

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	1/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Manual de Prácticas de Laboratorio

Amplificación y Filtrado de Señales Médicas

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Didier Torres Guzmán	Mtro. Serafín Castañeda Cedeño Ing. Brayan Homero Ramirez Contreras	Dra. Zaida Estefanía Alarcón Bernal	24 de enero de 2025

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	2/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

Índice de prácticas

01. Polarización del transistor de unión bipolar.
Medición de temperatura
02. El transistor de unión bipolar como amplificador de señales

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	3/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 1

Polarización del transistor de unión bipolar. Medición de temperatura

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	4/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Utilización de corriente alterna y fuente de voltaje de corriente directa	Electrocución

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	5/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

OBJETIVOS

1. Realizar la polarización, mediante la técnica del divisor de voltaje, de un transistor bipolar.
2. Analizar el efecto de la polarización por divisor de voltaje de un transistor bipolar durante su operación en corriente directa.
3. Realizar el montaje experimental de un circuito de aplicación para la medición de temperatura utilizando un transistor de unión bipolar polarizado.

EQUIPOS Y MATERIALES

Suministrados por el laboratorio:

- Osciloscopio digital con generador de funciones incorporado.
- Fuente de voltaje de corriente directa.

Adicionales necesarios:

- Multímetro digital.
- Transistor de unión bipolar *nnp* 2N3904 (1).
- Resistores de 1 k Ω (1), 4.7 k Ω (1) y 470 Ω (1).
- Potenciómetro de 5 k Ω o 10 k Ω (1).
- Tablilla de conexiones (*protoboard*).
- Cables (*jumper*s) para interconexión.
- Cables banana-caimán para fuentes de voltaje.

INDICACIONES GENERALES

- a. Cada equipo debe llevar a la sesión de laboratorio los equipos y materiales adicionales necesarios especificados anteriormente.
- b. Cada equipo debe llevar a la sesión de laboratorio la solución de la **Actividad 1** ya que es fundamental para la realización de las actividades experimentales. Las actividades realizadas aquí, se deberán incluir en el informe correspondiente.
- c. Cada equipo deberá llevar a la sesión de laboratorio el montaje experimental solicitado en la **Actividad 2**. El correcto funcionamiento de dicho montaje será evaluado durante la sesión de laboratorio.
- d. Durante la sesión de laboratorio sólo se realizarán las actividades experimentales correspondientes a la **Actividad 2**.
- e. Cada equipo realizará las actividades relacionadas con la simulación como parte del **Cuestionario** y utilizando la herramienta computacional de su preferencia. El diseño y los resultados se incluirán en el informe correspondiente.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	6/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

La esterilización es un proceso esencial para el funcionamiento de un hospital o de cualquier centro dedicado al cuidado de la salud. Para esto se utiliza un dispositivo denominado autoclave, la cual consiste en un recipiente metálico, de paredes gruesas y con un cierre hermético que permite operar a alta presión con el objetivo de realizar actividades de esterilización, con vapor de agua, a fin de desinfectar materiales de laboratorios e instrumental quirúrgico. El calor, seco o húmedo, generado en estos instrumentos elimina todas las bacterias combinando, adecuadamente, factores como la temperatura a la que se someten y el tiempo de exposición.

Un punto importante de análisis lo constituye el sistema para el control de la temperatura en el interior de una autoclave. Una vez medida dicha variable se convierte en un valor proporcional de tensión con la finalidad de mantener la temperatura de la autoclave dentro de un intervalo específico.

La figura 1.1 ilustra el sistema para el control de la temperatura de la autoclave:

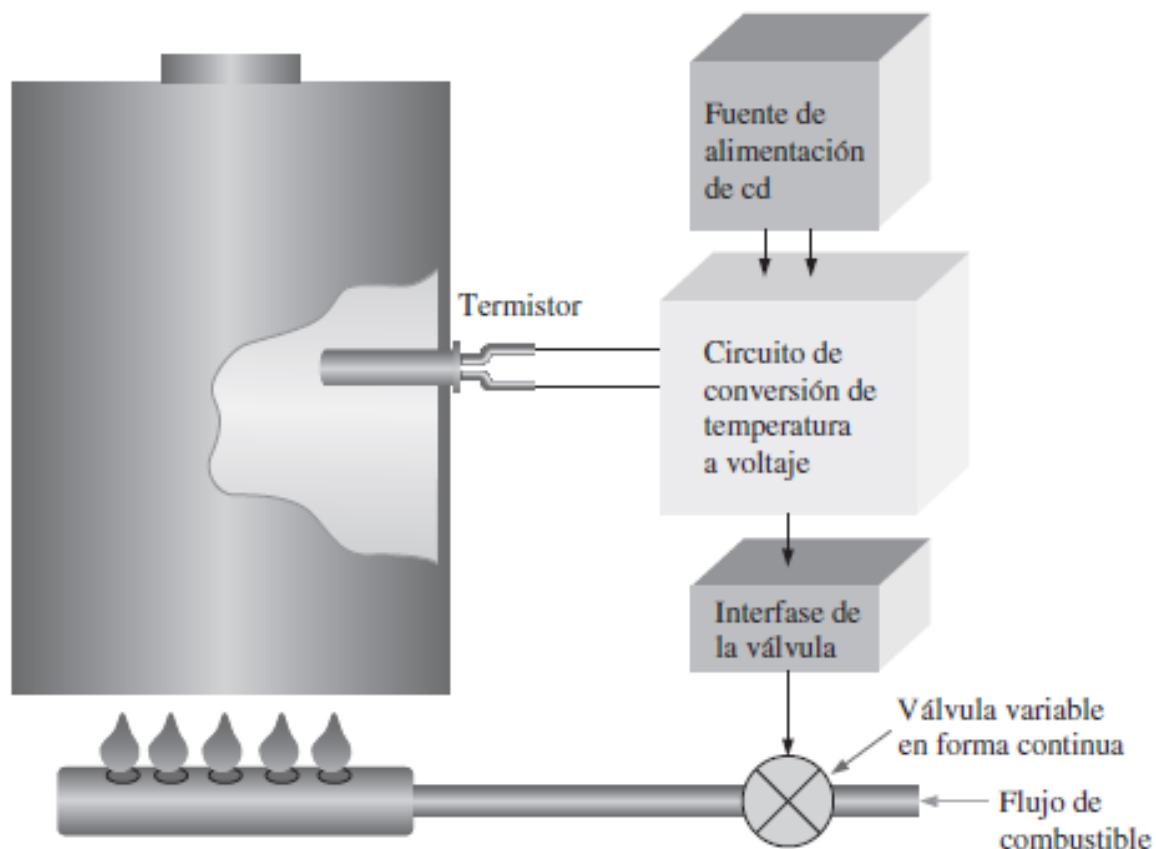


Fig. 1.1. Sistema básico para el control de temperatura.

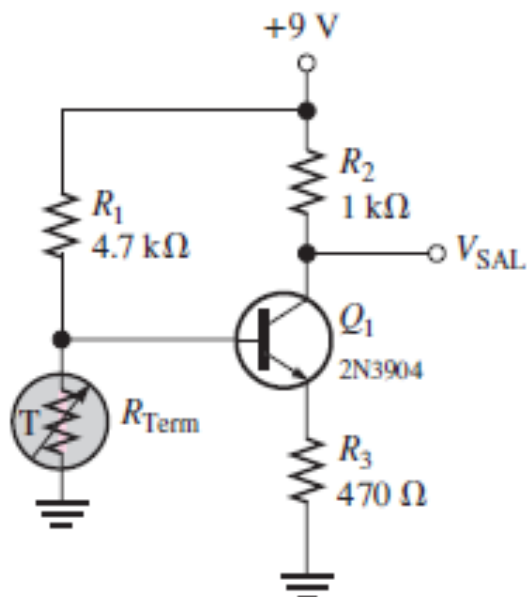
	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	7/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El sensor de temperatura utilizado es un termistor (dispositivo cuya resistencia cambia con la temperatura) conectado a un circuito que utiliza un transistor bipolar *nnp* polarizado para operación lineal. El voltaje de salida del circuito es proporcional a la resistencia del termistor y consecuentemente a la temperatura en el interior de la autoclave. Dicho voltaje de salida se conecta a un circuito de interfase que controla la válvula que regula el flujo de combustible hacia el quemador. Si la temperatura en el interior de la autoclave se encuentra por debajo de un valor establecido, el combustible se incrementa; si está por encima de dicho valor, el combustible disminuye. La temperatura debe mantenerse en el intervalo $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

El coeficiente de temperatura del termistor utilizado es positivo por lo que, si la temperatura se incrementa, la resistencia del termistor se incrementa y si la temperatura disminuye, la resistencia disminuye. El voltaje en la base cambia proporcionalmente al cambio de la resistencia del termistor. El voltaje de salida será, entonces, inversamente proporcional al voltaje en la base, por lo que, si la temperatura sube, el voltaje de salida disminuye y se reduce el flujo de combustible hacia el quemador. A medida que la temperatura en la autoclave se reduce, el voltaje de salida se incrementa y permite que fluya más combustible hacia el quemador.

ACTIVIDADES

- Como se muestra en la figura 1.2 el circuito de conversión de temperatura a tensión se implementa con el transistor *nnp* 2N3904, cuatro resistores y una fuente de voltaje de CD de 9 V. El termistor es utilizado como uno de los resistores en la polarización del transistor y tiene las características de temperatura que se muestran en la tabla 1.1.



- Con los datos suministrados en la tabla 1.1, construya una gráfica que represente la característica real de temperatura del termistor.
- Encuentre la resistencia del termistor cuando la temperatura se eleva hasta los 100°C y complete la tabla 1.1.
- Determine, en el circuito mostrado en la figura 1.2, el voltaje de salida para cada una de las temperaturas dadas en la tabla 1.1. Grafique los resultados obtenidos en función de cada una de las temperaturas medidas. Asuma $\beta_{CD} = 100$.

Nota: En el inciso 1.2 deben mostrar y explicar el procedimiento realizado.

Fig. 1.2. Circuito para la conversión de temperatura a tensión.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	8/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.1. Característica de temperatura del termistor.

Temperatura [°C]	Resistencia del termistor [kΩ]
60	1.256
65	1.481
70	1.753
75	2.084
80	2.490
100	-----

2. Con los componentes y materiales de la práctica, realice el montaje experimental en la tablilla de conexiones del circuito de conversión de temperatura a voltaje.
- 2.1. Mida los voltajes de salida, V_{SAL} , para cada una de las temperaturas dadas en la tabla 1.1. Los resultados de las mediciones se deben resumir y mostrar en una tabla.
- 2.2. Grafique, en función de la temperatura, los resultados de las mediciones realizadas en el inciso anterior y compárelos con los resultados teóricos obtenidos en el inciso 1.3.

Nota: Para el montaje del circuito, el termistor quedará representado por un resistor comercial, un potenciómetro o varios resistores comerciales interconectados de manera que se logren los valores correspondientes a cada una de las temperaturas especificadas en la tabla 1.1.

CUESTIONARIO

Equipo y software requerido

- Equipo de cómputo personal.
- Herramienta computacional para la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos.

Utilizando la herramienta computacional de su preferencia, diseñe el diagrama esquemático para el circuito de conversión de temperatura a tensión mostrado en la figura 1.2.

- a. Realice la simulación del diagrama esquemático propuesto y obtenga los voltajes de salida, V_{SAL} , para cada una de las temperaturas dadas en la tabla 1.1. Los resultados obtenidos se deben resumir y mostrar en una tabla.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	9/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

- b. Grafique, en función de la temperatura, los resultados de las simulaciones realizadas anteriormente y compárelos con los resultados teóricos obtenidos en el inciso 1.3 y los resultados experimentales obtenidos en el inciso 2.1.

Nota: En la simulación el termistor puede representarse con un resistor variable o con un resistor fijo, cuyo valor de resistencia se irá variando manualmente y se corresponderá con los especificados en la tabla 1.1 para cada una de las temperaturas mostradas.

BIBLIOGRAFÍA

Thomas L. Floyd. *Dispositivos Electrónicos*. Pearson, Prentice Hall, 8^{va} edición. 2008. ISBN: 978-970-26-1193-6.

Jacob Millman y Arvin Grabel. *Microelectrónica*. Editorial Hispano-Europea, 6^{ta} edición. 1995. ISBN 84-255-0885-1.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	10/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

Práctica 2

El transistor de unión bipolar como amplificador de señales

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas		Código:	MADO-102
			Versión:	01
			Página	11/15
			Sección ISO	8.3
			Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos		
La impresión de este documento es una copia no controlada				

Seguridad en la ejecución

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Utilización de corriente alterna y fuente de voltaje de corriente directa	Electrocución

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	12/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

OBJETIVOS

1. Realizar el análisis estático y dinámico de un circuito amplificador de una y dos basado en transistores de unión bipolar.
2. Realizar el montaje experimental de un circuito de aplicación para comprobar la operación del transistor de unión bipolar como amplificador de señales.
3. Utilizar un simulador de paciente para la generación de señales de electrocardiografía con y sin patologías/artefactos.

EQUIPOS Y MATERIALES

Suministrados por el laboratorio:

- Osciloscopio digital con generador de funciones incorporado.
- Fuente de voltaje de corriente directa.
- Simulador de paciente ProSim 2.

Adicionales necesarios:

- Multímetro digital.
- Transistor de unión bipolar *nnp* 2N3904 (2).
- Resistores de 47 k Ω (3), 10 k Ω (2), 4.7 k Ω (2) y 470 Ω (4).
- Capacitores de: 10 μ F (3) y 100 μ F (2).
- Tablilla de conexiones (*protoboard*).
- Cables (*jumpers*) para interconexión.
- Cables banana-caimán para fuentes de voltaje.

INDICACIONES GENERALES

- a. Cada equipo debe llevar a la sesión de laboratorio los equipos y materiales adicionales necesarios especificados anteriormente.
- b. Cada equipo debe llevar a la sesión de laboratorio la solución de la **Actividad 1** ya que es fundamental para la realización de las actividades experimentales. Las actividades realizadas aquí, se deberán incluir en el informe correspondiente.
- f. Cada equipo deberá llevar a la sesión de laboratorio el montaje experimental solicitado en la **Actividad 2**. El correcto funcionamiento de dicho montaje será evaluado durante la sesión de laboratorio.
- c. Durante la sesión de laboratorio sólo se realizarán las actividades experimentales correspondientes a la **Actividad 2**.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	13/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- d. Cada equipo realizará las actividades relacionadas con la simulación como parte del **Cuestionario** y utilizando la herramienta computacional de su preferencia. El diseño y los resultados se incluirán en el informe correspondiente.

ACTIVIDADES

- En la figura 2.1 se muestra un circuito que utiliza un transistor bipolar polarizado con divisor de voltaje, que será utilizado para la amplificación de señales bioeléctricas.

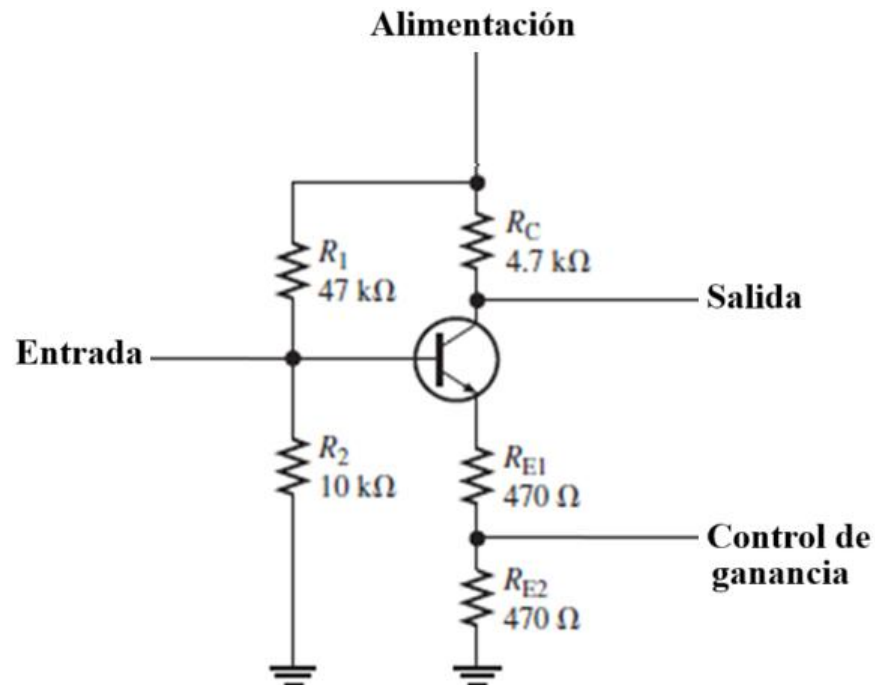


Fig. 2.1. Circuito amplificador en configuración emisor común.

- Realice el análisis estático (en corriente directa) para el circuito mostrado y determine los parámetros del punto de operación del transistor, así como el voltaje de corriente directa en el colector. Como resultado del análisis anterior, represente la curva del colector y la línea de carga estática, destacando los puntos más relevantes.

Datos: $\beta_{CD} = 150$, $\beta_{CA} = 175$ y $V_{CC} = 10\text{ V}$

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	14/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 1.2. Para comprobar los efectos de amplificación, en la entrada del circuito se conecta, mediante un capacitor de $10\ \mu\text{F}$, una fuente de señal sinusoidal de $1\ \text{kHz}$ y $20\ \text{mV}_{\text{RMS}}$ (resistencia interna de $50\ \Omega$); mientras que a la salida se conecta, también a través de un capacitor de $10\ \mu\text{F}$, un resistor de carga de $47\ \text{k}\Omega$. Tomando en cuenta un capacitor de $100\ \mu\text{F}$ para la conexión del control de ganancia, realice el análisis dinámico (en corriente alterna) y determine:
 - la ganancia de voltaje de la base al colector.
 - la ganancia de voltaje total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga).
 - la ganancia de corriente total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga).
 - el voltaje de corriente alterna en el colector.
- 1.3. Trace, de forma aproximada, la forma de onda para la fuente de señal sinusoidal, el voltaje en el colector y el voltaje en el resistor de carga.
- 1.4. Se desean incrementar los niveles de amplificaciones logrados en el inciso 1.2; para lo cual se conectan, en serie, dos configuraciones como la de la figura 2.1. Diseñe y muestre el circuito resultante conectando la misma fuente de señal sinusoidal, el mismo resistor de carga y tomando en cuenta la conexión para el control de ganancia. Determine:
 - la ganancia de voltaje total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga).
 - la ganancia de corriente total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga).
2. Con los componentes y materiales de la práctica realice el montaje experimental, en la tablilla de conexiones, del circuito amplificador propuesto en el inciso 1.4. Utilizando el generador de funciones, genere una señal sinusoidal de $1\ \text{kHz}$ y $20\ \text{mV}_{\text{RMS}}$ y colóquela a la entrada del circuito.
- 2.1. Compruebe que el circuito amplifica adecuadamente. Observe en el osciloscopio la señal de entrada, la señal a la salida de la primera etapa de amplificación y la señal de salida total. Comente los resultados obtenidos.
- 2.2. Estime la ganancia de voltaje total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga). Compárela con la obtenida teóricamente en el inciso 1.4.
- 2.3. Utilizando el simulador de paciente genere una señal de ECG de $60\ \text{lpm}$ y conéctela a la entrada del circuito amplificador. Observe en el osciloscopio la señal generada y la señal de salida total para los siguientes casos:
 - la señal de ECG generada no debe contener artefactos inducidos.
 - la señal de ECG generada deberá estar contaminada con la interferencia originada por la línea de energía de $60\ \text{Hz}$.
 - la señal de ECG generada deberá estar contaminada con la interferencia originada por los movimientos respiratorios del paciente.

	Manual de Prácticas del Laboratorio de Amplificación y Filtrado de Señales Médicas	Código:	MADO-102
		Versión:	01
		Página	15/15
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Sistemas Biomédicos	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

CUESTIONARIO

Equipo y software requerido

- Equipo de cómputo personal.
- Herramienta computacional para la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos.
- Base de datos de señales médicas *Physionet*: <https://archive.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>.

Utilizando la herramienta computacional de su preferencia, diseñe el diagrama esquemático para el circuito amplificador propuesto en el inciso 1.4 conectándole la misma fuente de señal sinusoidal a la entrada y el mismo resistor de carga a la salida.

- Simule el diagrama propuesto y compruebe que efectivamente el circuito se comporta como un amplificador. Para lo anterior deberá mostrar la señal de entrada, la señal a la salida de la primera etapa de amplificación y la señal de salida total. Comente los resultados obtenidos.
- Estime la ganancia de voltaje total (desde la fuente de señal hasta el resistor de carga). Compárela con la obtenida teóricamente en el inciso 1.4 y con la estimada durante el montaje experimental en el inciso 2.2.
- Descargue una señal de ECG de la base de datos internacional *Physionet* y colóquela como señal de entrada al diagrama propuesto. Simule el circuito y observe la señal de entrada, la señal a la salida de la primera etapa de amplificación y la señal de salida total.

Nota: Podrá observar que la base de datos *Physionet* permite descargar una misma señal con duraciones diferentes. Descargue sólo 10 segundos de duración para la señal elegida.

BIBLIOGRAFÍA

Thomas L. Floyd. *Dispositivos Electrónicos*. Pearson, Prentice Hall, 8^{va} edición. 2008. ISBN: 978-970-26-1193-6.

Jacob Millman y Arvin Grabel. *Microelectrónica*. Editorial Hispano-Europea, 6^{ta} edición, 1995. ISBN 84-255-0885-1