} \quad (1)$$

Los amplificadores operacionales como su nombre lo indica, realizan operaciones matemáticas, como sumas, restas, multiplicaciones, derivadas e integrales. La Figura 1 muestra un proceso que tiene un Amplificador Operacional en el cual la señal de entrada está dada por los voltajes de los terminales llamados inversor y no inversor, $v -$ y $v +$ respectivamente. La señal de salida está dada por el voltaje V_o (Salazar, 2009).

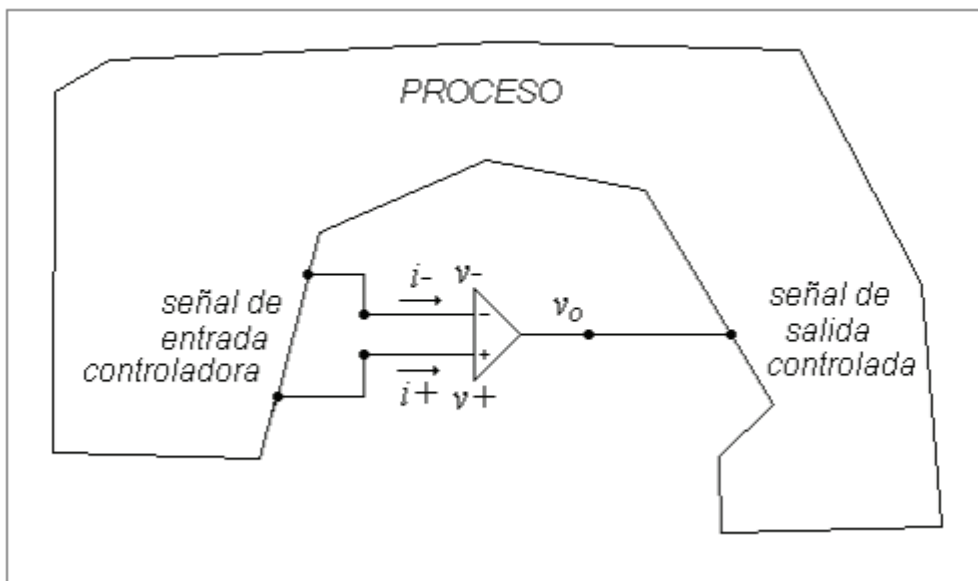


Figura 1. Proceso con un Amplificador Operacional.

2.2. SENSOR DE TEMPERATURA PT100

La PT100 es un sensor de temperatura que a 0°C tiene 100Ω y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. La PT100 tiene una respuesta que depende del material con que se fabrica. La construcción interna de una PT100 o RTD (Resistance Temperature Detector) se muestra en la Figura 2.

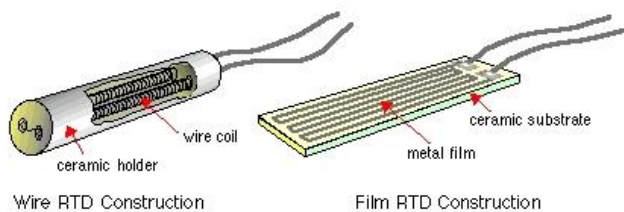


Figura 2. Construcción interna de un RTD (Icytsa, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1. Características de las PT100

Por lo general las PT100 se encapsulan dentro de tubos o vainas en acero inoxidable para evitar el deterioro en ambientes hostiles (SRC, 2018).

Las RTD o PT100 de metal tienen una respuesta definida por el polinomio (Icytsa, 2018):

$$R(t) = R_0(1 + a + bt^2 + ct^3) \quad (2)$$

Cuando R_0 es la resistencia a 0 ° C, "t" es la temperatura en grados Celsius, y "a", "b" y "c" son constantes que dependen de las características del metal.

Las características de la temperatura de un RTD se especifican como un solo número (el "alfa"), lo que representa el coeficiente medio de temperatura en el rango de temperatura de 0 a 100 ° C según los cálculos de:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \text{ en ohmios/ohm/}^\circ\text{C} \quad (3)$$

La temperatura de una aleación es diferente a la temperatura de los metales constituyentes. Por ejemplo, una aleación de 84% de cobre, 12% de manganeso y 4% de níquel tiene respuesta en la temperatura que tiende a cero. Las aleaciones se usan para fabricar resistencias de precisión (Icytsa, 2018).

2.2.2. Tipos de PT100

Aunque casi cualquier metal puede ser utilizado en la fabricación de PT100 los más usados se ven en la Tabla 1 tomada de (Icytsa, 2018).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 1. Tabla de Características de la PT100.

Metal		Rango de temperatura	Alfa	Comentarios
Cobre	Pt	-200 ° C a 260 ° C	0.00427	Bajo costo
Molibdeno	Mo	-200 ° C a 200 ° C	0.00300 0.00385	Bajo costo alternativo al platino en los rangos de temperatura inferiores
Níquel	Ni	-80 ° C a 260 ° C	0.00672	Bajo costo, rango limitado de temperaturas
Níquel - Hierro	Ni-Fe	-200 ° C a 200 ° C	0.00518	Bajo coste
Platino	Pt	-240 ° C a 660 ° C	0.00385 0.00392 0.00377	Buena precisión. Extienda rango de temperatura de 1000 ° C disponible

A continuación, se hablará de las diferentes características de la PT100, comenzando por la PT100 de platino y terminando con la PT100 de molibdeno.

a) PT100 de platino

El platino es el material de RTD más común, debido a su estabilidad a largo plazo en el aire.

Todas las normas de platino utilizan un polinomio modificado conocido como ecuación de Callendar Van Dusen (Icytsa, 2018):

$$R(t) = R_0(1 + a + bt^2 + c(t - 100)t^3) \quad (4)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

b) PT100 de níquel

Los sensores de níquel se prefieren en casos como aire acondicionado y artículos de consumo. Debido a que el costo es un problema, se fabrican con resistencias de alto valor para poder hacer conexiones sencillas de 2 hilos.

Un fabricante de RTD níquel recomienda el siguiente polinomio (Icytsa, 2018):

$$R(t) = R_0(1 + a + bt^2 + dt^4 + ft^6) \quad (5)$$

c) PT100 de cobre

El cobre se usa específicamente como un elemento de detección, pero se emplea a menudo cuando existe una bobina de cobre para otros fines.

Cuando el rango de temperatura es pequeña (por ejemplo 0 ° C a 180 ° C) y las necesidades de precisión no son importantes, se utiliza una función lineal simple (Icytsa, 2018):

$$t = (Rt/(R_0 - 1))/0.00427 \quad (6)$$

d) PT100 de molibdeno

El molibdeno tiene un coeficiente de dilatación térmica coincide con el de la alúmina, lo que lo convierte en un material ideal para el tipo de película de la construcción. El rango de temperatura útil es -200 ° C a 200 ° C, el molibdeno también logra ser compatible con otras configuraciones de PT100 estándar por lo que es beneficioso para una temperatura reducida y un bajo costo (Icytsa, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.3. Configuraciones de cableado de la PT100

No es recomendable montar una PT100 en lugares donde pueda haber mucha vibración ya que es probable que se fracture.

La PT100 puede ir conectada de 3 formas: 2 hilos, 3 hilos y 4 hilos, a continuación, se dará una breve explicación de estas.

a) PT100 de 2 hilos

Es el modo más sencillo de conexión, es con solo dos cables Figura 3. Este solo se recomienda para medir máximo a 10 metros del regulador de temperatura ya que a partir de ahí el sensor PT100 puede perder señal (SRC, 2018) (instrumentationtools, 2018).



Figura 3. Conexión de PT100 con 2 hilos

b) PT100 de 3 hilos

La conexión de 3 hilos es la más común y más utilizada para procesos industriales ya que este resuelve bien el problema de error generado por los cables Figura 4. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica ya que el sistema de medición se basa en el “puente de Wheatstone”. La mayoría de los equipos industriales vienen preparados para conexión PT100 3 hilos (SRC, 2018) (instrumentationtools, 2018).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

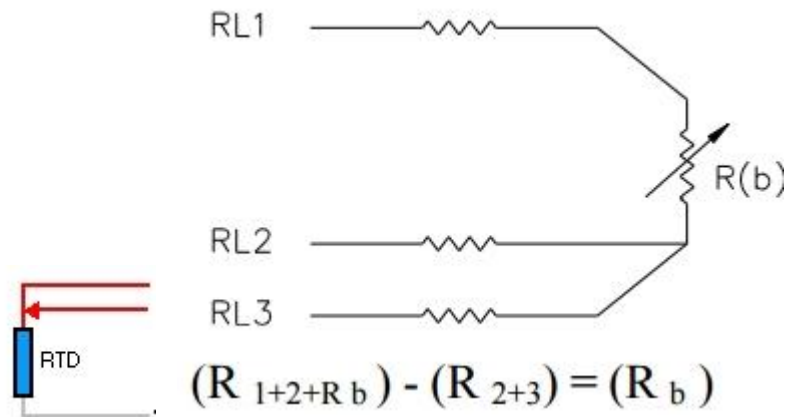


Figura 4. Conexión de Termocupla de 3 hilos

c) PT100 de 4 hilos

El método de 4 hilos es el más preciso de todos y se usa para laboratorio Figura 5. Los 4 cables pueden ser distintos, es decir de distinta resistencia, pero el instrumento lector es más costoso (SRC, 2018) (instrumentationtools, 2018).

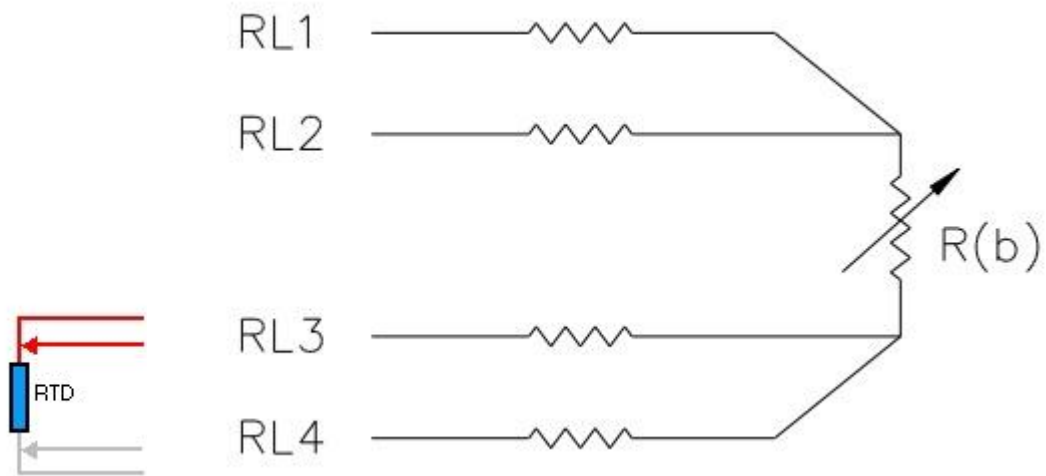


Figura 5. Conexión de Termocupla de 4 hilos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3. SENSOR DE TEMPERATURA Termocupla

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente debido a que soporta altas temperaturas. Una termocupla es un transductor que se forma al unir dos metales distintos para que así se produzca una diferencia de potencial que es pequeña, lo que es función de la diferencia de la temperatura entre uno de sus extremos que se denomina punto caliente y el otro llamado punto frío (ARIAN, 2018).

2.3.1 Características de una termocupla

Una termocupla está conformada por uno o más pares de termoelementos encapsulados en un material cerámico el cual es firmemente compactado en un tubo metálico o vástago como se ve en la Tabla 2 (WEISZ, 2018).

Tabla 2. Características de las termocuplas (WEISZ, 2018).

TUBOS DE PROTECCIÓN		
Material	Temperatura máxima de operación	
	Deg. C	Deg. F
Carbon steel	540	1000
Wrought iron	700	1300
Cast iron	700	1300
304 stainless steel	870	1600
316 stainless steel	870	1600
Chrome iron (446)	980	1800
Nickel	980	1800
Inconel	1150	2100
Porcelain	1650	3000*
Silicon Carbide	1650	3000
Silimanite	1650	3000*
Aluminum oxide	1760	3200*

En la Figura 6 podemos observar cómo está compuesta internamente una termocupla, la cual está compuesta por dos metales diferentes que están soldados, cables por los que circula la corriente generada por la termocupla, la cual llega a un solenoide que la redirige por medio de conductores nuevamente hacia los metales.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

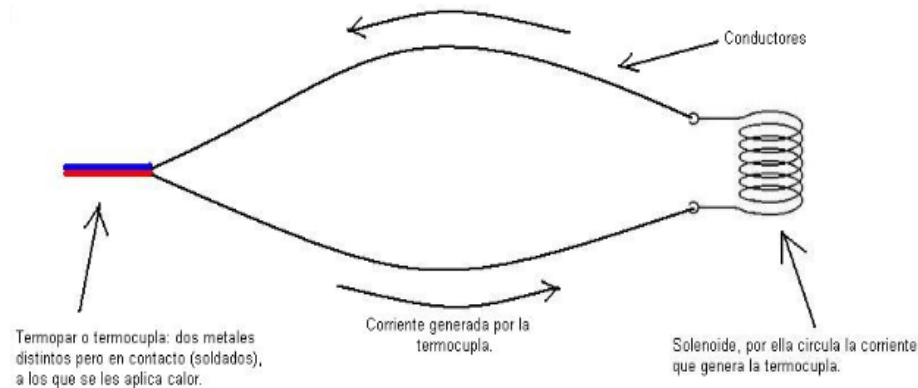


Figura 6. Configuración interna de una termocupla.

2.3.2. Tipos de termocuplas

Existen diferentes termocuplas ya que se forman solo con la unión de dos metales. Los tipos de termocuplas varían según el rango de temperatura que se desea medir, las principales son:

a) Tipo k

La unión está dada por cromel y alumel. Mide temperaturas entre -200 y $+1372$ °C, cabe destacar que el costo de esta es muy favorable (ARIAN, 2018).

b) Tipo J

Unión entre hierro y Constantán. Rango de temperatura entre -270 y $+1200$ °C (ARIAN, 2018).

c) Tipo T

Unión entre cobre y constantán. Rango de temperatura entre -200 y 260 °C (ARIAN, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4. LabVIEW y Arduino

Los programas como LabVIEW permiten generar una interfaz gráfica, constantemente son conectados con plataformas como Arduino por medio de un puerto serial para la adquisición de datos.

2.4.1. LabVIEW y programación orientada a objetos

La programación orientada a objetos (POO) sirve para diseñar aplicaciones y programas informáticos. Está basado en varias técnicas, incluyendo herencia, abstracción, polimorfismo y encapsulamiento (EcuRed, 2018).

LabVIEW es un entorno gráfico de programación orientada a objetos. El lenguaje con el que se programa se llama “Lenguaje G, donde la “G” simboliza que es un lenguaje de tipo gráfico. Los programas se dividen en dos partes, “Panel Frontal”, y “Diagrama de Bloques”, estos se explican a continuación en a) y b):

a) Panel frontal

Es la interfaz de los programas con el usuario, es decir, las entradas y salidas, botones, marcadores, gráficos (estuelectronic, 2018).

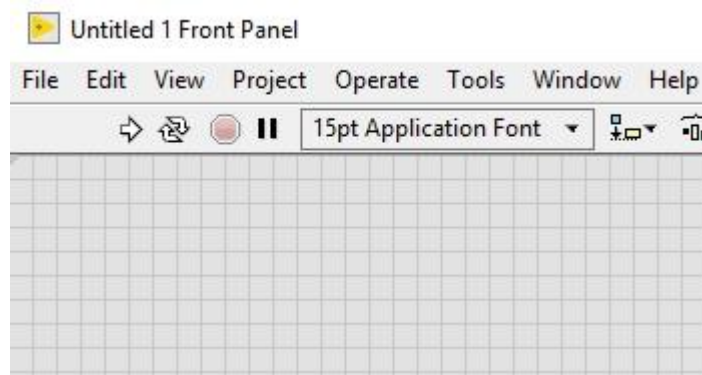


Figura 7. Panel frontal LabVIEW

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

b) Diagrama de bloques

Es el programa donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan, es decir, el código que controla el programa (estuelectronic, 2018).

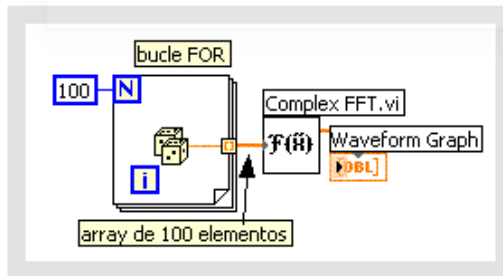


Diagrama de bloques

Figura 8. Bucle (for) LabVIEW (estuelectronic, 2018).

2.4.2 Arduino

Arduino consiste en una placa con un microcontrolador y un entorno de programación, diseñada para facilitar el uso de la electrónica digital en diferentes proyectos.

Arduino es una plataforma abierta que facilita la programación de un microcontrolador, se puede utilizar para crear aplicaciones que interactúan tanto con el hardware como con el software (Arduino, 2018).

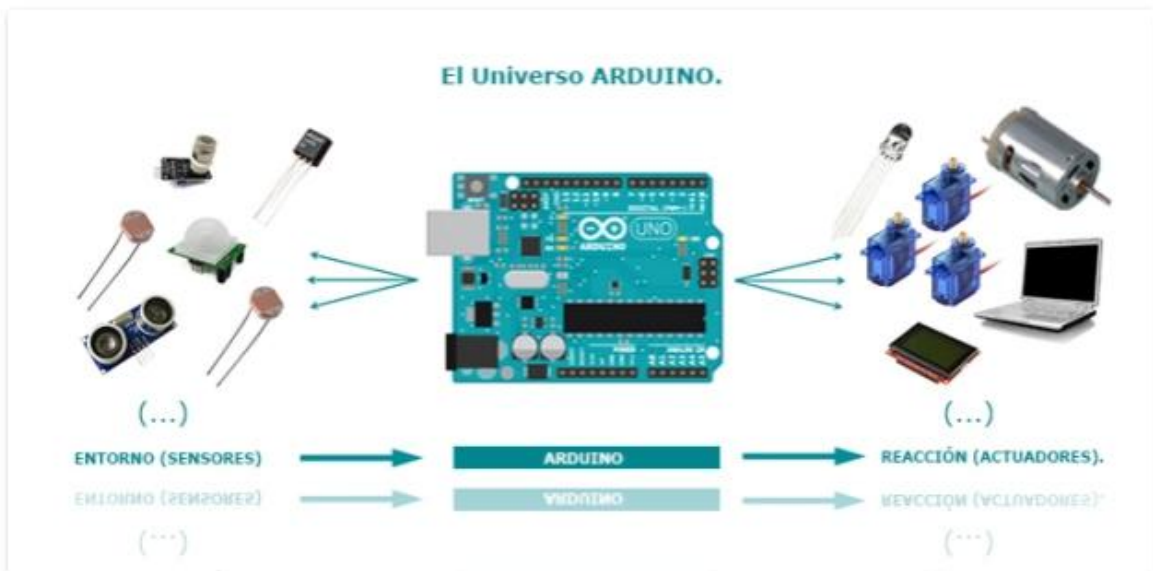


Figura 9. Arduino y sus componentes

2.5. Filtros pasivos

En los sistemas de comunicaciones se emplean filtros para dejar pasar solo las frecuencias que se desean y eliminar las restantes. Los filtros pasivos son los que están formados por combinaciones serie o paralelo de elementos R, L o C. Se hablará de los filtros pasa bajas, pasa altas y pasa bandas (Electrónica fácil, 2018).

2.5.1. Filtro pasa bajas

Su funcionamiento es a base de un condensador y una resistencia, este filtro tiene la siguiente configuración:

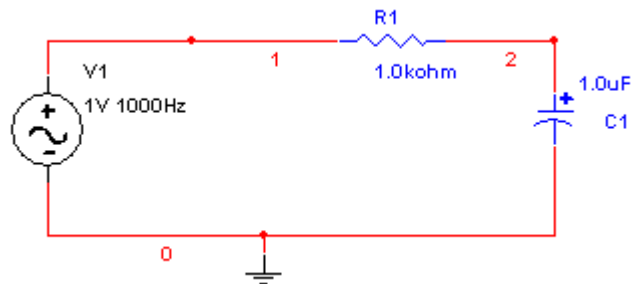


Figura 10. Filtro pasivo pasa bajas (Electrónica fácil, 2018).

Mientras más se aumenta la frecuencia de la fuente el condensador disminuye su impedancia, con lo que el voltaje que disipa disminuye, hasta tender a cero. Este tipo de filtro tiene una gráfica de respuesta en frecuencia:

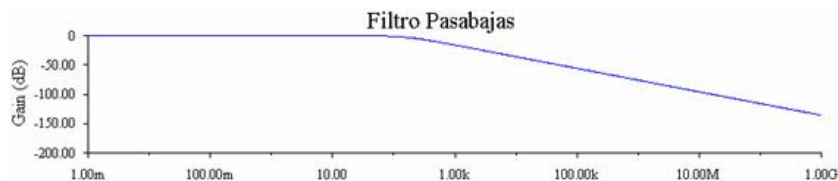


Figura 11. Grafica filtro pasivo pasa bajas (Electrónica fácil, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5.2. Filtro pasa altas

El único cambio con el filtro pasa bajas es que en la salida en vez de tomarse del condensador se toma de la resistencia por lo que en vez de dejar pasar las frecuencias bajas deja pasar las frecuencias altas, este filtro tiene la siguiente configuración:

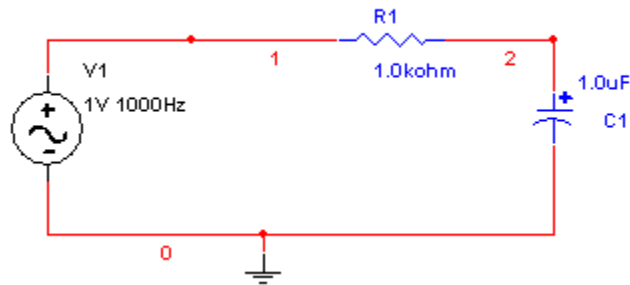


Figura 12. Filtro pasivo pasa altas (Electrónica fácil, 2018).

Cuando la frecuencia es muy baja el voltaje se consume en el condensador, por lo que en la salida no se tiene casi voltaje, cuando la frecuencia es aumentada casi todo el voltaje se tiene a la salida (Electrónica fácil, 2018). Este tipo de filtro tiene una gráfica de respuesta en frecuencia:

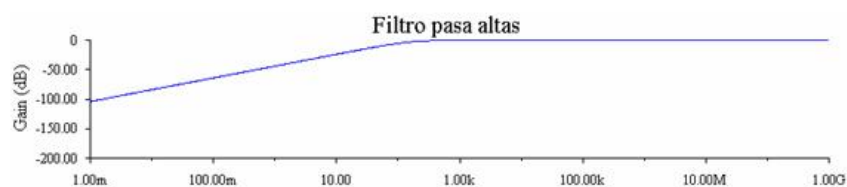


Figura 13. Grafica Filtro pasivo pasa altas (Electrónica fácil, 2018).

2.5.3 Filtro pasa bandas

Este se compone de un filtro pasa bajas y uno pasa altas conectados en cascada. La frecuencia de corte del filtro pasa altas debe ser menor que la del filtro pasa bajas (Electrónica fácil, 2018).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

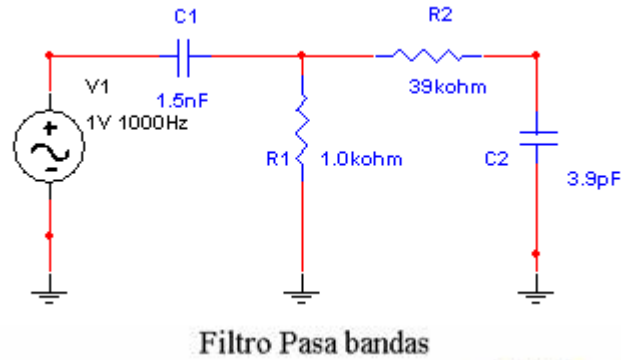


Figura 14. Filtro pasivo pasa bandas (Electrónica fácil, 2018).

La característica más importante de este circuito es el ancho de banda que permitiremos pasar, el ancho de banda es igual a la resta de las frecuencias de corte (Electrónica fácil, 2018).

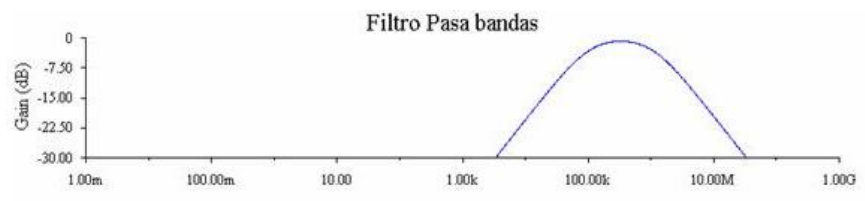


Figura 15. Grafica filtro pasivo pasa bandas (Electrónica fácil, 2018).

2.6. Filtros activos

Los filtros activos son los que cuentan con amplificadores operacionales, dependiendo de la configuración de dichos amplificadores operacionales el filtro permitirá el paso de ciertas señales y bloqueará el paso de otras (Lifeder.com, 2018).

En la Figura 16 se puede observar la representación de los cuatro filtros, LPF (filtro pasa bajas),

HPF (filtro pasa altas), BPF (filtro pasa bandas) y BSF (filtro rechaza bandas), las flechas que no se encuentran con una línea cruzada significa las frecuencias que deja pasar el filtro.

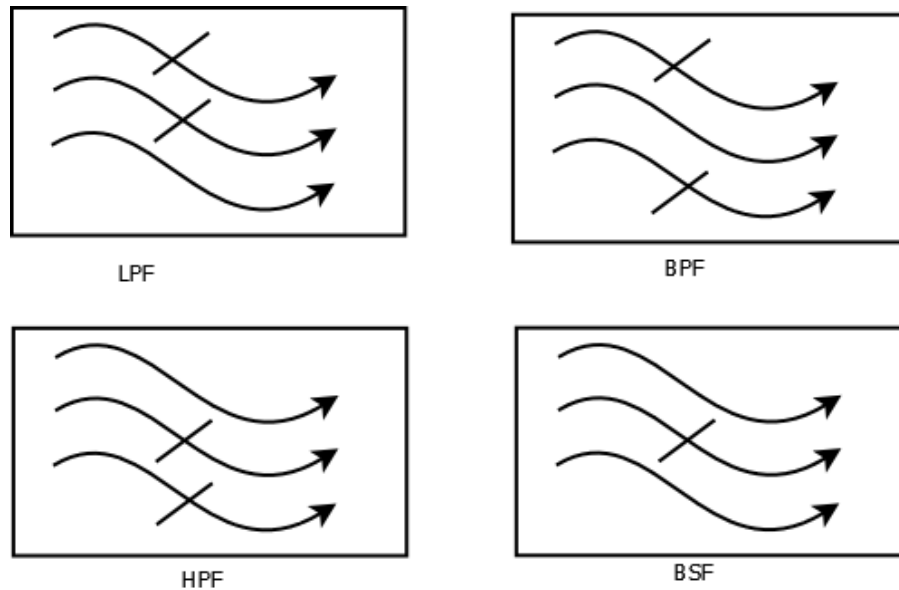


Figura 16. Señales filtros activos.

2.6.1 Filtro activo pasa bajas

Estos solo dejan pasar las frecuencias que son menores a la frecuencia de corte, las frecuencias que son mayores a la de corte son atenuadas. (Peña, 2018).

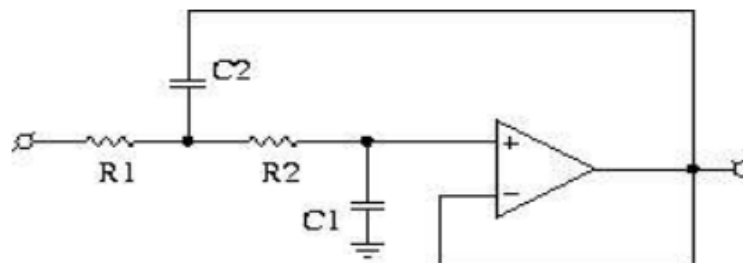


Figura 17. Filtro activo pasa bajas (Peña, 2018).

2.6.2 Filtro activo pasa altas

Estos solo dejan pasar las frecuencias que son mayores a la frecuencia de corte, las frecuencias que son menores a la de corte son atenuadas (Peña, 2018).

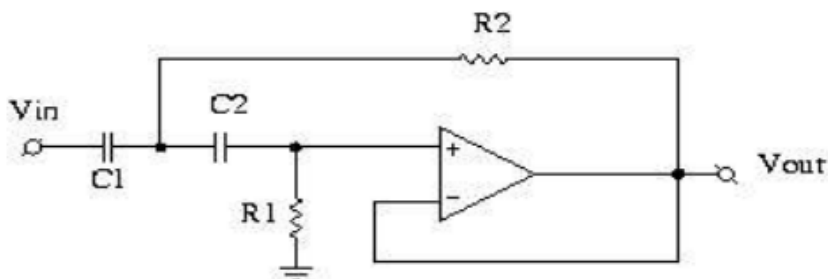


Figura 18. Filtro activo pasa altas (Peña, 2018).

2.6.3 Filtro activo pasa bandas

Este deja pasar ciertas frecuencias, localizadas dentro de un ancho de banda, y atenúa las que se encuentran fuera de este ancho. También hay una frecuencia de corte inferior y una superior, estas frecuencias son las que definen las frecuencias que serán atenuadas, es decir, dejará pasar las frecuencias que se encuentran dentro de estas frecuencias. El ancho de banda está definido como el rango de frecuencias entre dos puntos de corte, que son menor a 3dB que es el pico de la frecuencia de corte.

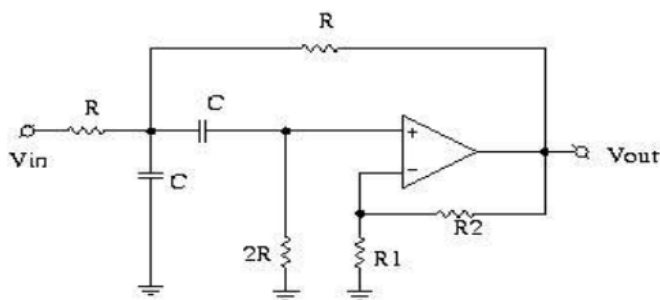


Figura 19. Filtro activo pasa bandas (Peña, 2018).

2.6.4. Filtro activo rechaza bandas

Este filtro no deja pasar las que se encuentran entre las frecuencias de corte superior e inferior. Se puede implementar con un filtro pasa baja con frecuencia de corte menor a la del filtro elimina banda y otro pasa altas con frecuencia de corte mayor a la del filtro elimina banda (Peña, 2018) .

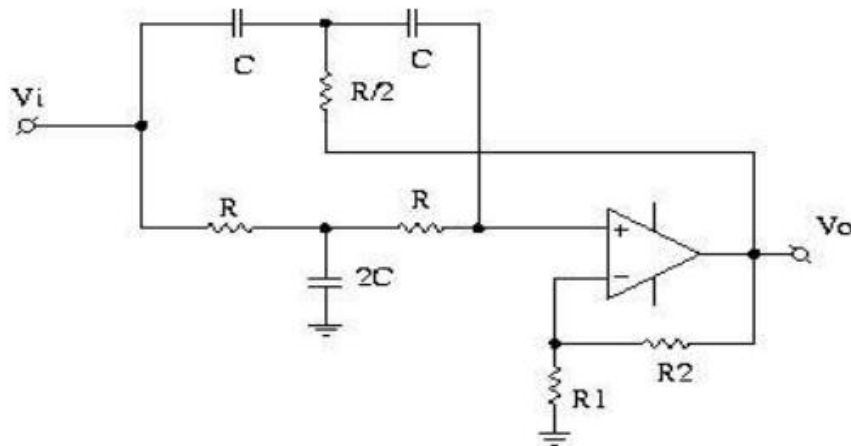


Figura 20. Filtro activo rechaza banda (Peña, 2018).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Se mostrará el acondicionamiento de una PT100 y de una termocupla por medio de amplificadores operacionales y se mostrará un sistema de adquisición de datos con el que se utilizará LabVIEW para la interfaz gráfica y Arduino para la toma de datos, estos dos se conectarán con un puerto serial. Se mostrará el diseño de los diferentes filtros activos en el entorno Webench de Texas Instruments y su respectivo montaje, desde el filtro pasa bajas hasta el filtro rechaza banda (TI, 2018).

3.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA PT100

Se hace el acondicionamiento de la PT100 comenzando con un puente de Wheatstone para sacar los dos voltajes que serán llevados a él amplificador operacional AD620N el cual genera la salida, también se utilizan capacitores para filtrado y leds indicadores; este sistema es llevado a una interfaz gráfica en LabVIEW por medio de Arduino para el muestreo de los datos obtenidos.

3.1.1. Diseño con amplificador operacional AD620N

El puente Wheatstone se define como un conjunto de resistencias, con el fin de obtener una diferencia de potencial entre A y B, la cual se opera con el amplificador de instrumentación como se ve en la Figura 22.

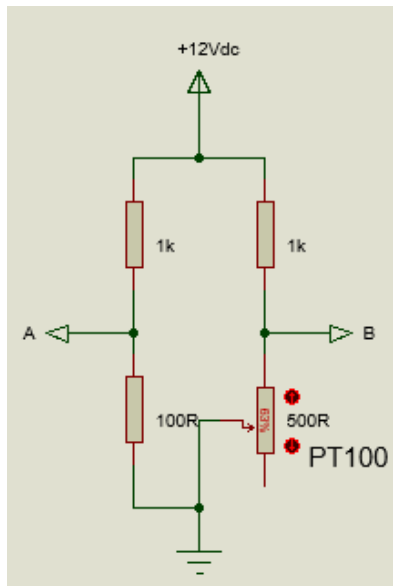


Figura 21. Puente de Wheatstone.

El valor de la resistencia de 100R se selecciona de acuerdo con el valor mínimo de resistencia de la PT100 cuando esta se encuentra en 0°C, es decir, el valor de resistencia para la PT 100 en 0°C es de 100 Ω. Los valores de las resistencias superiores en el divisor de tensión se eligen de valor igual, y acordando también que estas limitan la cantidad de corriente que pasa a través de la PT 100 y la resistencia de 100 Ω, así evitando una alta disipación de potencia en una simple lectura. En la Figura 22 se presenta la conexión del amplificador de instrumentación AD620N.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

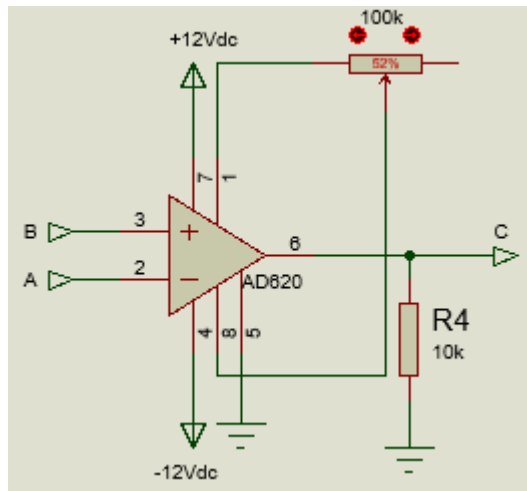


Figura 22. Configuración AD620N.

El amplificador de instrumentación recibe los voltajes y los opera como una diferencia, de ahí la ecuación característica del amplificador operacional (*ecuación obtenida por medio del fabricante*).

$$V_O = (V_B - V_A) \left(\frac{49.4 \cdot 10^3}{R_G} + 1 \right) \quad (7)$$

Teniendo en cuenta que la resistencia R_G está conectada entre los pines 1 y 8 del AD620N, se muestra en la Figura 22, se tiene una resistencia variable para hacer calibración del circuito al momento de implementarse.

El circuito interno AD620N cuenta con un pin de *REFERENCIA* el cual es para definir el punto de arranque de la señal, o a partir de qué voltaje aparece la señal de salida, si la referencia es GND como es el caso, entonces se define que el punto de partida del voltaje es de cero voltios, si es de 2.5, entonces el voltaje de arranque es de 2.5V.

La resistencia de 10K que está conectada en el pin 6 del circuito integrado, es una resistencia de carga, la cual sirve para tomar el voltaje en referencia a un elemento de acción final.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

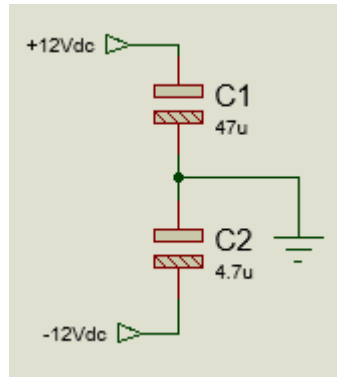


Figura 23. Filtrado de Ruidos.

Como se ve en la Figura 23, el circuito cuenta con capacitores de desacople para atenuación de picos de corriente, evitando así la inestabilidad de voltaje otorgado por la fuente.

El valor de la capacitancia se elige de forma aproximada, sin cálculos, solo teniendo en cuenta una cantidad de corriente se define.

La polarización del circuito integrado es +12V y -12V. con una salida calibrada para un valor máximo de acuerdo con el máximo valor de lectura.

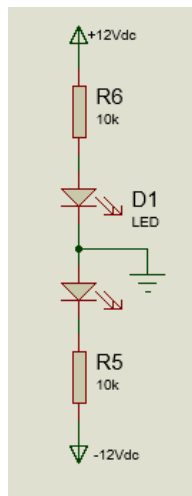


Figura 24. Leds indicadores de polarización.

La Figura 24 presenta leds indicadores de voltaje, con el fin de identificar el estado de alimentación del circuito, si está polarizado o no, o si por el contrario está mal polarizado (AD620N muerto).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La Figura 25 presenta las borneras de conexión que se definen en el documento de Proteus.

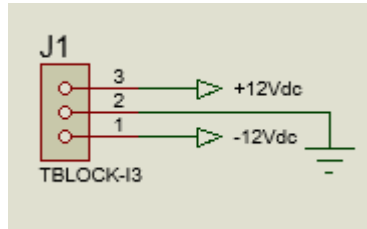


Figura 25. Borneras de conexión.

El circuito esquemático e impreso es diseñado en el software Proteus 8.0 (Labcenter, 2018). La PCB diseñada se muestra en la Figura 26.

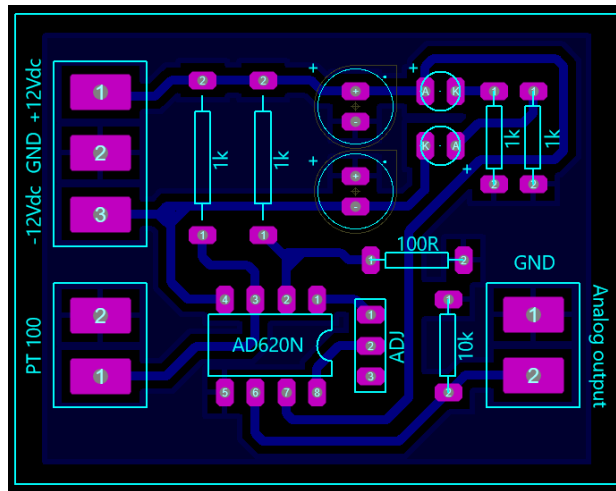


Figura 26. Diseño PT100 PCB.

En la Figura 27 se puede ver el circuito de acondicionamiento de la PT100 montado en tarjeta con el amplificador de Instrumentación AD620N.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

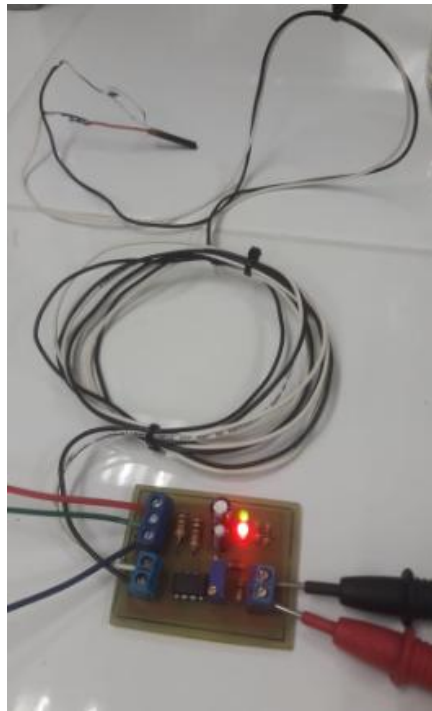


Figura 27. Montaje físico PT100.

3.1.1. Programa en LabVIEW para visualizar datos de la PT100

El software diseñado en LabVIEW muestra el diagrama del funcionamiento del acondicionamiento de la PT100 como se muestra en la Figura 28. Para el diseño se utiliza el módulo de configuración Visa, un bloque Visa de escritura para configurar el puerto COM y establecer los baudios a 9600 con respecto a Arduino. El programa corre dentro de un bucle infinito que asegura que siempre esté funcionando y un botón de paro.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

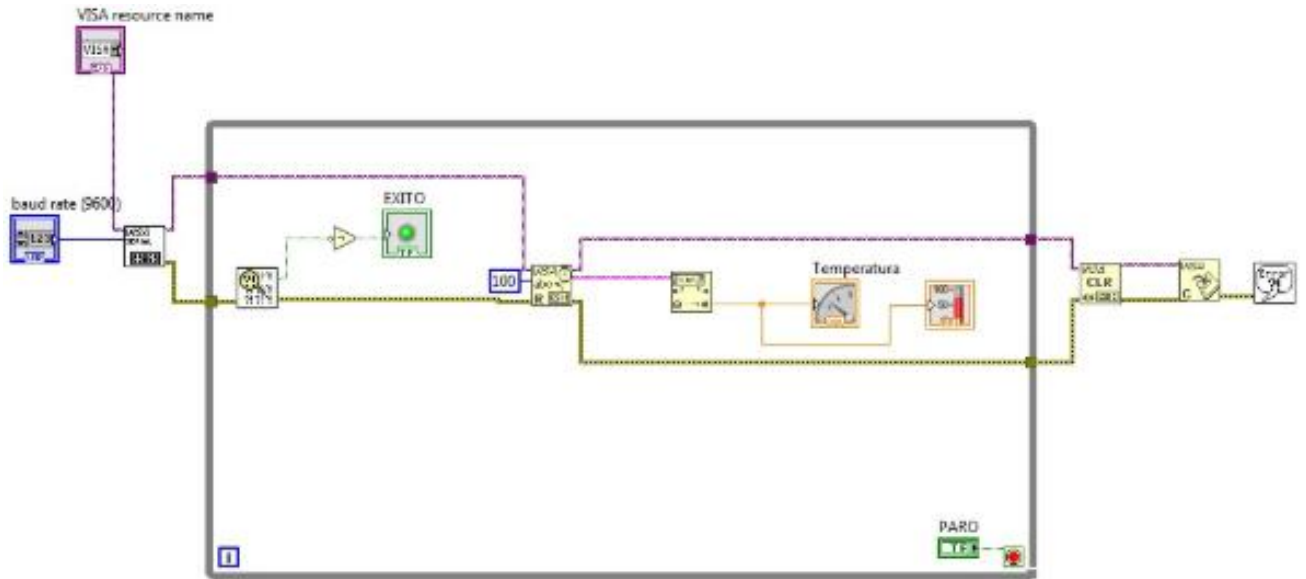


Figura 28. Software en LabVIEW para PT100.

En el panel frontal de la aplicación utiliza 2 displays con diferente visualización que representan el dato proveniente de Arduino como se ve en la Figura 29.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

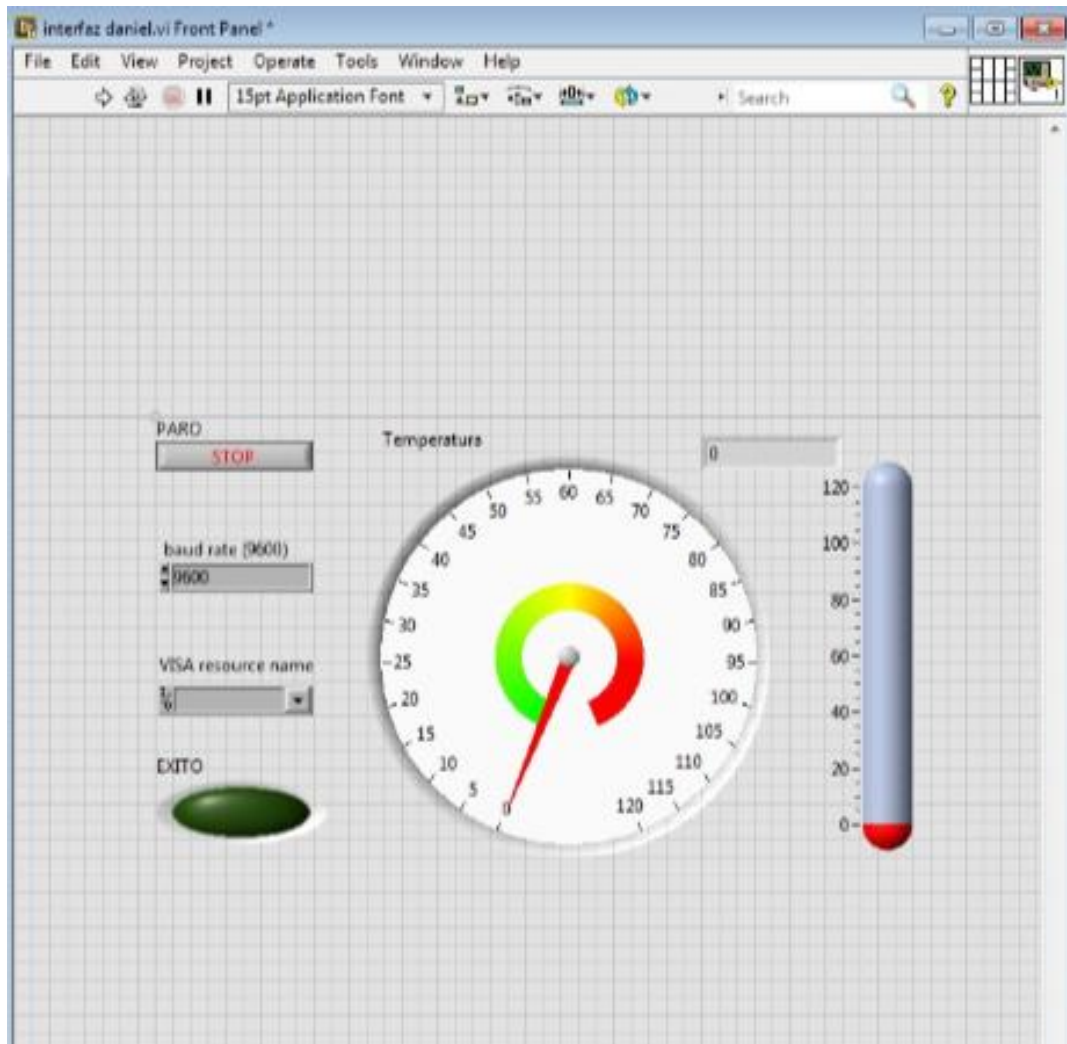


Figura 29. Panel frontal para PT100.

3.1.2. Programa en Arduino para PT100

El software de LabVIEW se conecta por medio del puerto serial a un programa diseñado en Arduino el cual envía la señal analógica generada por el circuito de acondicionamiento de la PT100 como se ve en la Figura 30.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

interfaz_arduino_daniel
unsigned int entrada=0;//variable donde se guarda el valor de la entrada analoga A0
unsigned int pt100=0;//Salida de la señal en grados centigrados pt100

void setup() {
  Serial.begin(9600);//Inicializacion comunicacion serial
}

void loop() {

  entrada=(analogRead(A0));//entrada analoga
  pt100 = entrada*0.118;

  Serial.println(pt100,DEC);//Impresion del valor decimal,valor que leera labview
}

```

Figura 30. Programa Arduino para PT100.

Por medio del pin analógico A0 de Arduino se ingresa un voltaje proveniente del circuito de acondicionamiento de la PT100, este valor se guarda en una variable tipo entera llamada entrada, la entrada se multiplica por 0.118 que es el valor promedio con el que sube la temperatura en el circuito según los datos tomados en la Tabla 3 de los resultados, este valor se envía por puerto serial a LabVIEW.

3.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA Termocupla

Se hace el acondicionamiento de la Termocupla con el amplificador operacional LM358 el cual genera la salida, también se utiliza protección contra sobre corriente y leds indicadores; este sistema es llevado a una interfaz gráfica en LabVIEW por medio de Arduino para el muestreo de los datos obtenidos.

3.2.1. Diseño con amplificador operacional LM358

Se entiende que la termocupla tipo k en su salida entrega un voltaje muy pequeño (véase tabla de Creus), por ello es propenso a que la señal de voltaje se altere con facilidad; para ello entonces se hace uso de un filtro pasivo en la entrada no inversora, con el fin de filtrar posibles ruidos, y evitar que la medida se modifique debido al mismo. Dicho filtro cuenta con una bobina, un condensador y una resistencia de descarga del condensador y bobina como se ve en la Figura 31.

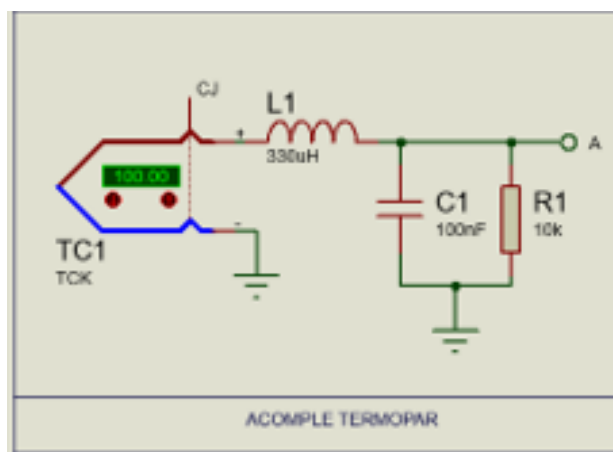


Figura 31. Acople Termocupla.

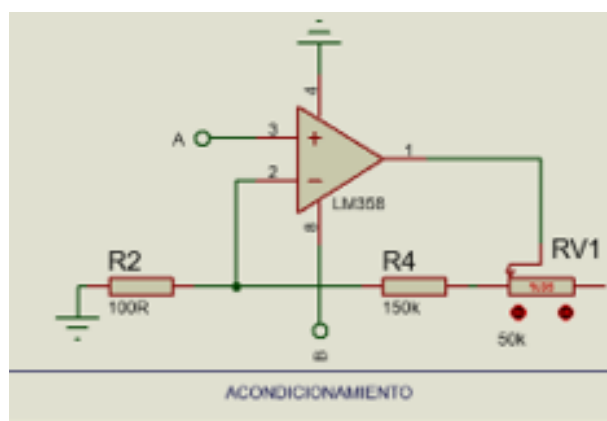


Figura 32. Acondicionamiento amplificador.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con el amplificador LM358 se polariza con voltaje positivo de +5Vdc, y con tierra en su pin de polarización negativa como se ve en la Figura 32. La etapa de amplificación es no inversora, por lo que la ecuación (8) define la función de transferencia.

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \left(1 + \frac{R_4 + R_{V1}}{R_2} \right) \quad (8)$$

Si se recurre a la tabla de Creus (Creus, 2011), la señal de voltaje emitido por la termocupla tipo k al momento en que esta sensa 100°C (temperatura de ebullición del agua) es equivalente a 4.095mV. Al momento en que esto ocurra, el amplificador operacional llegaría a su punto de saturación, es decir, teóricamente la salida del amplificador llegaría a 5Vdc, sin embargo, eso no es posible debido a que el amplificador disipa una cantidad de potencia, por lo que, en la salida, si se polariza el AO (amplificador operacional) con +5Vdc, el voltaje de saturación está por debajo de los 5Vdc, aproximadamente 1V o un poco más.

Al hacer pruebas de saturación, solo permite que la salida llegue hasta un valor de 3.66, al momento de diseñar un programa en algún microcontrolador, es importante definir que esta señal analoga no llega hasta los 5V (equivalente a 2n en binario según la resolución del A/D), sino que llegaría a un valor inferior, por lo que se puede programar con una referencia externa al microcontrolador, o simplemente por medio de una regla de tres se obtenga la relación (véase ecuación 9) con respecto al voltaje de saturación.

$$\text{equivalente en valor binario} = \frac{2^n V_{O_{SAT}}}{5V_{DC}} \quad (9)$$

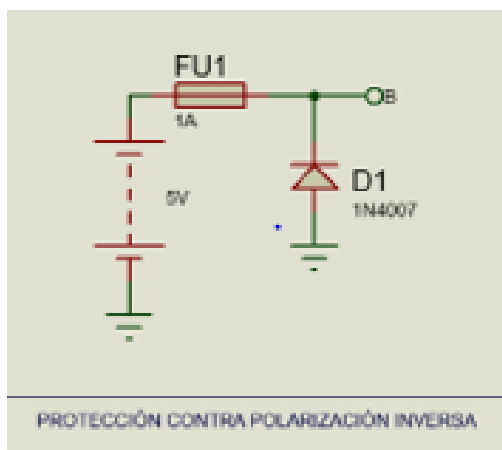


Figura 33. Protección contra polarización inversa.

En la Figura 33 se muestra que el circuito cuenta con protección contra polarización inversa, la cual está conformada por el diodo D1 y el fusible.

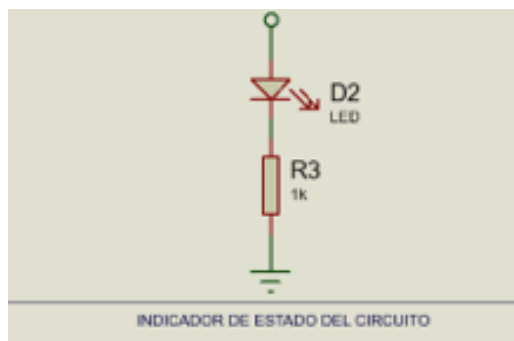


Figura 34. Led indicador.

En la Figura 34 se muestra un led indicador que da a conocer el estado del circuito, si está o no polarizado, o si se degradó el fusible.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

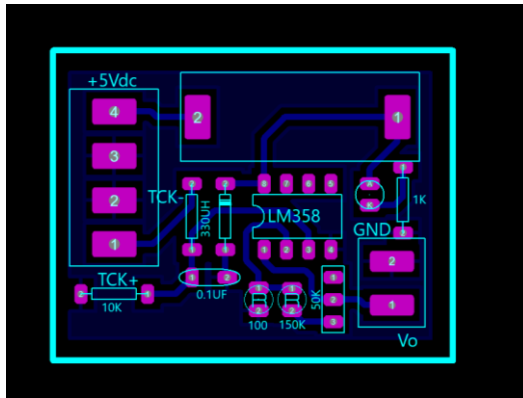


Figura 35. Diseño Termocupla PCB.

El circuito esquemático e impreso es diseñado en el software Proteus 8.0 como se ve en la Figura 35.



Figura 36. Montaje físico Termocupla.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 36 se puede ver el circuito de acondicionamiento de la Termocupla montado en PCB y funcionando.

3.2.2. Software de LabVIEW para visualización de sensado de la Termocupla K

Se diseñó un software en LabVIEW, el diagrama de bloques se muestra en la Figura 37, tiene una implementación similar al de la PT100 (inciso 3.1.1.) .

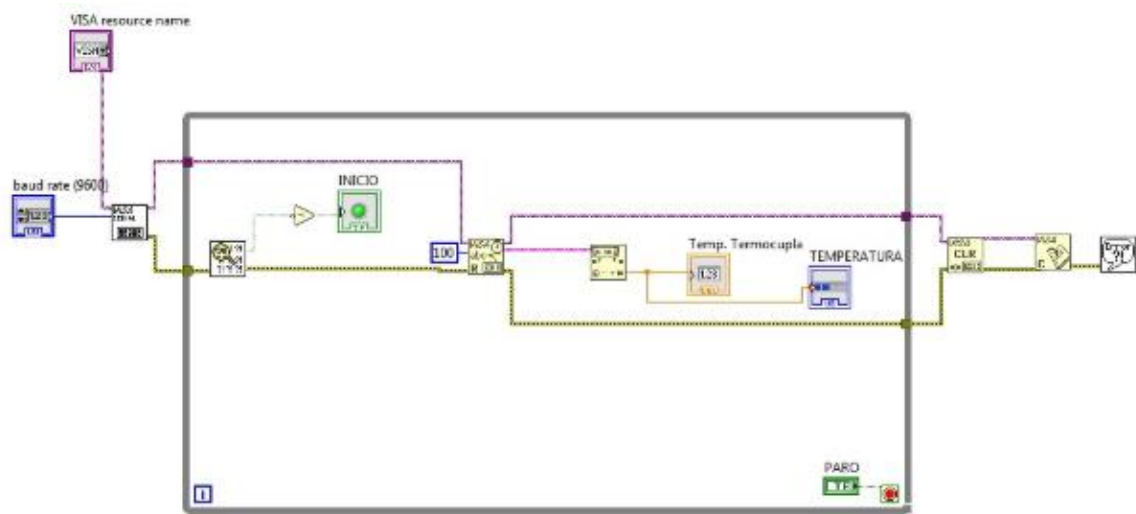


Figura 37. Software en LabVIEW para Termocupla.

Se utiliza el módulo de configuración Visa y un bloque Visa de escritura para configurar el puerto COM y establecer los baudios a 9600 con respecto a Arduino, el programa corre dentro de un bucle que asegura que siempre esté funcionando y un botón de paro. Por medio de una combinación de bits se acomodan el Com y los baudios y se muestran en sus respectivos displays.

En el panel frontal de la aplicación se implementan dos displays, uno numérico y otro en barra que representan el dato proveniente de Arduino para el valor medido de la termocupla k, como se ve en la Figura 38.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

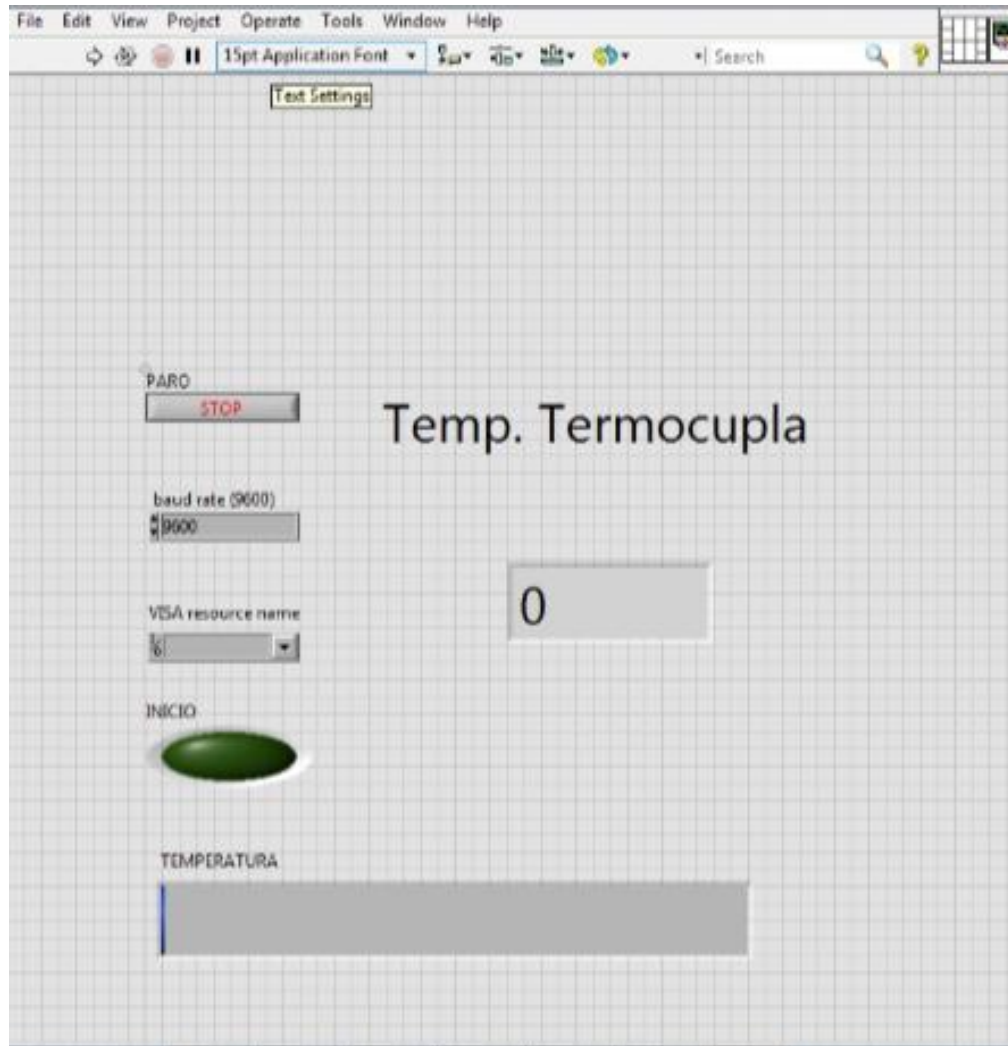


Figura 38. Panel frontal termocupla.

3.2.3. Programa en Arduino para Termocupla

El software de LabVIEW se conecta por medio de un puerto serial a un programa diseñado en Arduino el cual envía la señal analógica generada por el circuito de acondicionamiento de la Termocupla como se ve en la Figura 39.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

termocupla
unsigned int entrada=0;//variable entrada A0
unsigned int termo=0;//Variable de salida de la termocupla en grados centigrados

void setup() {
  Serial.begin(9600);//Inicio comunicacion serial
}

void loop() {

  entrada=(analogRead(A0));
  termo = (entrada*0.094)+25;

  Serial.println(termo,DEC);//impresion puerto serial de la termo, valor para interfaz labview
}

```

Figura 39. Programa en Arduino para Termocupla.

Por medio del pin analógico A0 de Arduino se ingresa un voltaje proveniente del circuito de acondicionamiento de la PT100, este valor se guarda en una variable tipo entera llamada entrada, la entrada se multiplica por 0.094 y a el valor resultante se le suma 25 ya que es el valor promedio con el que sube la temperatura en el circuito según los datos tomados en la Tabla 4, y este valor se envía por puerto serial a LabVIEW.

3.3. FILTROS ACTIVOS

Se diseñaron y se montaron una serie de filtros activos (LP, HP, BP, RB) de segundo orden topología Sallen and Key para el filtrado de señales acústicas. Dichos filtros fueron diseñados en la plataforma de Webench, la cual tiene como una de sus tantas aplicaciones el diseño de filtros (TI, 2018). <http://www.ti.com/tools-software/design-center/Webench-power-designer.html>.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.1. Filtro LP

En la Figura 40 se presenta un filtro pasa baja de segundo orden con topología Sallen and Key Butterworth diseñado en la plataforma Webench utilizando una frecuencia de corte de 3KHz y un rizado de 3dB

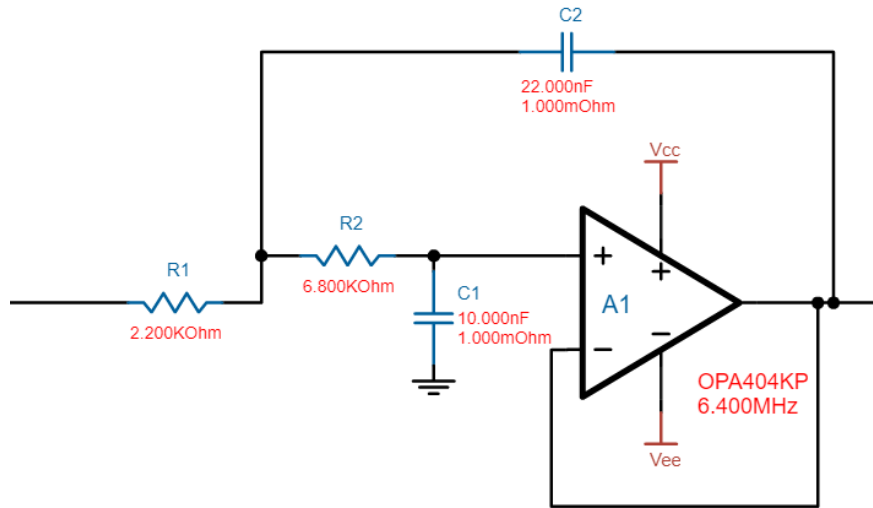


Figura 40. Diseño en Webench filtro pasa baja Sallen and Key.

En la Figura 41 se observa la gráfica que se genera al simular el filtro en la plataforma en Webench, esta muestra que después de los 3KHz siendo esta la frecuencia de corte empieza a disminuir la amplitud de la onda del filtro.

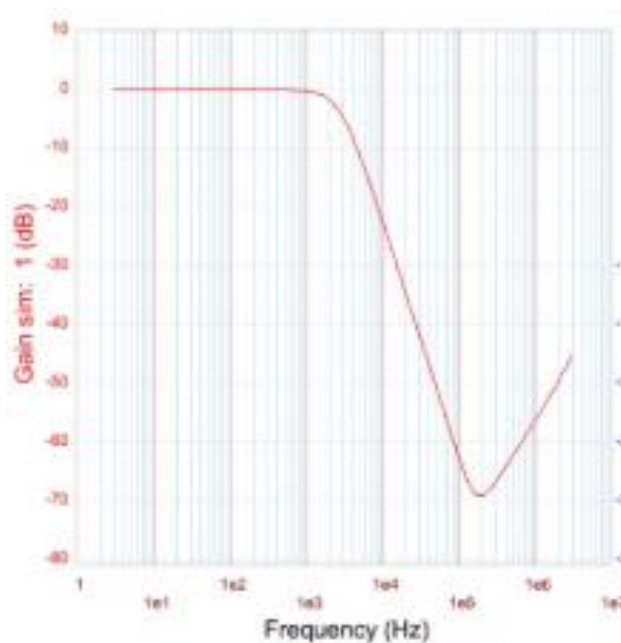


Figura 41. Gráfica de Webench filtro pasa bajas.

El circuito esquemático e impreso es diseñado en el software Proteus 8.0. como se ve en la Figura 42.

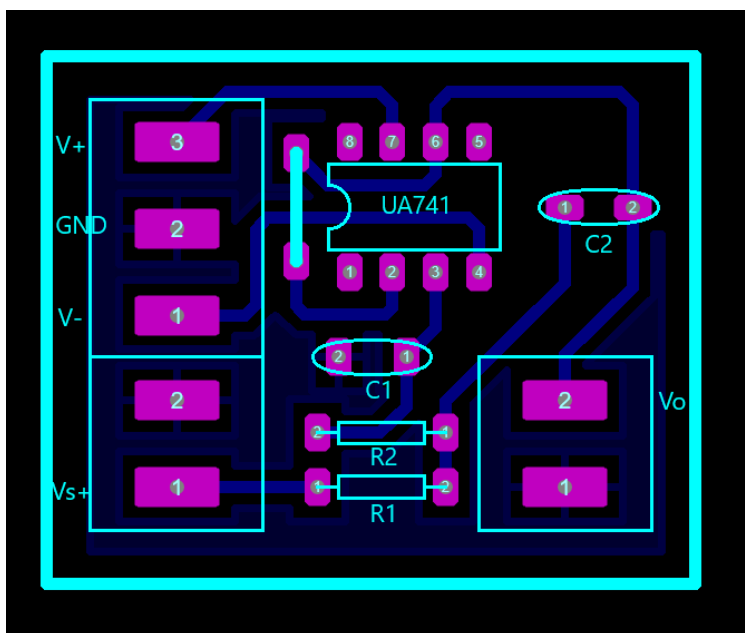


Figura 42. Diseño filtro pasa bajas PCB.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 43 se puede observar la estructura del filtro pasa bajo (LP) de segundo orden con estructura Sallen and Key.

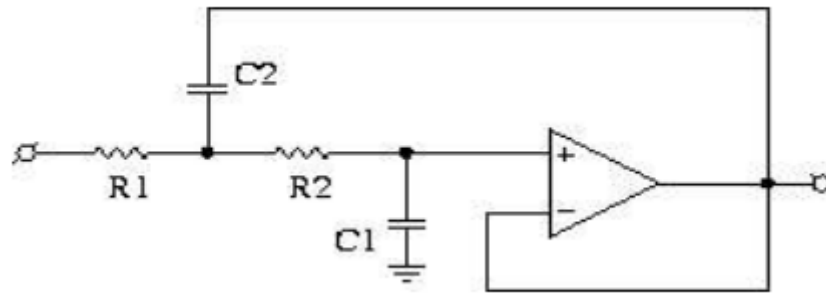


Figura 43. Filtro pasa bajas Sallen and Key.

La función de transferencia para el filtro pasabajas está representada en la ecuación (10).

$$f(s) = \frac{A_0}{1 + Wc[C_1(R_1 + R_2) + (1 - A)R_1C_2]s + Wc^2R_1R_2C_1C_2s^2} \quad (10)$$

Para un filtro de ganancia 1 como se ve en la anterior figura se deben usar los siguientes coeficientes:

$$A_0 = 1 \quad (11)$$

$$a_1 = WcC_1(R_1 + R_2) \quad (12)$$

$$b_1 = Wc^2R_1R_2C_1C_2 \quad (13)$$

Reemplazando A_0 en la función de transferencia tenemos que:

$$f(s) = \frac{1}{1 + WcC_1(R_1 + R_2)s + Wc^2R_1R_2C_1C_2s^2} \quad (14)$$

Dándole valores a C_1 y a C_2 :

$$R_{1,2} = \frac{a_1C_2 \pm \sqrt{a_1^2C_2^2 - 4b_1C_1C_2}}{4\pi f_c C_1C_2} \quad (15)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para obtener valores reales:

$$C2 \geq C1 \frac{4b1}{a1^2} \quad (16)$$

En la Figura 44 se muestra el PCB montado que representan el filtro pasa bajas Sallen and Key diseñado en Webench.

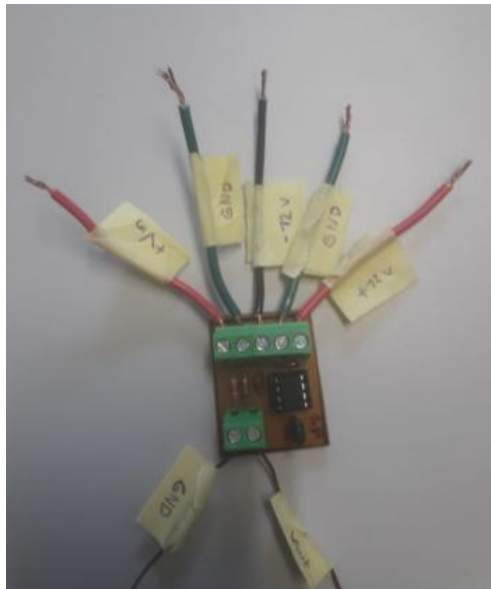


Figura 44. Montaje físico filtro pasa bajas.

3.3.2. Filtro HP (High Pass)

En la Figura 45 se presenta un filtro pasa alta de segundo orden con topología Sallen and Key Butterworth diseñado en la plataforma Webench utilizando una frecuencia de corte de 3KHz y un rizado de 3dB

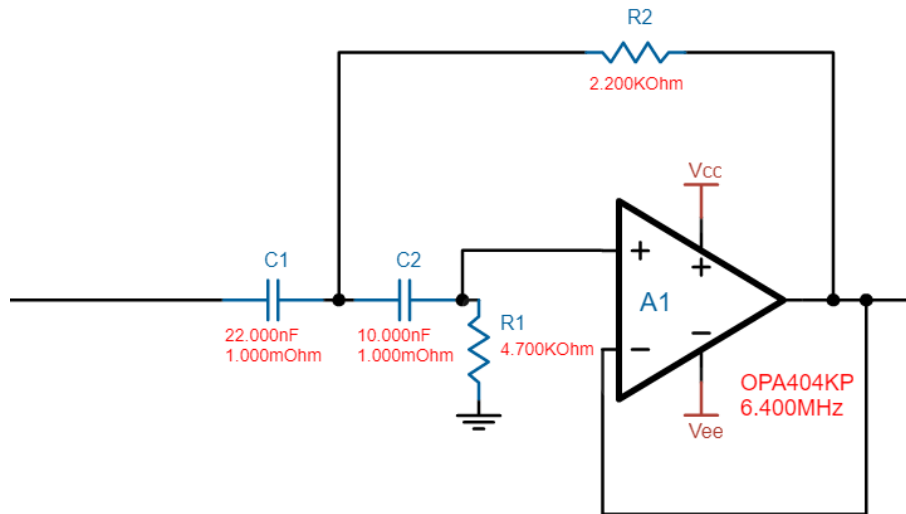


Figura 45. Diseño en Webench filtro pasa altas Sallen and Key.

En la Figura 46 se observa la gráfica que se genera al simular el filtro en la plataforma en Webench, esta muestra que después de los 3KHz siendo esta la frecuencia de corte empieza a aumentar la amplitud de la onda del filtro

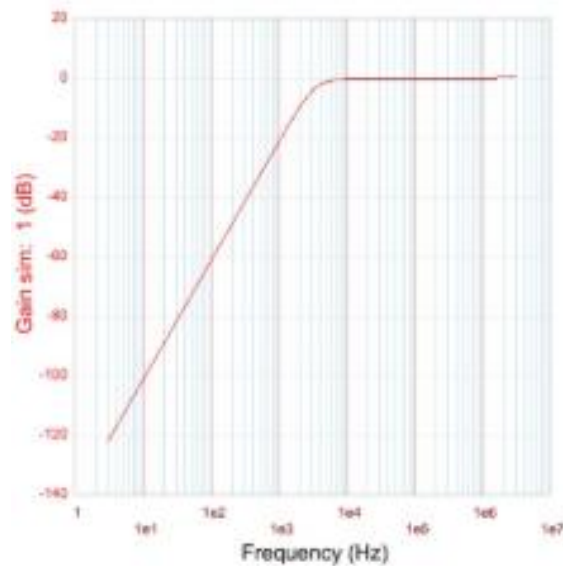


Figura 46. Gráfica en Webench filtro pasa altas.

El circuito impreso es diseñado en el software Proteus 8.0. se detalla en la Figura 47.

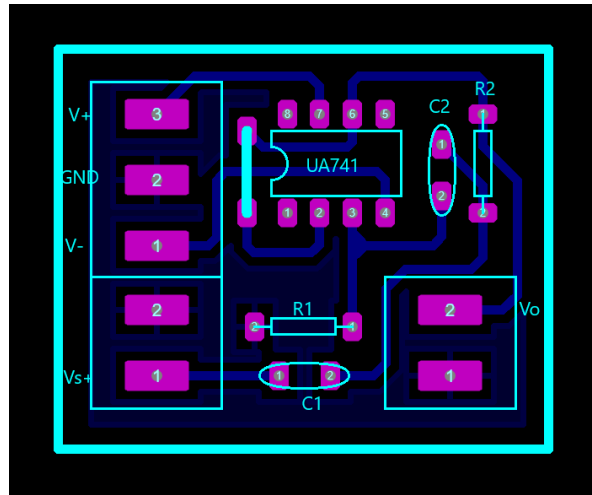


Figura 47. Diseño filtro pasa altas PCB.

En la Figura 48 se puede observar la estructura del filtro pasa altas (HP) de segundo orden con estructura Sallen and Key.

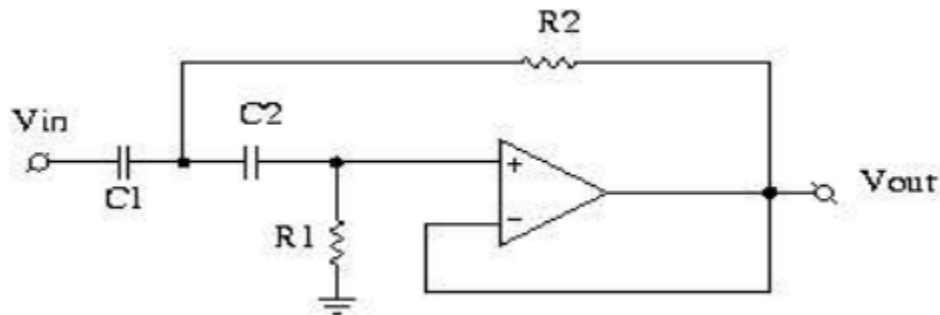


Figura 48. Filtro pasa altas Sallen and Key.

Teniendo como función de transferencia:

$$F(s) = \frac{A_{\infty}}{\left(1 + \frac{a_1}{s} + \frac{b_1}{s^2}\right)} \quad (17)$$

Para un filtro de ganancia 1 como se ve en la anterior tendríamos que:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$F(s) = \frac{1}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2)}{w_c R_1 R_2 C_1 C_2} s + \frac{1}{w_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2} s^2} \quad (18)$$

Suele hacerse que $C_1 = C_2$

$$a_1 = \frac{2}{w_c R_1 C} \quad (19)$$

$$b_1 = \frac{1}{w_c^2 R_1 R_2 C^2} \quad (20)$$

Para hallar R_1 y R_2 :

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1} \quad (21)$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1} \quad (22)$$

En la Figura 49 se muestra el PCB montado que representa el filtro pasa altas Sallen and Key diseñado en Webench.

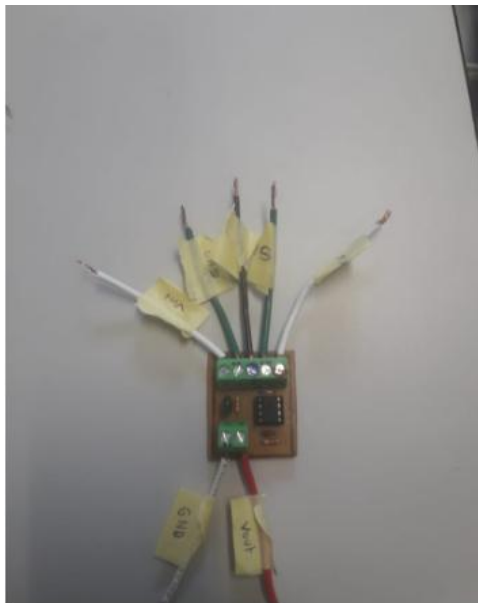


Figura 49. Montaje físico filtro pasa altas.

3.3.3. Filtro BP

En la Figura 50 se presenta un filtro pasa alta de segundo orden con topología Sallen and Key MultiFeedBack diseñado en la plataforma Webench utilizando una frecuencia de corte de 3KHz y un rizado de 3dB.

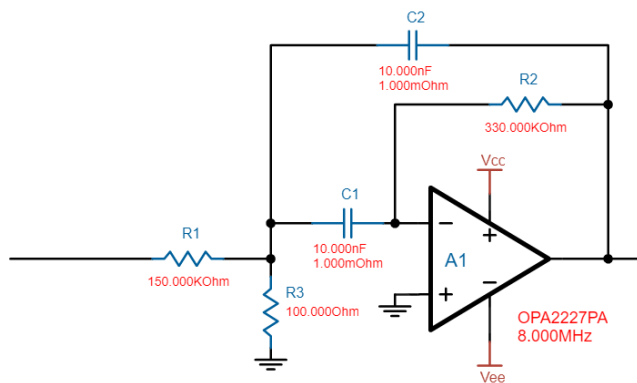


Figura 50. Diseño en Webench filtro pasa bandas Sallen and Key.

En la Figura 51 se observa la gráfica que se genera al simular el filtro en la plataforma en Webench, esta muestra que antes de los 3KHz y después de los 3 KHz siendo esta la frecuencia de corte empieza a disminuir la amplitud de la onda del filtro, solo deja pasar la onda en su punto de corte.

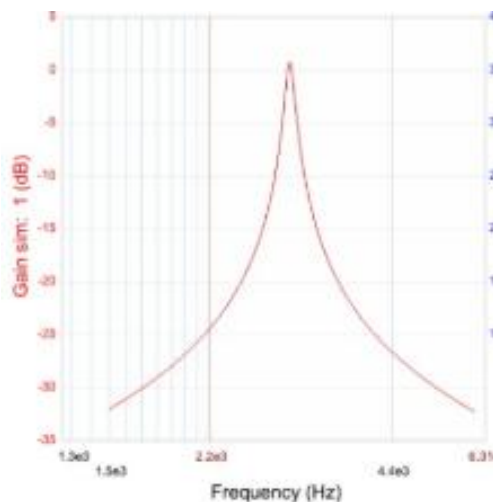


Figura 51. Gráfico Webench filtro pasa bandas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El circuito esquemático e impreso es diseñado en el software Proteus 8.0. como se ve en la Figura 52.

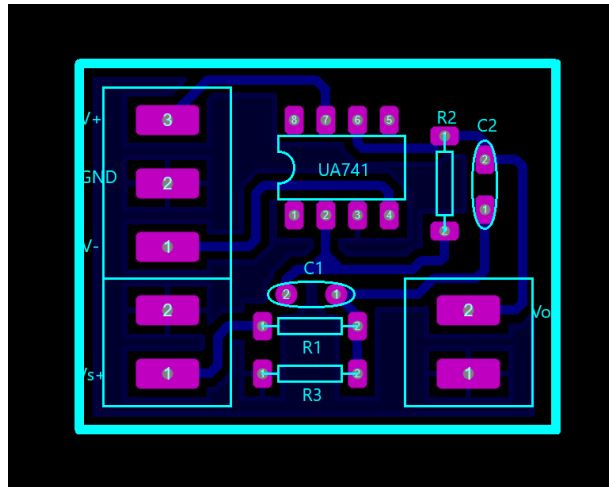


Figura 52. Diseño filtro pasa bandas PCB.

En la Figura 53 se puede observar la estructura del filtro pasa banda (BP) de segundo orden con estructura Sallen and Key

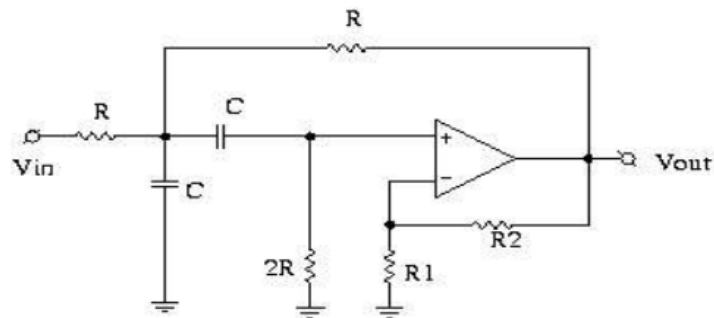


Figura 53. Filtro pasa bandas Sallen and Key.

Teniendo como función de transferencia para el filtro pasabanda la ecuación (23).

$$F(s) = \frac{G.R.C.w_m.s}{1+R.C.w_m(3-G).s+R^2.C^2.w_m^2.s^2} \quad (23)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La frecuencia central:

$$f_m = \frac{1}{2\pi R C} \quad (24)$$

La ganancia propia:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (25)$$

La ganancia a frecuencia central:

$$A_m = \frac{G}{3-G} \quad (26)$$

El factor de calidad del filtro:

$$Q = \frac{1}{3-G} \quad (27)$$

Se debe especificar F_m y C y entonces resolver R

$$R = \frac{1}{2\pi F_m C} \quad (28)$$

Como R_2 depende de Q y de A_m , tenemos dos opciones a la hora de resolverlo. Una sería fijando la ganancia a frecuencias medias y la otra sería especificando un factor de calidad determinado.

$$R_2 = \frac{2A_m - 1}{1 + A_m} \quad (30)$$

$$R_2 = \frac{2Q - 1}{Q} \quad (31)$$

En la Figura 54 se muestra el PCB montado que representan el filtro pasa banda Sallen and Key diseñado en Webench.

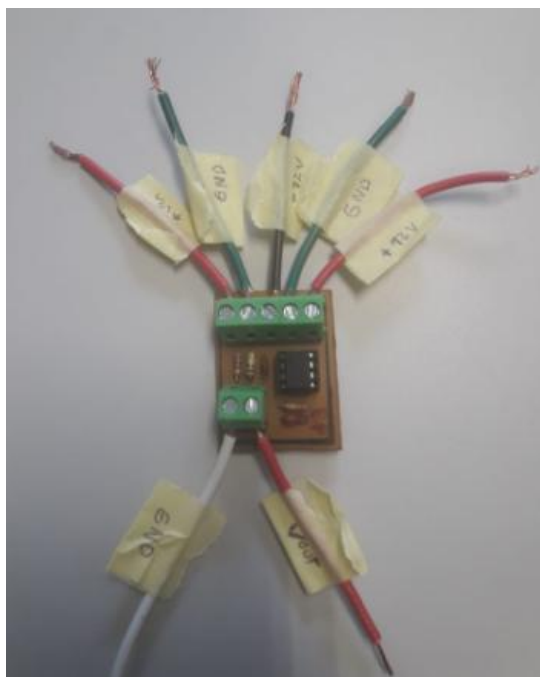


Figura 54. Montaje físico filtro pasa bandas.

3.3.4. Filtro RB

En la Figura 55 se presenta un filtro rechaza banda de segundo orden con topología Sallen and Key Butterworth diseñado en la plataforma Webench utilizando una frecuencia de corte de 3KHz y un rizado de 3dB.

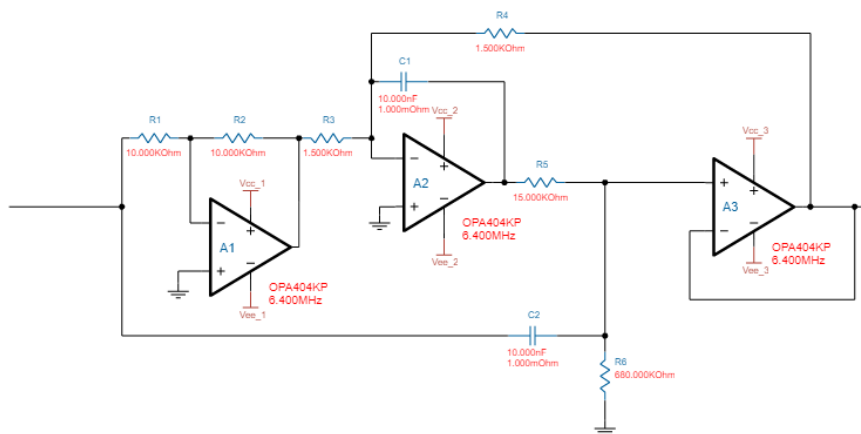


Figura 55. Diseño en Webench filtro rechaza bandas Sallen and Key.

En la Figura 56 se observa la gráfica que se genera al simular el filtro en la plataforma en Webench, esta muestra que después de los 3KHz y antes de los 3 KHz siendo esta la frecuencia de corte aumenta la amplitud de la onda del filtro y en la frecuencia de corte se atenúa y disminuye ya que rechaza la banda en dicha frecuencia.

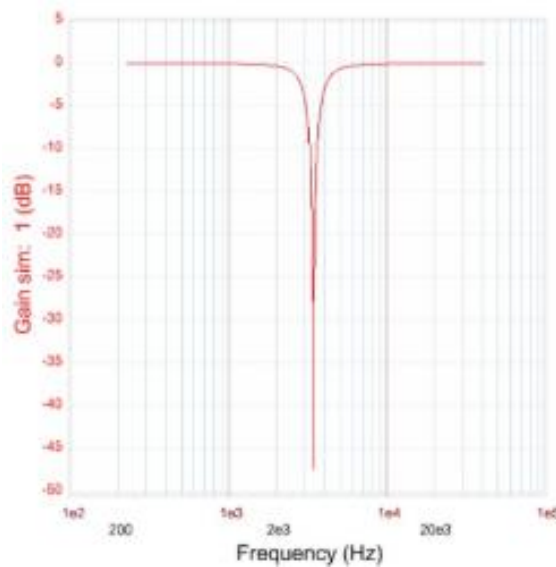


Figura 56. Grafica Webench filtro rechaza bandas.

El circuito esquemático e impreso es diseñado en el software Proteus 8.0. como se ve en la Figura 57.

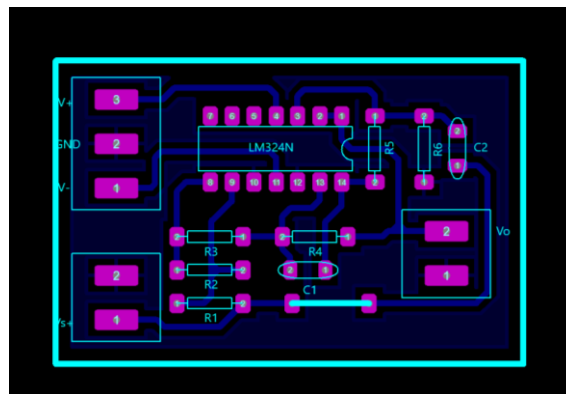


Figura 57. Diseño filtro rechaza bandas PCB.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 58 se puede observar la estructura del filtro rechaza banda (RB) de segundo orden con estructura Sallen and Key

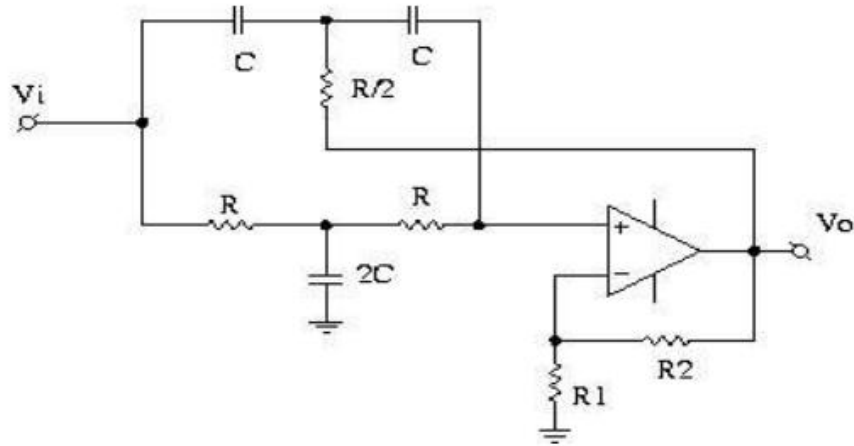


Figura 58. Filtro rechaza bandas Sallen and Key.

La función de transferencia sería:

$$F(s) = \frac{k(1+s)^2}{1+2(2-k)s+s^2} \quad (32)$$

$$\text{Donde } k = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

con lo que los parámetros equivalentes a la función de transferencia genérica:

$$f_m = \frac{1}{2\pi R C} \quad (33)$$

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (34)$$

$$A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (35)$$

$$Q = \frac{1}{2(2-G)} \quad (36)$$

En la Figura 59 se muestra el PCB montado que representa el filtro rechaza banda Sallen and Key diseñado en Webench.

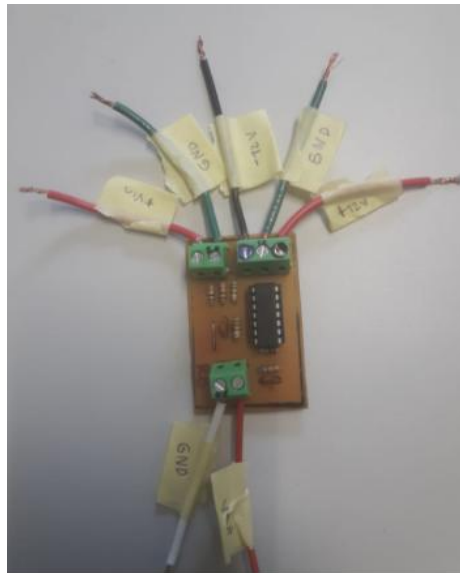


Figura 59. Montaje físico filtro rechaza bandas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se da a conocer una serie de resultados, datos, y gráficos obtenidos de los acondicionamientos de cada uno de los circuitos montados.

4.2. RESULTADOS DE LA PT100

Para el circuito de acondicionamiento de la PT100 se realiza una toma de datos con los cuales se hace un modelamiento matemático y se le realiza un sistema de adquisición de datos con LabVIEW y Arduino.

4.1.1. Toma de medidas de la PT100 (laboratorio de química)

El circuito de acondicionamiento de la PT100 fue calibrado para que entregue el máximo voltaje al momento en el que el agua está en su punto de ebullición, este proceso se realiza en el laboratorio de química del ITM utilizando una resistencia eléctrica para calentar el agua, un Becker de 2000 ml y un termómetro de mercurio para medir la temperatura del agua; véase Figura 60.



Figura 60. Materiales químicos usados para toma de datos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se toman una serie de datos de temperatura y voltaje con respecto al tiempo con un tiempo de muestreo cada 20 segundos, esto se hace poniendo el termómetro y los sensores al mismo nivel del agua, cabe destacar que la toma de datos del circuito de la PT100 se hace en paralelo con la toma de datos del circuito de la Termocupla como se ve en la Figura 60. Los datos se miden en las salidas de los circuitos con un multímetro y viendo la temperatura marcada por el termómetro de mercurio, en la Figura 61 se puede observar cómo se toman los datos de la PT100.



Figura 61. Proceso para toma de datos PT100.

En la Tabla 3 se muestran los datos tomados en el laboratorio para la comprobación de la PT100.

Tabla 3. Tabla de datos PT100.

TABLA DE DATOS PT100		
TIEMPO(SEGUNDOS)	VOLTAJE(VOLTIOS)	TEMPERATURA(GRADOS)
0	1,2	29
20	1,26	35

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

40	1,4	37
60	1,47	38
80	1,56	40
100	1,61	42
120	1,7	44
140	1,74	45
160	1,81	47
180	1,9	48
200	1,94	49
220	2,03	51
240	2,08	53
260	2,16	54
280	2,22	55
300	2,31	57
320	2,39	58
340	2,48	60
360	2,55	61
380	2,61	62
400	2,69	64
420	2,76	65
440	2,84	66
460	2,92	68
480	2,98	69
500	3,05	70
520	3,12	71
540	3,17	73
560	3,24	74
580	3,29	75
600	3,35	77
620	3,4	78
640	3,44	79
660	3,5	80
680	3,53	81
700	3,58	82
720	3,61	84
740	3,65	85
760	3,67	86
780	3,71	87
800	3,73	88
820	3,76	89

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

840	3,78	91
860	3,81	92
880	3,84	93
900	3,86	94
920	3,88	95
940	3,9	96
960	3,93	97
980	3,95	98
1000	3,96	98
1020	3,98	98
1040	4,02	98
1060	4,05	98
1080	4,06	98
1100	4,08	98
1120	4,12	98

4.1.2. Modelo matemático de los datos de la PT100

Con los datos tomados en el laboratorio de química se realiza un modelo matemático en el cual se muestra la línea de tendencia de el voltaje vs el tiempo con su respectiva ecuación y la línea de tendencia de la temperatura vs el tiempo con su ecuación como se ve en la Figura 62.

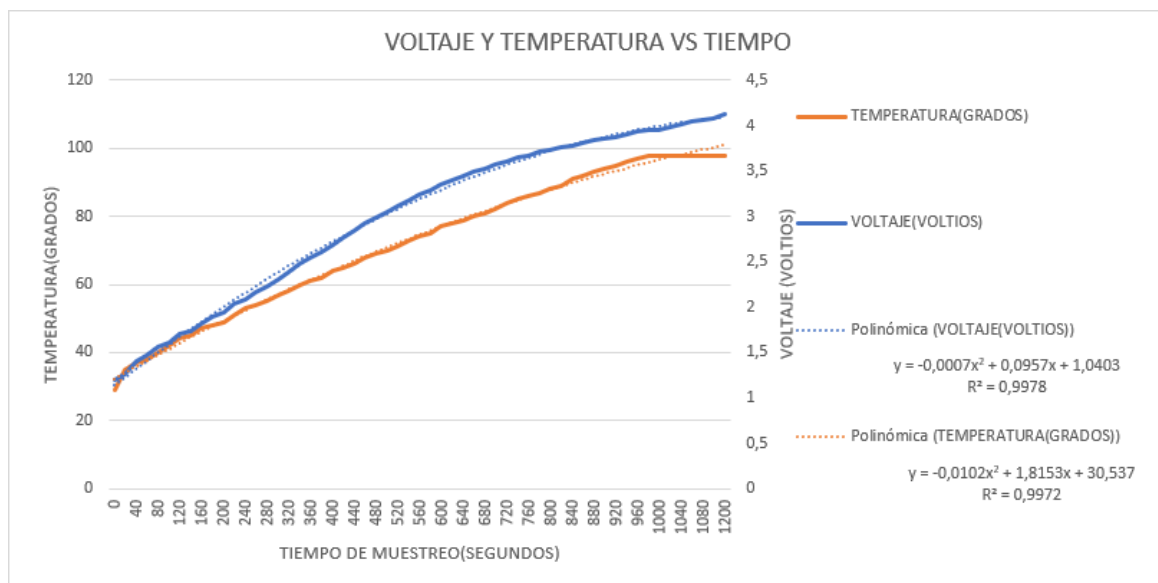


Figura 62. Gráfica y ecuaciones datos PT100.

4.1.3. Sistema de adquisición de datos para PT100

Se realiza un sistema de adquisición de datos con LabVIEW y Arduino que recibe la señal analógica del circuito de acondicionamiento de la PT100 y me muestra por pantalla los grados y el voltaje que entrega el circuito como se ve en la Figura 63.

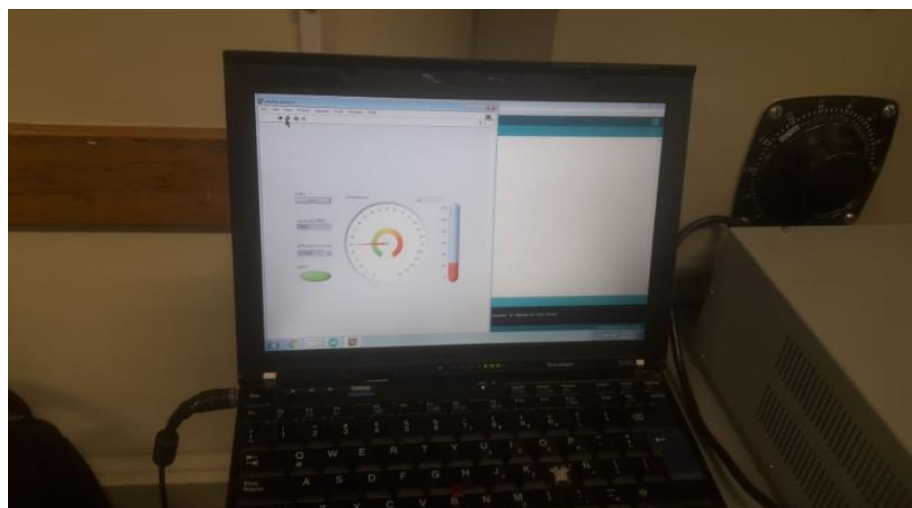


Figura 63. Sistema de adquisición de datos para PT100.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2. RESULTADOS Termocupla

Para el circuito de acondicionamiento de la termocupla k se realiza una toma de datos con los cuales se hace un modelamiento matemático y se le realiza un sistema de adquisición de datos con LabVIEW y Arduino.

4.2.1. Toma de medidas de la Termocupla (laboratorio de química)

El circuito de acondicionamiento de la Termocupla fue calibrado para que entregue el máximo voltaje al momento en el que el agua está en su punto de ebullición, este proceso se realiza en el laboratorio de química del ITM utilizando una resistencia eléctrica para calentar el agua, un Becker de 2000 ml y un termómetro de mercurio para medir la temperatura del agua; véase Figura 60.

Se toman una serie de datos de temperatura y voltaje con respecto al tiempo con un tiempo de muestreo cada 20 segundos, esto se hace poniendo el termómetro y los sensores al mismo nivel del agua, cabe destacar que la toma de datos del circuito de la Termocupla se hace en paralelo con la toma de datos del circuito de la PT100 como se ve en la Figura 64. Los datos se miden en las salidas de los circuitos, voltaje medido con un multímetro y viendo la temperatura marcada por el termómetro de mercurio, en la Figura 64 se puede observar cómo se toman los datos de la Termocupla.



Figura 64. Proceso para toma de datos Termocupla.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Tabla 4 se muestran los datos tomados:

Tabla 4. Tabla de datos Termocupla.

TABLA DE DATOS Termocupla		
TIEMPO(SEGUNDOS)	VOLTAJE(VOLTIOS)	TEMPERATURA(GRADOS)
0	0	29
20	0	35
40	0	37
60	0	38
80	0	40
100	0	42
120	0	44
140	0	45
160	0,02	47
180	0,08	48
200	0,1	49
220	0,2	51
240	0,32	53
260	0,47	54
280	0,58	55
300	0,71	57
320	0,99	58
340	1,05	60
360	1,21	61
380	1,32	62
400	1,45	64
420	1,56	65
440	1,7	66
460	1,8	68
480	1,92	69
500	2,03	70
520	2,12	71
540	2,23	73
560	2,3	74
580	2,45	75
600	2,5	77
620	2,62	78
640	2,68	79
660	2,81	80

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

680	2,9	81
700	2,98	82
720	3,09	84
740	3,15	85
760	3,21	86
780	3,3	87
800	3,39	88
820	3,46	89
840	3,52	91
860	3,57	92
880	3,61	93
900	3,63	94
920	3,65	95
940	3,66	96
960	3,66	97
980	3,66	98
1000	3,66	98
1020	3,66	98
1040	3,66	98
1060	3,66	98
1080	3,66	98
1100	3,66	98
1120	3,66	98

4.2.2. Modelo matemático de los datos de la Termocupla

Con los datos tomados en el laboratorio de química se realiza un modelo matemático en el cual se muestra la línea de tendencia de el voltaje vs el tiempo con su respectiva ecuación y la línea de tendencia de la temperatura vs el tiempo con su ecuación como se ve en la Figura 65.

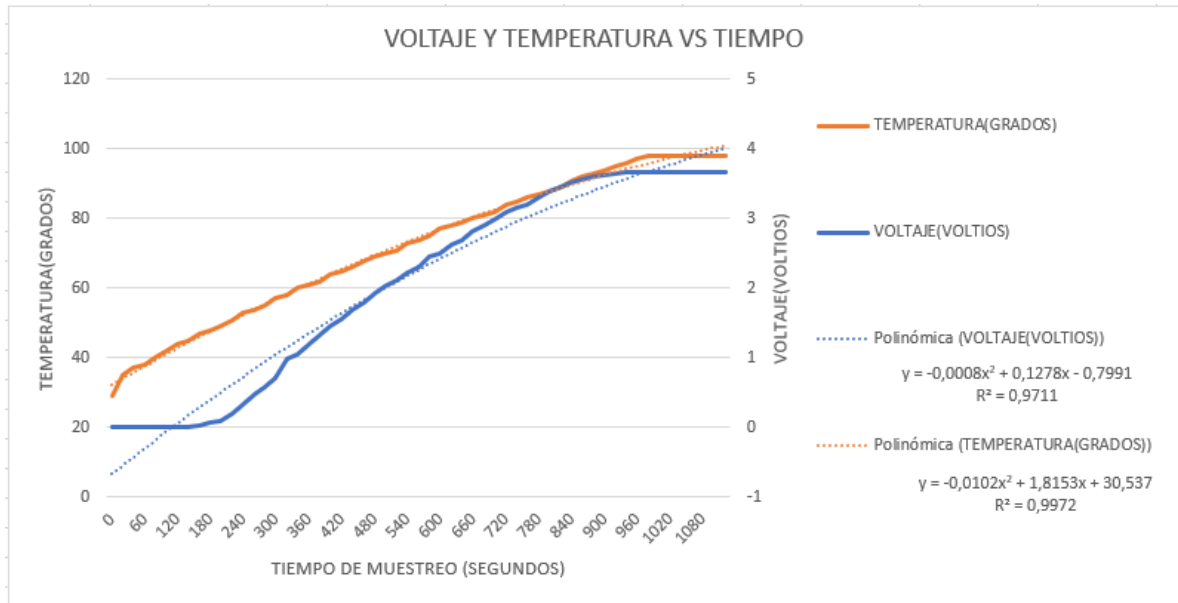


Figura 65. Gráfica y ecuaciones para datos Termocupla.

4.2.3. Sistema de adquisición de datos para Termocupla

Se realiza un sistema de adquisición de datos con LabVIEW y Arduino que recibe la señal analógica del circuito de acondicionamiento de la PT100 y me muestra por pantalla los grados y el voltaje que entrega el circuito como se ve en la Figura 66.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

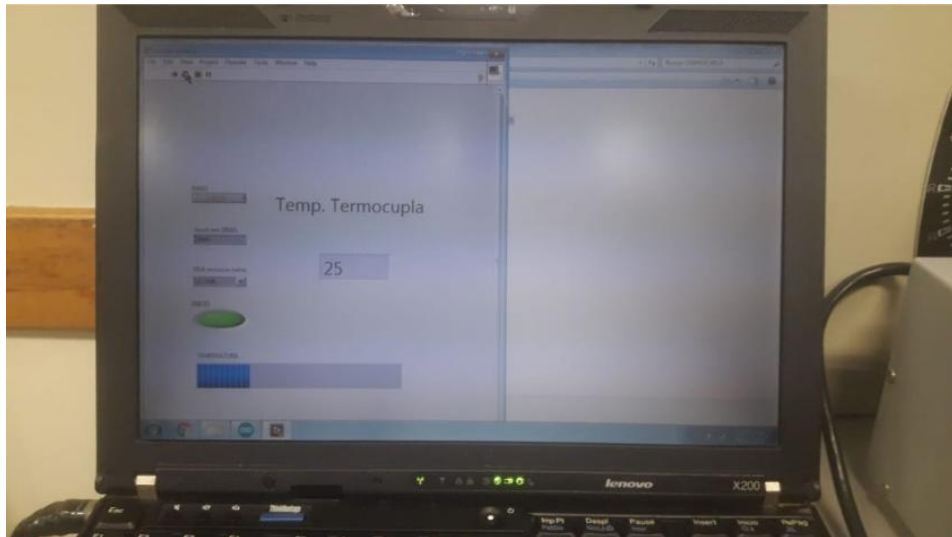


Figura 66. Sistema de adquisición de datos para Termocupla.

4.3. RESULTADOS FILTROS ACTIVOS

Para mostrar los resultados de los filtros activos se realiza en cada uno de los filtros (LP, HP, BP Y RB) un barrido en el osciloscopio que me muestra la señal entregada por el generador de señales.

4.3.1. Resultados filtro PasaBajas (LPF)

En la Figura 67 se puede ver el circuito del filtro polarizado y sus entradas y salidas conectadas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

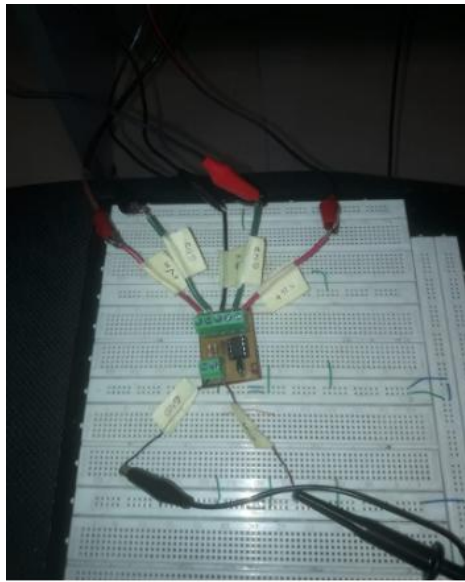


Figura 67. Polarización filtro pasa baja.

Se polariza el filtro con +12 y -12 voltios con la Fuente dual y luego en las entradas se le da una señal de barrido con el generador y medida con el osciloscopio, donde se observa el comportamiento de las frecuencias en las salida como se ve en la Figura 68 y Figura 69, se observa que la señal se atenúa con las altas frecuencias.



Figura 68. Barrido con generador y osciloscopio filtro pasa bajas.

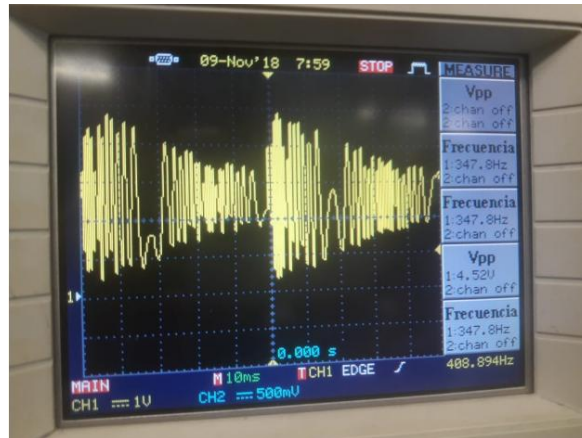


Figura 69. Frecuencias de salida filtro pasa baja.

4.3.2. Resultados filtro Pasa Altas (HPF)

En la Figura 70 se puede ver el circuito del filtro polarizado y sus entradas y salidas conectadas

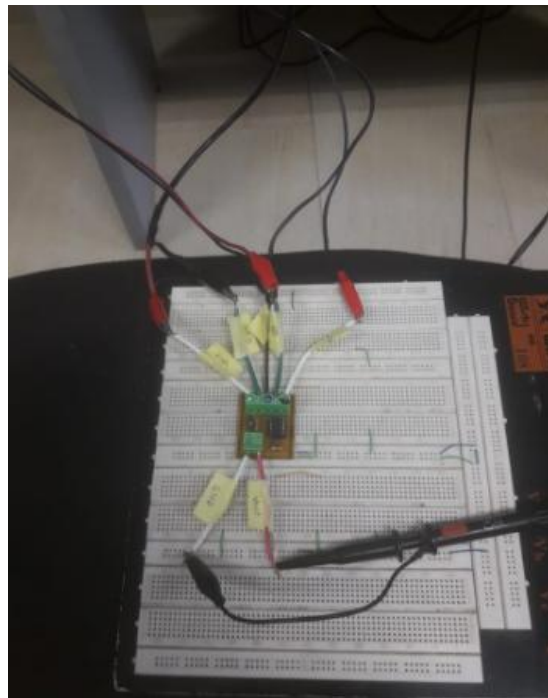


Figura 70. Polarización filtro pasa altas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se polariza el filtro con +12 y -12 voltios con la Fuente dual y luego en las entradas se le da una señal de barrido con el generador y medida con el osciloscopio, donde se observa el comportamiento de las frecuencias en las salida como se ve en la Figura 71 y la Figura 72, se observa que la señal se atenúa con las bajas frecuencias.



Figura 71. Barrido con generador y osciloscopio filtro pasa altas.

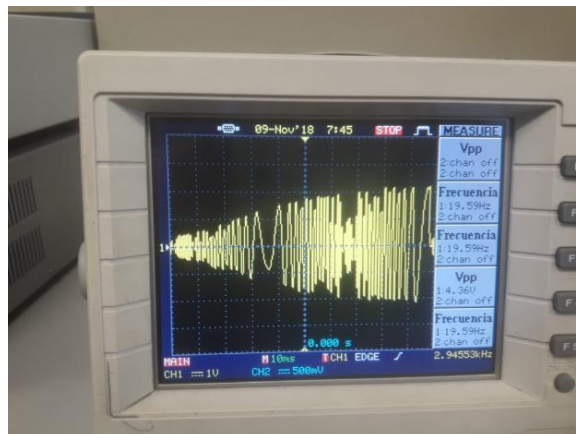


Figura 72. Frecuencias de salida filtro pasa altas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3.3. Filtro Pasa bandas (BPF)

Se polariza el filtro con +12 y -12 voltios con la Fuente dual y luego en las entradas se le da una señal de barrido con el generador y medida con el osciloscopio, donde se observa el comportamiento de las frecuencias en las salida como se ve en la Figura 73, se observa que la señal solo deja pasar un rango de frecuencias.

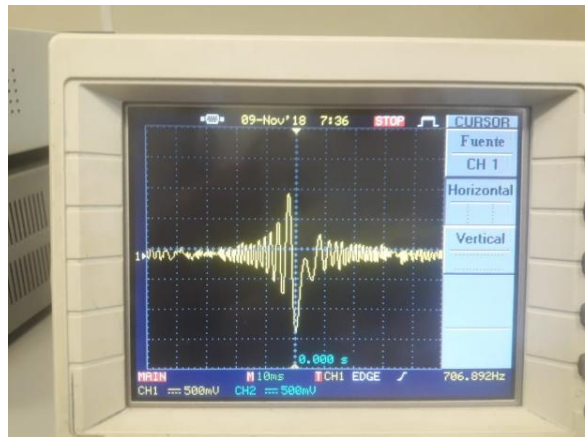


Figura 73. Frecuencias de salida filtro pasa banda.

4.3.4. Resultados filtro Rechaza bandas (RSB)

En la Figura 74 se puede ver el circuito del filtro polarizado y sus entradas y salidas conectadas.



Figura 74. Polarización filtro rechaza bandas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se polariza el filtro con +12 y -12 voltios con la Fuente dual y luego en las entradas se le da una señal de barrido con el generador y medida con el osciloscopio, donde se observa el comportamiento de las frecuencias en las salida como se ve en la Figura 75 y la Figura 76, se observa que se rechaza una banda de señales.



Figura 75. Barrido con generador y osciloscopio filtro rechaza bandas.

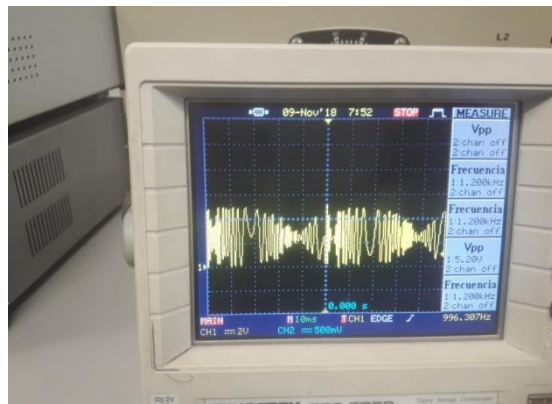


Figura 76. Frecuencia de salida filtro rechaza bandas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se realizan una serie de prototipos con amplificadores operacionales, los cuales generan una mayor facilidad y calidad en la adquisición de datos para los estudiantes de electrónica del ITM, ya que este trabajo de grado queda para consulta futura.

Se soluciona el problema de filtrado de señales acústicas en el semillero MMCC por medio de los diferentes filtros activos. Por medio de los acondicionamientos de temperatura se brinda ayuda a la asignatura de PLC.

Se recomienda realizar una cantidad de tarjetas que acondicionen la PT100 y la Termocupla para que los estudiantes que quieran realizar sus proyectos a nivel académico o industrial tengan acceso a ellas y la forma de diseño que garantice su funcionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Arduino. (2018). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- ARIAN. (2018). *¿Que son y como funcionan las termocuplas?* Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial*. Barcelona, España: MARCOMBO.
- EcuRed. (noviembre de 2018). *Programación orientada a objetos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Programaci%C3%B3n_Orientada_a_Objeto
- Electrónica fácil. (2018). *Filtros pasivos*. Obtenido de <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Filtros-pasivos.php>
- estuelectronic. (2018). *¿Que es Labview y para que sirve?* Obtenido de <https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>
- Icytsa. (2018). *RTDs*. Obtenido de http://icytsa.com.mx/1976378_FABRICACION-DE-RTDS--PT-100.html
- instrumentationtools. (2018). *Difference Between 2 wire RTD, 3 wire RTD, and 4 wire RTD's*. Obtenido de <https://instrumentationtools.com/difference-between-2-3-and-4-wire-rtds/>
- Labcenter. (2018). *Labcenter*. Obtenido de <https://www.labcenter.com/>
- Lifeder.com. (2018). *Filtros activos*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/filtros-activos/>
- Peña, J. C. (2018). *Filtros Activos*. Obtenido de <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29861/filtros.pdf>
- Salazar, A. J. (2009). *Fundamentos de circuitos*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- SRC. (2018). *Qué es un sensor PT100*. Obtenido de <https://srsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>
- TI. (2018). *WEBENCH® Power Designer*. Obtenido de <https://www.ti.com/tools-software/design-center/webench-power-designer.html?keyMatch=webench&tisearch=Search-EN-Everything>
- WEISZ. (2018). *Termocuplas*. Obtenido de <http://www.weisz.com/wp-content/uploads/Caracteristicas-tecnicas-de-termocuplas.pdf>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ANEXOS

Anexo A. Tabla de Creus Termocupla

0	-0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467

Figura 77. Tabla de Creus de 0 a 100° para termocupla tipo k.

Anexo B. Tabla de Creus PT100

0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91

Figura 78. Tabla de Creus de 0 a 100° para PT100.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo C. Semillero MMCC

En el periodo 2018-1 se asistió a el semillero MMCC (Modelamiento Matemático y Código Computacional), el cual constó de 16 clases en las cuales se vieron temas orientados al audio y el modelamiento matemático de frecuencias tanto en voces como en instrumentos acústicos, de estas 16 clases se realizaron 8 actas las cuales tenían en resumen el contenido de cada clase.



Figura 79. Clase en salón de producción del semillero MMCC.



Figura 80. Vista de transientes de una muestra vocal en protocols.

En el semestre 2018-2 he seguido asistiendo al semillero y trataré de seguir asistiendo en el ciclo de Ingeniería Electrónica, ya que es un espacio de un alto grado de aprendizaje.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo D. Trabajo de laboratorio

Se realizaron 68 horas de servicio en los laboratorios de electrónica como se ve en la Figura 81 y la Figura 82.

Fecha		Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante	
A	M							D
18	02	9	Atención Laboratorios	18:00	22:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	02	14	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	02	21	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	02	28	Atención Laboratorios Revisión funcionamiento de las copias	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	03	7	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	03	14	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	04	4	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	04	11	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	04	25	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.
18	05	09	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	[Firma]	Daniel Morales R.

Figura 81. Horas laboratorio

78	05	16	Atención Laboratorios	16:00	20:00	4	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	09	20	Atención Laboratorios	09:00	12:00	3	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	10	25	Atención Laboratorios	10:00	13:30	3:30	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	10	29	Atención Laboratorios	14:00	16:30	2:30	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	10	30	Atención Laboratorios	10:00	12:00	2	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	10	01	Atención Laboratorios	11:00	12:00	1	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	11	06	Atención Laboratorios	14:00	18:00	4	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	11	08	Mantenimiento a osciloscopios	08:00	14:00	6	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
78	11	16	Atención Laboratorios	12:00	16:00	2	<i>[Signature]</i>	Daniel Morales R.
TOTAL HORAS							68	

Daniel Morales R.
Firma Estudiante
[Signature]
Nombre y firma Laboratorista

[Signature]
Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios

Figura 82. Horas laboratorio.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Daniel Morales R.

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: 22/nov/2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____