



Facultad de Ingeniería Eléctrica.

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la
Información (CEETI)**

TRABAJO DE DIPLOMA



**Actividades prácticas para la asignatura Sensores
Avanzados**

Autor: Elianny Treto Portal

Tutor: Dr.C. Alberto Taboada Crispi

Santa Clara

2011

"Año 53 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

**Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la
Información (CEETI)**



TRABAJO DE DIPLOMA

**Actividades prácticas para asignatura Sensores
Avanzados**

Autor: Elianny Treto Portal

etreto@uclv.edu.cu

Tutor: Dr.C. Alberto Taboada Crispi

Profesor Titular, Investigador Titular, CEETI, ataboada@uclv.edu.cu

Santa Clara

2011

"Año 53 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Biomédica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Hagamos el propósito de redoblar nuestros esfuerzos, y juremos por nosotros mismos que si un día nuestro trabajo nos pareciera bueno, debemos luchar por hacerlo mejor”

Ché.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de diploma:

♥ A mi familia que siempre me ha apoyado al máximo y me han brindado todo el amor y la dedicación del mundo para que yo salga adelante con mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Alberto Taboada Crispi por enseñarme a tener confianza en mi trabajo y transmitirme sus conocimientos en la realización de la tesis.

A mis padres, por alentarme en todo momento, brindarme su apoyo incondicional y mostrarme el camino correcto.

A mi hermana Eilin, por ser mi gran ídolo y porque me enseñó a luchar por lo que quiero.

A mi hermana Kenia, por su ayuda y apoyo incondicional en los momentos difíciles.

A mi amigo y novio Alfonso Dario, por ayudarme durante el transcurso de la carrera, y apoyarme cuando más lo necesitaba.

A mis compañeros de estudios, que han compartido conmigo a lo largo de cinco años en las buenas y malas brindándome su ayuda.

A mis grandes amigas, que siempre han estado pendiente de mí, Yumara y Mailet.

A todos los profesores de la carrera, por su profesionalidad, respeto y por haberme atendido cuando lo necesité.

A todas aquellas personas que contribuyeron a la realización de esta tesis, en especial a María, Areida, Mercedita.

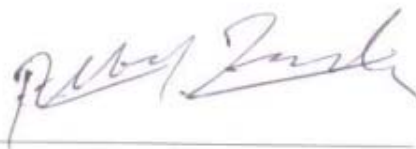
A Dios, por darme fuerzas para enfrentarme a mis miedos y por haber permitido hacer realidad este sueño.

TAREA TÉCNICA

1. Familiarización con los equipos e instrumentos de laboratorio disponibles en la UCLV.
2. Verificación de los componentes disponibles en la UCLV.
3. Actualización con la documentación de la asignatura.
4. Proposición de actividades prácticas (reales y simuladas) para la asignatura que exploten los recursos disponibles.
5. Montaje y verificación de las actividades prácticas.
6. Confección del material complementario para el desarrollo de las actividades prácticas.



Firma del Autor



Firma del Tutor

RESUMEN

La asignatura Sensores Avanzados se imparte en el cuarto año de la carrera Ingeniería Biomédica. Debido a la reciente creación de la carrera en nuestro país, eran escasas las actividades prácticas existentes en dicha asignatura. Por lo que se hizo necesario el desarrollo de esta tesis para complementar el material de estudio y enriquecer las habilidades de los estudiantes, con el diseño de prácticas de laboratorios tanto reales como simuladas, empleando los recursos existentes en la Facultad de Eléctrica, en cuanto a instrumentos y materiales. Se utilizan como principales antecedentes las asignaturas Electrónica Analógica y Mediciones Electrónicas porque enseñan los principios técnicos de las mediciones en sus laboratorios reales y simulados semejantes a los que se realizan en la tesis. Para el desarrollo de la investigación se utilizarán diferentes materiales que nos permitirán el cumplimiento de las tareas como son el programa de simulación Multisim 10.1 de *National Instruments*.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SENSORES AVANZADOS.	4
1.1 Conceptos generales.	4
1.1.1 Clasificación de los sensores.	5
1.2 Antecedentes.	5
1.3 Estructura de la asignatura Sensores Avanzados.	6
1.3.1 Sensores Resistivos.	6
1.3.2 Sensores de variación de reactancia.	13
1.3.3 Sensores generadores.	18
1.3.4 Otros sensores.	22
CAPÍTULO 2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE SENSORES AVANZADOS.	24
2.1 Equipos y componentes empleados en las prácticas de laboratorio real.	24
2.1.1 Tablero de pruebas (<i>Breadboard</i>).	24

2.1.2	Multímetro digital (UT804).	25
2.1.3	Osciloscopio (AT7328S).	27
2.1.4	Fuente de alimentación (XJ17432L).	28
2.1.5	Generador de señales (XJ1633).	29
2.1.6	Componentes empleados.	30
2.2	Software empleado (Multisim10.1).	30
2.3	Estructura de las actividades prácticas.	32
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.		34
3.1	Análisis de las prácticas de laboratorios.	34
3.2	Comentarios y recomendaciones de las prácticas de laboratorios.	36
3.3	Resultados de las prácticas de laboratorios.	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		40
Conclusiones		40
Recomendaciones		41
ANEXOS		44
Anexo I: Cantidad de actividades prácticas por temas		44
Anexo II: Distribución de Contenidos por semanas		45
Anexo III: Laboratorios reales.		46
Anexo IV: Laboratorios simulados.		72

INTRODUCCIÓN

En la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas de la provincia de Villa Clara, en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, se estudia una relativamente nueva carrera llamada Ingeniería Biomédica. Dicha carrera pretende lograr un profesional con perfil electrónico, pero con conocimientos biomédicos suficientes para poder entender y solucionar problemas con los equipos biomédicos de tecnologías novedosas implantados en distintos centros hospitalarios. Debido a la necesidad de crear esta carrera, surge la importante tarea de crear un programa con asignaturas que preparen al estudiante para encontrar soluciones ingenieriles, a los problemas que se podrían presentar en un futuro con estos nuevos equipos.

Dentro de este programa, en el cuarto año de la carrera se imparte la asignatura Sensores Avanzados. Esta tiene como objetivo que los estudiantes aprendan el principio de funcionamiento y los circuitos de acondicionamiento de una gran variedad de sensores que pueden encontrarse en su vida laboral en cualquier equipo médico. Para lograr tan importante objetivo fue necesario el desarrollo de esta tesis que tiene como **problema científico**: la necesidad de diseñar laboratorios reales y simulados, para complementar la asignatura, debido a que las actividades existentes eran escasas y con los resultados obtenidos se enriquecerían los materiales de estudio, así como los conocimientos y habilidades de los estudiantes en la asignatura. La tesis tiene como principal **antecedente** las asignaturas Electrónica Analógica y Mediciones Electrónicas. En correspondencia con el problema científico, el **objeto de estudio** se basa en diseñar prácticas de laboratorios, tanto reales como simulados, empleando los diferentes recursos existentes en la Facultad de Ingeniería Eléctrica en cuanto a instrumentos y materiales electrónicos. Para lograr este objetivo general se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Diseñar y editar circuitos para las prácticas de laboratorios.
2. Montar de forma real dichos circuitos en dependencia de los materiales existentes en la facultad.
3. Simular usando el programa de simulación ‘Multisim10.1’.
4. Desarrollar laboratorios reales y simulados que enseñen los principios de funcionamiento de los sensores y sus circuitos de acondicionamiento.

Para lograr estos objetivos se plantean las siguientes **tareas técnicas**:

1. Familiarización con los equipos e instrumentos de laboratorio disponibles en la UCLV.
2. Verificación de los componentes disponibles en la UCLV.
3. Actualización con la documentación de la asignatura.
4. Proposición de actividades prácticas (reales y simuladas) para la asignatura que exploten los recursos disponibles.
5. Montaje y verificación de las actividades prácticas.
6. Confección del material complementario para el desarrollo de las actividades prácticas.

Conociendo todo lo anteriormente planteado se pueden lograr los siguientes **resultados**.

1. Creación de un folleto que contendría los laboratorios reales y simulados de la asignatura Sensores Avanzados.
2. Colocar este folleto en la Plataforma del Moodle para facilitar un acceso directo a las prácticas, así como la entrega de los informes de laboratorio.

El impacto de la tesis planteada, es de tipo social ya que traerá como consecuencia o resultado un aumento de la calidad de las clases, laboratorios y materiales de estudio de la asignatura Sensores Avanzados. Además, debe contribuir a la mejora de las habilidades con los instrumentos electrónicos y los programas de simulación en las prácticas de laboratorio, logrando cumplir de esta manera los objetivos de la asignatura en la carrera de Ingeniería

Biomédica. Además, esto tiene una aplicabilidad inmediata en la carrera de Ingeniería Biomédica, al servir de provecho en la docencia de la asignatura.

En general, la tesis comienza en el primer capítulo explicando algunos conceptos generales de los sensores, sus clasificaciones y principios de funcionamiento. En el capítulo dos se hace un análisis de los diferentes equipos y componentes que se usan en los laboratorios, así como una explicación de cómo se organizarán metodológicamente las actividades, utilizando como guía los laboratorios de las asignaturas Electrónica Analógica y Mediciones Electrónicas. Finalmente, en el capítulo tres, se realiza un análisis de los resultados de los laboratorios y se comprueba que los laboratorios cumplan los objetivos de la asignatura, propiciando un nivel mayor de habilidades con los instrumentos electrónicos y el programa de simulación.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SENSORES AVANZADOS.

Resulta de vital importancia la realización de la tesis sobre Sensores Avanzados, debido a la necesidad de complementar la asignatura porque las actividades prácticas existentes son escasas. Además aumentará la calidad de la docencia y las habilidades de los estudiantes en los programas de simulación (Multisim 10.1) y en los laboratorios reales con los instrumentos electrónicos. También se aprovecharán literaturas internacionales actuales para planificar los laboratorios de forma novedosa. En conclusión, el capítulo 1 dará una visión general sobre los sensores, su clasificación, estructura de la asignatura y antecedentes.

1.1 Conceptos generales.

Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas, químicas o biológicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor).

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, una computadora y un *display*) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano. Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesamiento, por lo que se usa un circuito de

acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería [1], [2], [3].

1.1.1 Clasificación de los sensores.

Los sensores tienen decenas de categorías y se pueden clasificar en cuanto a la variable que sensan (entrada), al principio de transducción (salida), al tamaño y tecnología de fabricación y atendiendo al nivel de inteligencia. De acuerdo a la variable que sensan puede ser una entrada física de temperatura, posición, desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, presión, humedad, ópticos y de una entrada química de gas, líquido, sólido, sustancias orgánicas o inorgánicas. Atendiendo al principio de transducción (salida) se clasifican en resistivos y extensiométricos, capacitivos e inductivos, piezoeléctrico, ópticos y semiconductores. Atendiendo al tamaño y tecnología de fabricación se clasifican en macrosensores, microsensores (MEMS), nanosensores y clusters de sensores. Atendiendo al nivel de inteligencia pueden ser no inteligentes (simples o ‘brutos’), que transmiten datos sin procesar (‘crudos’), e inteligentes, que transmiten información útil. La asignatura va a estudiar los sensores atendiendo a la clasificación por su principio de funcionamiento y se van a clasificar en sensores resistivos, sensores de variación de reactancia y magnéticos, sensores generadores y otros sensores [1], [2], [4], [5].

1.2 Antecedentes.

Las asignaturas sobre sensores son comunes en los programas de estudios de las universidades del mundo relacionados con carreras de perfil electrónico: Ingeniería Automática, Telecomunicaciones, Biomédica, etc. En la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, específicamente en la especialidad de Ingeniería Biomédica, existen algunas asignaturas que van preparando las bases para los Sensores Avanzados, algunos ejemplos son: Mediciones Electrónicas, que incluyen algunos temas sobre sensores como son las galgas extensiométricas y los sensores de temperatura, al igual que la Electrónica Analógica o las de Instrumentación Biomédica (o Bioinstrumentación). Además, en las carreras de Automática, se imparten en las asignaturas de Electrónica Analógica temas sobre sensores, así como en Telecomunicaciones en la asignatura de Mediciones Electrónicas. También existen una gran variedad de libros sobre la temática a nivel

internacional y algunos otros recursos disponibles a través de Internet para su uso en las asignaturas sobre sensores, además se utilizan conceptos de los libros básicos de electrónica y Bioinstrumentación [6], [7].

Algunas de las universidades del mundo que tienen en su plan de carrera la asignatura de Sensores Avanzados, muchas veces con otro nombre pero con los mismos temas, son las Universidades de Vigo, la Universidad de Cartagena, Universidad de Burgos, la Universidad de Castilla – La Mancha y la Universidad Politécnica de Valencia en España. Muchas de estas y otras universidades coinciden con la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas al emplear como libros de texto y consulta: *Sensors and Signal Conditioning*, de Ramón Pallás Areny y John G. Webster y *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, de John G. Webster.

1.3 Estructura de la asignatura Sensores Avanzados.

Como se había explicado anteriormente, la asignatura se va a organizar atendiendo a la clasificación de los sensores de acuerdo a su principio de funcionamiento, por lo que tendrá la siguiente estructura: sensores resistivos, sensores de variación de reactancia, sensores generadores y otros sensores. Todos incluyen sus circuitos de acondicionamiento, que permiten la conversión a voltaje de cualquier magnitud eléctrica utilizando amplificadores, filtros, entre otros bloques, para lograr aspectos como rechazo al modo común, linealidad, amplificación, filtrado y acople de impedancias.

1.3.1 Sensores Resistivos.

Potenciómetro resistivo

Consta de un elemento resistivo y un contacto móvil deslizante, como se muestra en la Figura 1.1. La tensión de salida se obtiene a partir de la aplicada, midiendo en el punto de contacto móvil con respecto a uno de sus extremos. El cuerpo cuyo movimiento se desea medir se conecta al contacto. Los cambios producidos en la tensión de salida guardan una relación lineal con los desplazamientos observados. Dependiendo del material empleado para construir la pista resistiva, existen tres tipos básicos de potenciómetros: de enrollamiento, de película de carbón y de película de plástico [8].

El máximo voltaje rms aplicado al sensor no puede excederse de la máxima potencia del potenciómetro $V_s < \sqrt{P} \cdot R_t$ donde: [1]

P: Potencia que soporta el potenciómetro.

R_t : Resistencia del potenciómetro en paralelo con la resistencia del contacto móvil en dependencia del desplazamiento.

Sensores de deformación: galgas extensiométricas

Nota: Los términos extensiométricas o extensométricas no están aprobados por la Real Academia de la Lengua Española, por tanto empleo extensiométricas porque es el término que se usa popularmente entre los estudiantes y además es el que más aparece en internet y en la bibliografía utilizada.

Un sensor de deformaciones o galga extensiométrica es un alambre conductor cuya resistencia cambia una pequeña cantidad cuando se alarga o se acorta. El cambio de longitud es pequeño, unas pocas millonésimas de cm. El sensor de deformación está ligado a una estructura, de modo que los porcentajes de cambio de longitud del sensor y la estructura son idénticos. Cuando la barra se somete a tensión, el conductor del sensor se alarga o acorta. En el primer caso su resistencia aumenta y en el segundo disminuye [11].

La longitud activa del sensor está a lo largo del eje transversal, este debe quedar orientado en la misma dirección del movimiento de la estructura que va a medirse.

En la Figura 1.3 se muestra una galga extensiométrica donde el número 1 representa la anchura del soporte, el 2 es la anchura de la galga, el 3 longitud del soporte, el 4 son los extremos ensanchados, el 5 la longitud activa, el 6 la longitud total de la galga y el 7 las marcas de alineación [11], [12].

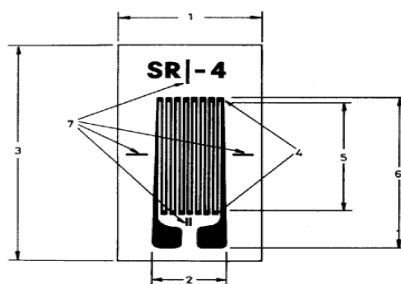


Figura 1. 3: Parámetros de una galga extensiométrica

Limitaciones:

- El esfuerzo aplicado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico, este no excede del 4% de su longitud.
- La temperatura afecta a la resistividad del material, a sus dimensiones y a las dimensiones del soporte. Como consecuencia, un incremento en la temperatura implica una variación de la resistencia aún sin aplicar ningún esfuerzo [11], [12].

Para cada material, se conoce con precisión la relación entre esfuerzos y deformaciones en la zona elástica, que es la que tiene utilidad en la fabricación de galgas extensiométricas (ver Figura 1.4).

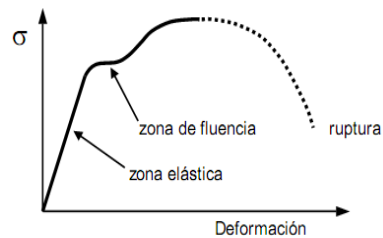


Figura 1. 4: Diagrama de las diferentes zonas de una galga extensiométrica

En la Tabla 1.1 se muestran algunas de las características habituales en las galgas metálicas y semiconductoras [13].

Tabla 1.1: Características de las galgas metálicas y semiconductoras

Parámetro	Metálicas	Semiconductoras
Margen de medida ($\mu\epsilon$)	0,1 a 40000	0,001 a 3000
Factor de sensibilidad	1,8 a 2,35	50 a 200
Resistencia (Ω)	120, 350, 600, ..., 5000	1000 a 5000
Tolerancia de la resistencia (%)	0,1 a 0,2	1 a 2
Tamaño (mm)	0,4 a 150	1 a 5

Acondicionamiento con puente de Wheatstone

Cuando los cambios en la resistencia son muy pequeños, se utiliza el puente de Wheatstone de la Figura 1.5, donde las galgas pueden ocupar una, dos, tres o cuatro ramas del puente. El resto estará ocupado por resistencias fijas de alta precisión y estabilidad [14], [9].

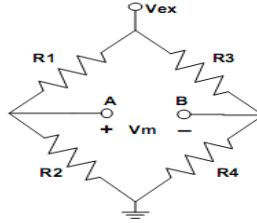


Figura 1. 5: Puente de Wheatstone

Detectores de temperatura resistivos (RTD)

Los detectores de temperatura resistivos (RTD; *Resistive Temperature Detector*) se basan en la variación de la resistencia eléctrica de los metales con la temperatura. Un metal apto para aplicaciones con el RTD debería poseer las siguientes características:

- Elevada resistividad, con el fin de economizar material.
- Cambio en la resistividad con la temperatura lineal y adecuada a la resolución.
- Propiedades mecánicas que hacen el dispositivo fiable [14].

La mayoría de los RTD son de platino porque, además de verificar las anteriores características, es un material muy resistente a la contaminación y sus propiedades se mantienen a muy largo plazo. El sensor RTD más difundido es la denominada Pt100. Se trata de un elemento de platino que presenta una resistencia de 100 Ω a 0°C, como se ilustra en la Figura 1.6 [15].

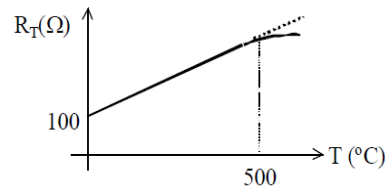


Figura 1. 6: Curva aproximadamente lineal de una PT100

La expresión siguiente muestra:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 \cdot \Delta T + \alpha_2 \cdot \Delta T^2) \quad (1.2)$$

donde R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia (habitualmente 0 °C), $\Delta T = T^a - T$ referencia y α es el coeficiente de temperatura. Normalmente se suele aceptar un modelo

lineal para los RTD, basado en el uso de un solo coeficiente α , obtenido, para un determinado rango de temperaturas, con la intención de minimizar el error por no linealidad. En todo caso es el fabricante del sensor el que proporciona el valor del coeficiente α .

Tabla 1.2: Especificaciones para diferentes tipos de RTD [16]

Parámetro	Platino	Cobre	Níquel	Molibdeno
P a 20 °C ($\mu\Omega\text{cm}$)	10,6	1,673	6,844	5,6
α ($\Omega/\Omega/\text{K}$)	0,00385	0,0043	0,00681	0.003786
R0 a 0 °C (Ω)	25, 50, 100, 200,	10 (20°C)	50, 100, 120	100, 200, 500, 1000,
Margen (Ω)	-200 a 850	-200 a 260	-80 a 320	-200 a 200

Acondicionamiento con puente de Wheatstone

A pesar de ser un elemento más sensible que las galgas, suele utilizarse como acondicionamiento, el puente de Wheatstone a 3 y 4 hilos, para eliminar errores dados por la baja resistencia de las RTD y la propia resistencia de los hilos de conexión.

Para minimizar el error, se emplea la configuración de tres hilos de la Figura 1.7, en la que se reduce a la mitad la resistencia parásita de los hilos [8].

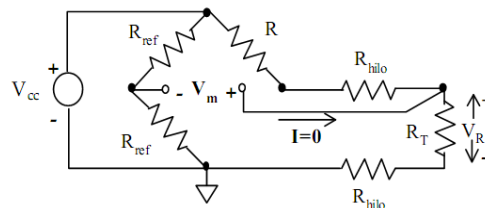


Figura 1. 7: Puente de Wheatstone empleando configuración de tres hilos

La Figura 1.8 muestra la configuración de medida de cuatro hilos, que consigue eliminar el error asociado a los hilos de conexión. Como se aprecia, se emplea una fuente de corriente en lugar de una fuente de tensión [8].

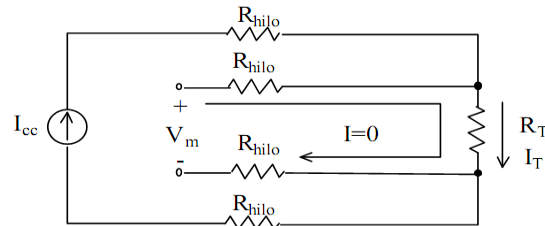


Figura 1. 8: Configuración de medida basada en el método de los cuatro hilos

Termistores

Un termistor es un transductor de temperatura resistivo de alta resistencia que se emplea con mucha frecuencia en aplicaciones de adquisición de datos. Pueden fabricarse en pequeños tamaños y de una amplia gama de valores resistivos; sin embargo, están sujetos a errores por autocalentamiento. En término medio, su coeficiente de temperatura es notablemente mayor que el de los RTD, no siendo necesaria técnicas especiales como amplificadores de alta ganancia o configuraciones de tres o cuatro hilos para ofrecer alta precisión. A pesar de estas ventajas, existen inconvenientes pues su rango de medida es menor en término medio que el de los RTD y termopares (-50 °C a 150 °C), debido a que son poco lineales; aunque hay excepciones (algunos superan los 300 °C). Los termistores, a diferencia de las RTD, están contruidos con semiconductores [16].

Su coeficiente de temperatura puede ser positivo (PTC: *Positive Temperature Coefficient*) o negativo (NTC: *Negative Temperature Coefficient*); estos últimos se emplean con mayor frecuencia.

NTC

En un rango de temperaturas reducido (50 °C), la dependencia entre la resistencia (R_t) y la temperatura (T) se puede expresar de forma aproximada por:

$$R_t = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (1.3)$$

donde R_0 es la resistencia a 25 °C u otra temperatura de referencia, y T_0 es dicha temperatura expresada en Kelvins. El parámetro B es la denominada temperatura característica del material, y tiene valores que van de 2000 K a 5000 K [17].

Linealización:

Se puede linealizar el termistor mediante una resistencia en paralelo, como en Figura 1.9, a costa de perder sensibilidad utilizando (1.4).

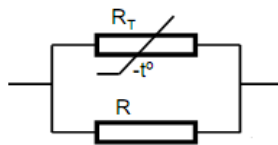


Figura 1. 9: Linealizar el termistor usando una resistencia en paralelo

$$R = R_{TC} \cdot \frac{B-2T_C}{B+2T_C} \quad (1.4)$$

Ventajas:

- Bajo costo.
- Tienen una sensibilidad mucho mayor que las RTD.
- Debido a su alta resistividad pueden tener una masa muy pequeña, lo que permite una respuesta rápida. Esta alta resistencia puede permitir despreciar el efecto de carga de los cables de conexión.

Desventajas:

- Su reducida masa provoca problemas de autocalentamiento, por lo que habrá que limitar la corriente.
- Su falta de linealidad obliga a un acondicionamiento por *software* si queremos una alta precisión [18].

1.3.2 Sensores de variación de reactancia.

Sensores capacitivos

Un condensador eléctrico consiste en dos conductores separados por un dieléctrico (sólido, líquido o gaseoso), o el vacío. La relación entre la carga, Q , y la diferencia de potencial, V , entre ellos, viene descrita por su capacidad, $C = \frac{Q}{V}$. Esta capacidad depende de la disposición geométrica de los conductores y del material, dieléctrico, dispuesto entre ellos, $C = C(\varepsilon, G)$ [19].

Por ejemplo, para un condensador formado por n placas planas paralelas iguales con área A , distancia d entre cada par, y un material entre ellas con constante dieléctrica relativa ε_r , la capacidad aproximada C es (1.5):

$$C \approx \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} (n - 1) \quad (1.5)$$

donde $\varepsilon_0=8,85$ pF/m es la constante dieléctrica o permitividad del vacío. Así pues, cualquier fenómeno o magnitud que produzca una variación en ε_0 , A o d , provocará un cambio en la capacidad C y, en principio, puede ser detectado mediante el dispositivo.

A continuación se muestra, en la Figura 1.10, el esquema del principio de funcionamiento de diversos sensores capacitivos simples y diferenciales basados en una variación de área, de distancia entre placas y de dieléctrico [1].

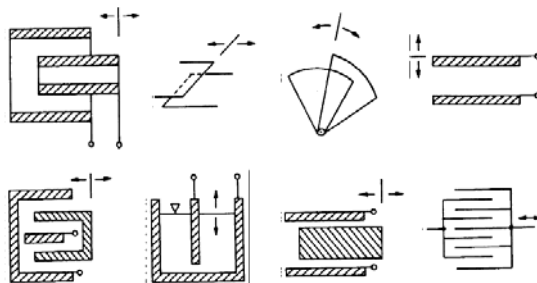


Figura 1. 10: Sensores capacitivos basados en variación de área, dieléctrico y distancia entre placas

Mediante un acondicionador adecuado se logra que la señal de salida sea lineal, y además un aumento de la sensibilidad con respecto al caso de un condensador simple.

Limitaciones:

- Efecto borde: cuando la separación entre placas es mucho mayor que las dimensiones laterales del condensador, la capacidad real del mismo no coincide con la obtenida al aplicar la expresión teórica, un método para reducir el efecto de los bordes es el empleo los denominados anillos de guarda.
- Aislamiento entre placas: cuando en consecuencia de variaciones de humedad, se altera el aislamiento ofrecido por el dieléctrico y aparecen resistencias parásitas en paralelo con C , se producen variaciones en la impedancia del condensador no atribuibles a un cambio de capacidad.
- Interferencias capacitivas: si cualquier conductor próximo al condensador variable alcanza un determinado potencial con respecto a la placa de este, aparecerá una capacidad parásita (C_p) entre la placa y el conductor, que interfiere en la medida, puede ser necesario apantallar eléctricamente esta placa y los cables conectados a ella.
- Cables de conexión: al ser apantallados para evitar las interferencias capacitivas se pierde sensibilidad.
- No linealidad: su linealidad depende del parámetro que varía, de la expresión de la capacidad y de si se mide la impedancia o la admitancia del condensador.
- Alta impedancia de salida: si se quiere medir la tensión en los terminales del sensor capacitivo, es preciso utilizar un circuito de medida que tenga una impedancia de entrada muy alta. De lo contrario se producirá un error por carga considerable [19].

Ventajas:

- Error por carga mecánica mínimo: como sensores de desplazamiento, al no haber contacto mecánico directo, como sucedía en los potenciómetros, no hay errores por fricción.
- Estabilidad muy elevada: al no depender la capacidad de las propiedades de las placas, no afectan en este sentido, los cambios de temperatura.
- Muy alta resolución en la medida de desplazamientos: esto es consecuencia de la alta resolución que se pueden conseguir, con los circuitos de acondicionamiento, en la medida de capacidades.
- No producen campos eléctricos ni magnéticos grandes: esto es una ventaja frente a los sensores inductivos, que pueden producir campos magnéticos de dispersión intensos que perturban el funcionamiento de otros circuitos del entorno [19].

Sensores inductivos

La inductancia de un circuito es el cociente entre el flujo magnético que concatena y la corriente que lo provoca. Si se trata de una corriente circulando por el propio circuito, se habla de autoinductancia, L (1.6). En caso contrario, se habla de inductancia mutua.

Para el caso de un circuito con N espiras, que concatena un flujo φ y por el que circula una corriente i , la inductancia (L) se puede expresar como [20], [21]:

$$L = N \frac{d\varphi}{di} \quad (1.6)$$

Se denomina fuerza magnetomotriz (M) al producto del número de espiras por la corriente:

$$M = N \cdot i \quad (1.7)$$

Se denomina reluctancia magnética (R) al cociente entre la fuerza magnetomotriz y el flujo:

$$R = \frac{M}{\varphi} \quad (1.8)$$

Finalmente se obtiene:

$$L = \frac{N^2}{R} \quad (1.9)$$

Para una bobina con un núcleo magnético de sección transversal A , longitud L y permeabilidad magnética μ , la reluctancia viene dada por:

$$R = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{A} \quad (1.10)$$

Cualquier variación en N , μ (permeabilidad del material en el interior y alrededor de la bobina) o la geometría pueden emplearse para la transducción. La mayoría de los sensores

inductivos son de reluctancia variable y es un desplazamiento el que la modifica. Los primeros se denominan sensores de entrehierro variable y los segundos sensores de núcleo móvil [20], [22].

Limitaciones:

- Los campos magnéticos parásitos: afectan a L , por lo que puede ser necesario disponer un apantallamiento magnético a su alrededor.
- La relación entre L y R no es constante en todo el dispositivo: varía hacia los extremos del mismo porque el campo deja de ser uniforme. Esto limita el alcance de medida y es una fuente de interferencias para otros dispositivos o circuitos próximos.
- L y R son inversamente proporcionales: si el parámetro variable es la longitud, el dispositivo tendrá una impedancia inversamente proporcional a la misma. Si lo que varía es μ , entonces hay proporcionalidad entre la impedancia y la magnitud a medir [21], [22].

Ventajas:

- Les afecta poco la humedad ambiente y otros contaminantes, a diferencia de los sensores capacitivos.
- Imponen poca carga mecánica, aunque superior a la de un condensador variable.
- Alta sensibilidad, superior a la de los sensores capacitivos [21], [22].

A continuación, se observan en la Figura 1.11 los distintos tipos de sensores inductivos simples y diferenciales que pueden variar en cuanto al desplazamiento lineal del núcleo, desplazamiento angular del núcleo o la variación del entrehierro [1], [22].

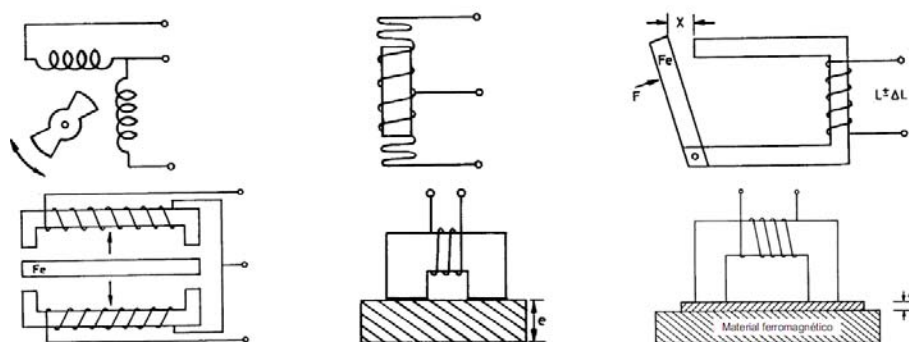


Figura 1. 11: Sensores inductivos basados en variación del núcleo y del entrehierro

Transformadores diferenciales (LVDT)

Un LVDT es muy parecido a cualquier otro transformador, el cual consta de un bobinado primario, bobinado secundario, y un núcleo magnético, como se muestra en la Figura 1.12. Una corriente alterna, conocida como la señal portadora, se aplica en el bobinado primario. Dicha corriente alterna en el bobinado primario produce un campo magnético variable alrededor del núcleo. Este campo magnético induce un voltaje alterno (CA) en el bobinado secundario que está en la proximidad del núcleo. Como en cualquier transformador, el voltaje de la señal inducida en el bobinado secundario es una relación lineal del número de espiras. Como el núcleo se desplaza, el número de espiras expuestas en el bobinado secundario cambia en forma lineal. Por lo tanto la amplitud de la señal inducida cambiará también linealmente con el desplazamiento. El LVDT indica la dirección de desplazamiento debido a que las salidas de los dos bobinados secundarios se encuentran balanceadas mutuamente. Los bobinados secundarios en un LVDT se conectan en sentido opuesto [21].

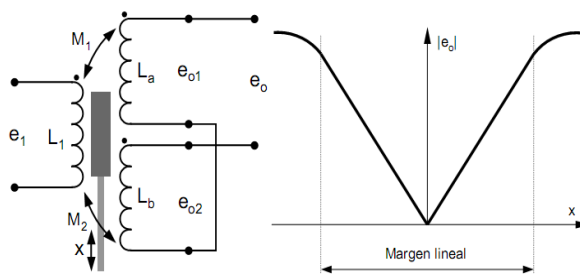


Figura 1. 12: Diagrama de un LVDT y gráfica del voltaje del secundario según el desplazamiento

Limitaciones:

- En la posición central la tensión de salida no pasa por cero: en los dispositivos reales es imposible conseguir una simetría total en los dos bobinados y circuitos magnéticos del secundario, por esto, en la posición de equilibrio, la tensión no pasa por cero sino por un mínimo.
- La temperatura puede modificar la ganancia del LVDT: un aumento de temperatura del dispositivo incrementa al alza la resistencia del primario, con lo que baja la corriente y con ella la tensión de salida [12].

Ventajas:

- Resolución: en teoría es infinita, en la práctica muy alta.

- Carga mecánica mínima: al ser muy bajo el rozamiento entre el núcleo y los devanados, la fuerza necesaria para producir el desplazamiento es casi despreciable.
- Duración casi ilimitada y alta fiabilidad: esto es consecuencia del bajo rozamiento de la única parte móvil, el núcleo.
- Aislamiento eléctrico: entre el circuito primario y el secundario. Y también entre el elemento sensor y el circuito eléctrico, ya que hay un acoplamiento magnético.
- Alta linealidad: en muchos casos hasta del 0,05 % del fondo de escala.
- Alta sensibilidad: dependiente de la tensión y frecuencia de alimentación del primario y, de la resistencia de carga del secundario.
- Respuesta dinámica elevada: consecuencia de la baja inercia del núcleo, entre otros factores [12].

1.3.3 Sensores generadores.

Se consideran sensores generadores aquellos que generan una señal eléctrica, a partir de la magnitud que miden, sin necesidad de una alimentación. Ofrecen una alternativa para medir muchas de las magnitudes ordinarias, sobre todo temperatura, fuerza y magnitudes afines. Pero, además, dado que se basan en efectos reversibles, están relacionados con diversos tipos de accionadores o aplicaciones inversas en general. Es decir, se pueden emplear para la generación de acciones no eléctricas a partir de señales eléctricas [10].

Los termopares son sensores que emplean, en sus circuitos de acondicionamiento, amplificadores en forma simple o diferencial y en configuraciones donde se emplean uno o varios de ellos, por lo que su acondicionamiento puede llegar a ser más complejo que los sensores anteriores [23].

Termopares

Los sensores termoeléctricos se basan en dos efectos que, a diferencia del efecto Joule que sufren los sensores de temperatura resistivos, son reversibles. Se trata del efecto Peltier y del efecto Thomson. La acción conjunta de estos dos efectos da lugar al efecto Seebeck, en el que se basan los termopares.

Un circuito formado por dos metales homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, aparece una corriente eléctrica Figura 1.13. Es decir, hay una conversión de energía térmica a energía eléctrica. Si se abre el circuito, aparece una fuerza (termo)

electromotriz (f.t.e.m.) cuya magnitud depende de la naturaleza de los metales y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones. Al conjunto de estos dos metales con una unión firme en un punto se le denomina termopar [10].

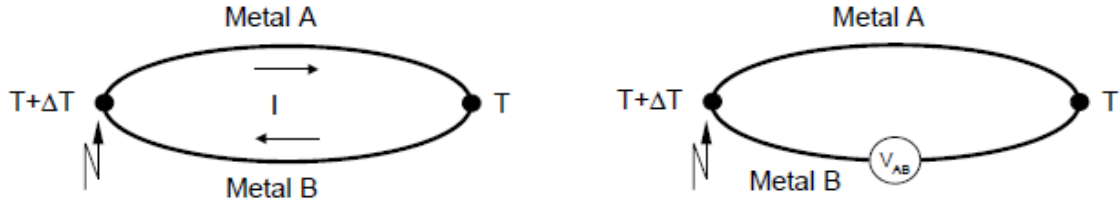


Figura 1. 13: Aparición de una corriente o de una diferencia de voltaje en un termopar

La relación entre la f.t.e.m. y la diferencia de temperaturas entre las uniones, define el coeficiente de Seebeck [10].

$$S_{AB} = \frac{dE_{AB}}{dT} = S_A - S_B \quad (1. 11)$$

Efecto Peltier: consiste en el calentamiento o enfriamiento de la unión entre dos metales al pasar una corriente por ella. Al invertir el sentido de la corriente se invierte también el sentido del flujo de calor, si antes se calentaba ahora se enfría y viceversa Figura 1.14.



Figura 1. 14: Efecto Peltier

Efecto Thomson: consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circula una corriente Figura 1.15 [10].

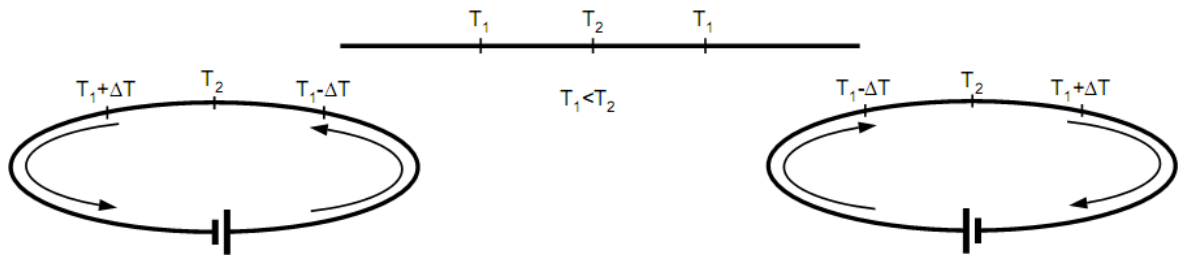


Figura 1. 15: Efecto Thomson

Los valores de la tensión obtenida con determinados termopares, en función de la temperatura de la unión de medida, cuando la unión de referencia se mantiene a 0°C , están tabulados en la Tabla 1.3 [24].

Tabla 1. 3: Fragmento de la tabla V/T para un termopar Hierro-Constantan

Grados	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,507
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,813	0,865	0,916	0,967	1,019
20	1,019	1,070	1,122	1,174	1,225	1,277	1,329	1,381	1,432	1,484	1,536
30	1,536	1,588	1,640	1,693	1,745	1,797	1,849	1,901	1,954	2,006	2,058
40	2,058	2,111	2,163	2,216	2,268	2,321	2,374	2,426	2,479	2,532	2,585
50	2,585	2,638	2,691	2,743	2,796	2,849	2,902	2,956	3,009	3,062	3,115
60	3,115	3,168	3,221	3,275	3,328	3,381	3,435	3,488	3,542	3,595	3,649
70	3,649	3,702	3,756	3,809	3,863	3,917	3,971	4,024	4,078	4,132	4,186
80	4,186	4,239	4,293	4,347	4,401	4,455	4,509	4,563	4,617	4,671	4,725
90	4,725	4,780	4,834	4,888	4,942	4,996	5,050	5,105	5,159	5,213	5,268
100	5,268	5,322	5,376	5,431	5,485	5,540	5,594	5,649	5,703	5,758	5,812

Limitaciones:

- La corriente que circule por el circuito del termopar debe ser mínima. De no ser así, debido a los efectos Peltier y Thomson, la temperatura de las uniones y de los conductores sería distinta a la del entorno. Además, habría que considerar el efecto Joule y la caída de tensión en los conductores del termopar.
- Los conductores deben ser homogéneos, por lo que se deben extremar las precauciones en la instalación para evitar tensiones mecánicas, también se deben evitar gradientes de temperatura “importantes” a lo largo del tendido de los cables para evitar envejecimientos prematuros.
- Es necesario mantener la unión de referencia a una temperatura fija y conocida. Si esta temperatura de referencia está muy lejos del margen de variación de la temperatura a medir, la salida del termopar puede que presente variaciones pequeñas sobre un nivel alto de tensión.
- Al no ser constante el coeficiente de Seebeck, la linealidad no es total aunque, para algunos termopares y en determinados tramos de temperatura, es aceptable.
- La tolerancia, entre diferentes unidades del mismo modelo, puede ser de varios $^{\circ}\text{C}$. Este hecho puede requerir ajustes en el circuito de acondicionamiento tras una sustitución del termopar [16].

Ventajas:

- Tienen un alcance de medida grande, no sólo en su conjunto, que va desde -270 °C hasta 3000 °C, sino también en cada modelo particular.
- Su estabilidad a largo plazo es aceptable y su fiabilidad elevada.
- Para temperaturas bajas tienen mayor exactitud que las RTD, y por su pequeño tamaño tienen velocidades de respuesta rápida, del orden de milisegundos.
- Son robustos, simples y tienen gran flexibilidad de utilización. Además, existen modelos de bajo precio adecuados para muchas aplicaciones.
- Al no necesitar excitación, no tienen problemas de autocalentamiento [16].

En la siguiente se muestra una relación de los termopares de uso más frecuente con su denominación normalizada (ANSI) [1].

Tabla 1. 4: Características de algunos termopares

Designación	Composición	Margen habitual	mV/margen
B	P _t (6 %)/Rodio-P _t (30%)/Ronio	38 a 1800 °C	13,6
C	W (5%)/Renio-W(26%)/Renio	0 a 2300 °C	37,0
E	Cromel - Constantan	0 a 982 °C	75,0
J	Hierro - Constantan	0 a 760 °C	42,9
K	Cromel - Alumel	-184 a 1260 °C	56,0
N	Nicrosil(Ni-Cr-Si) – Nisil(Ni-Si-Mg)	-270 a 1300°C	51,8
R	Pt(13%)/Rodio-Pt	0 a 1593°C	18,7
S	Pt(10%)/Rodio-Pt	0 a 1538 °C	16,0
T	Cobre-Constantan	-184 a 400°C	26,0

Piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo. Es un efecto reversible, de modo que al aplicar una diferencia de potencial eléctrico a un material piezoeléctrico, aparece una deformación. Algunas de las aplicaciones más frecuentes de los sensores piezoeléctricos están en el campo de los ultrasonidos. Especial mención requieren (por ser muy numerosos) los dispositivos que utilizan técnicas de impulso-eco: detectores de grietas o anomalías en estructuras, detectores de presencia, equipos de ecografía y medidores de distancias [1].

Limitaciones:

- La resistencia eléctrica que presentan los materiales piezoeléctricos aunque es muy grande no es infinita, y por tanto no tienen respuesta en continua.
- Estos sensores presentan un pico en la respuesta para la frecuencia de resonancia. Es preciso trabajar siempre a frecuencias muy inferiores a la de resonancia mecánica.
- La sensibilidad presenta derivas con la temperatura.
- La impedancia de salida de estos sensores es muy alta, por lo que para medir la tensión de salida es preciso utilizar amplificadores con una impedancia de entrada enorme [12].

Ventajas:

- Alta sensibilidad, obtenida muchas veces a bajo costo.
- Alta rigidez mecánica; las deformaciones experimentadas son inferiores a $1\mu\text{m}$. Esta alta impedancia mecánica es conveniente para la medida de variables esfuerzo (fuerza, presión, etc.)
- Pequeño tamaño y posibilidad de obtener dispositivos con sensibilidad unidireccional [12].

1.3.4 Otros sensores.

La variedad de dispositivos hace difícil establecer un criterio de clasificación que sea exhaustivo. El criterio seguido hasta el momento no es una excepción, y se echan en falta algunos sensores de uso muy extendido que no corresponden a los distintos tipos vistos anteriormente [25], [26], [27].

Sensores ópticos

Este tipo de dispositivos incluyen un emisor de luz, normalmente un diodo LED de infrarrojos, y un fotodetector, normalmente un fototransistor o un fotodiodo. La detección se produce cuando un objeto opaco se interpone entre el emisor y el receptor. El haz luminoso puede ir directamente del emisor al receptor, o bien el detector recibe el haz reflejado en una superficie. En el primer caso se les suele denominar detectores de barrera y en el segundo detectores por reflexión. Estos sensores se pueden considerar como digitales [21].

Codificadores de posición

En un codificador de posición incremental hay un elemento lineal o un disco con poca inercia que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea determinar, como en la Figura 1.16. Dicho elemento posee dos tipos de zonas o sectores, con una propiedad que las diferencia, dispuestas de forma alternativa y equidistante. De este modo, los cambios de posición pueden ser detectados al pasar estas zonas por debajo de un dispositivo o cabezal de lectura fijo. La resolución del sensor depende del número de zonas por unidad de longitud [28].

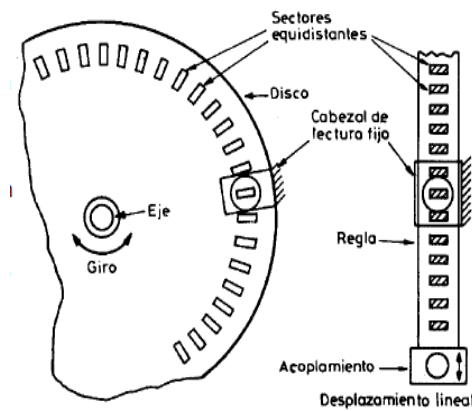


Figura 1. 16: Codificador de posición incremental

CAPÍTULO 2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE SENSORES AVANZADOS.

Para realizar prácticas de laboratorios simuladas y reales de la asignatura Sensores Avanzados, es necesario conocer los instrumentos y las componentes que van a ser de utilidad en el montaje de los ejercicios, así como los paquetes de *software* empleados para su simulación. En este capítulo se pretende explicar, de manera breve, los equipos y componentes imprescindibles en la investigación como son el tablero *obreadboard*, el osciloscopio, el multímetro, la fuente, el generador de ondas y el *software* empleado (Multisim 10.1).

2.1 Equipos y componentes empleados en las prácticas de laboratorio real.

2.1.1 Tablero de pruebas (*Breadboard*).

La *Breadboard* DAC-457000 combina con la más alta calidad, el experimento analógico con el experimento digital. Está provisto con un tablero trasladable, 2 *displays* digitales de LEDs de 7 segmentos y un altavoz de 0,25 W. Además, es el único conector universal que reserva diferentes órdenes en el tablero para ser conectados a conveniencia del circuito a desarrollar. Su función versátil hace innecesario que los usuarios tengan que complementar por otros métodos el experimento. En pocas palabras, es ideal para los estudiantes con carreras cercanas a la electrónica y los circuitos como es la Ingeniería Biomédica [29].

Especificaciones:

Están interconectados 2820 puntos en una placa de níquel, donde se conectan las componentes con la ventaja de que puede cambiarse y reemplazarse en dependencia del circuito que se pretende montar, las componentes pueden tener una separación entre sus patas de alambre sólido de 0,3 a 0,8 mm [29].

- Fuente de Voltaje:

DC salida (fijo): +5 V, 1 A.

DC salida (fijo): -5 V, 1 A.

DC salida (variable): 0 V a +15 V, 1 A.

DC salida (variable): 0 V a -15 V, 1 A.

- Potenciómetro:

Resistor variable $Vr1=1\text{ k}\Omega$.

Resistor variable $Vr1=100\text{ k}\Omega$.

- Rango de frecuencias: 1 Hz – 10 Hz, 10 Hz – 100 Hz, 100 Hz – 1 kHz, 1 kHz – 10 kHz, 10 kHz – 100 kHz.
- Amplitud: Para las ondas sinusoidal, triangular y cuadrada 0 – 10 Vpp[29].

2.1.2 Multímetro digital (UT804).

Para encender el Multímetro, active el interruptor de la parte de atrás. Este equipo puede alimentarse conectado directamente a la corriente (AC 110 V/60 Hz) o usando 6 baterías de 1,5 V. Está estructurado por un *display* LCD, los botones funcionales como (*select*, *range*, *store*, *setup*), los terminales de salida y un interruptor rotativo que escoge de una función a otra, puede medir voltaje y corriente AC, voltaje y corriente DC, la resistencia, la capacitancia, la temperatura, la frecuencia, los diodos y la continuidad utilizando las puntas negra (tierra) y roja conectadas a los terminales de salida [30].

En las tablas 2.1 y 2.2 se muestran los botones funcionales y las especificaciones básicas respectivamente, del Multímetro digital (UT804) [30].

Tabla 2. 1: Botones funcionales

Botón	Descripción
<i>SELECT</i>	Seleccionar cualquier función alternativa del interruptor rotativo.
<i>RANGE</i>	Seleccionar el intervalo de la entrada.
<i>STORE</i>	Guardar el valor de lo medido.
<i>RECALL</i>	Buscar el valor guardado.
<i>SETUP</i>	Pasar a una nueva selección.
<i>SEND</i>	Dar salida al dato.
<i>MAXMIN</i>	Visualizar los valores máximos y mínimos.
<i>HOLD</i>	Mantener en pantalla el valor obtenido.
<i>EXIT</i>	Salir.

Tabla 2. 2: Especificaciones básicas

Función	Rango/Descripción
Voltaje DC	0 a 1000 V
Voltaje AC (rms)	0 a 1000 V, 100 kHz (ancho de banda)
Tolerancia	Voltaje DC: 0,025 % Corriente AC: 0,4 %
Corriente DC	0 a 10 A (5~10 A por ≤ 10 s)
Corriente AC (rms)	0 a 10 A (5~10 A por ≤ 10 s)
Resistencia	0 a 40 M Ω
Capacitancia	0 a 40 mF
Frecuencia	0 ~ 400 MHz
Temperatura	-40 °C ~ 1000 °C

2.1.3 Osciloscopio (AT7328S).

El osciloscopio es uno de los más importantes instrumentos de medida que existen actualmente. Representan gráficamente las señales que le llegan, pudiendo así observarse en la pantalla muchas más características de la señal que las obtenidas con cualquier otro instrumento. Por otra parte los osciloscopios digitales tienen un aspecto totalmente distinto a los convencionales pero, si entendemos el funcionamiento de los analógicos, será muy sencillo aprender a manejar los digitales [31].

Con el osciloscopio se pueden hacer varias cosas, como:

- Determinar directamente el periodo y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal, aunque en este modelo se puede medir frecuencia automáticamente.
- Determinar qué parte de la señal es DC y cuál es AC.
- Localizar averías en un circuito.
- Medir la fase entre dos señales.
- Determinar qué parte de la señal es ruido y cómo varía este en el tiempo.

En todos los osciloscopios podemos distinguir tres partes:

- la pantalla.
- un canal de entrada, por las que se introduce la diferencia de potencial a medir.
- una base tiempo.

En la actualidad los osciloscopios analógicos están siendo desplazados en gran medida por los osciloscopios digitales, entre otras razones por la facilidad de poder transferir las medidas a una computadora personal. En el osciloscopio digital la señal es previamente digitalizada por un conversor analógico digital. Al depender la fiabilidad de la visualización de la calidad de este componente, esta debe ser cuidada al máximo [31].

Las características y procedimientos señalados para los osciloscopios analógicos son aplicables a los digitales. Sin embargo, en estos se tienen posibilidades adicionales, tales

como el disparo anticipado (*pre-triggering*) para la visualización de eventos de corta duración, o la memorización del oscilograma transfiriendo los datos a un PC. Esto permite comparar medidas realizadas en el mismo punto de un circuito o elemento. Existen asimismo equipos que combinan etapas analógicas y digitales.

La principal característica de un osciloscopio digital es la frecuencia de muestreo, la misma determinara el ancho de banda máximo que puede medir el instrumento, viene expresada generalmente en MS/s (millones de muestra por segundo) [31].

2.1.4 Fuente de alimentación (XJ17432L).

En las tablas 2,3, 2,4 , 2,5 y 2,6 se muestran las especificaciones básicas, las características del regulador de voltaje, del regulador de corriente, y de la respuesta de tiempo respectivamente, de la Fuente de alimentación (XJ17432L) [32].

Tabla 2. 3: Especificaciones básicas

CH1/CH2 Independiente	0 ~ 30 V / 0 ~ 6 A ; 0 ~ 60 V / 0 ~ 3 A
CH1/CH2 Series	0 ~ 60 V / 0 ~ 6 A ; 0 ~ 120 V / 0 ~ 3 A
CH1/CH2 Paralelo	0 ~ 30 V / 0 ~ 12 A ; 0 ~ 60 V / 0 ~ 6 A
CH3	0,1 ~ 5 V / 3 A

Tabla 2. 4: Regulador de voltaje

Línea	0,01 % + 3 mV
Carga	0,01 % + 5 mV (rango de corriente 6 A) 0,01 % + 8 mV (rango de corriente 12 A)
Onda y ruido	5mVrms (5 Hz ~ 1 MHz); 50mVpp (20 Hz ~ 20 MHz)
Tiempo de restablecimiento	≤ 100 s (50 % mínimo 0,5 A)

Tabla 2. 5: Regulador de corriente

Línea	0,2 % + 3 mA
Carga	0,2 % + 3 mA
Onda y ruido	3 mArms

Tabla 2. 6: Salida ON/OFF. Respuesta de tiempo

Voltaje alto (10% ~ 90%)	100 ms (95 %)
Voltaje bajo (90% ~ 10%)	≤ 100 ms (≥ 10 %)
Tolerancia	$\pm (0,5 \text{ \% de } + 0,5 \text{ V})$

2.1.5 Generador de señales (XJ1633).

Un Generador de Funciones es un aparato electrónico que produce ondas sinusoidales, cuadradas y triangulares, además de crear señales TTL. Este generador de funciones específicamente, trabaja en un rango de frecuencias de entre 0,2 Hz a 2 MHz. También cuenta con una función de barrido, la cual puede ser controlada tanto internamente como externamente con un nivel de DC. El ciclo de máquina, nivel de *offset* en DC, rango de barrido y la amplitud y ancho del barrido pueden ser controlados por el usuario [33].

La red de control de frecuencia está dirigida por el selector fino de frecuencia en el panel frontal del instrumento, o por un voltaje de control aplicado externamente. El voltaje de control de frecuencia regula dos fuentes de corriente. La fuente de corriente superior aplica una corriente constante al integrador, cuyo voltaje de salida se incrementa en forma lineal con el tiempo. La conocida relación da el voltaje de salida. Un incremento o decremento de la corriente aplicada por la fuente de corriente superior aumenta o disminuye la pendiente del voltaje de salida. El comparador de voltaje cambia de estado a un nivel predeterminado sobre la pendiente positiva del voltaje de salida del integrador. Este cambio de estado desactiva la fuente de corriente superior y activa la fuente inferior. Dicha fuente aplica una

corriente distinta inversa al integrador, de modo que la salida disminuya linealmente con el tiempo [33].

Cuando el voltaje de salida alcanza un nivel predeterminado en la pendiente negativa de la onda de la salida, el comparador de voltaje cambia de nuevo, desactiva la fuente de corriente inferior y activa al mismo tiempo la fuente superior. El voltaje a la salida del integrador tiene una forma de onda triangular cuya frecuencia está determinada por la magnitud de la corriente aplicada por las fuentes de corriente constante. El comparador entrega un voltaje de salida de onda cuadrada de la misma frecuencia. La tercera onda de salida se deriva de la onda triangular, la cual es sintetizada en onda sinusoidal por una red de diodos y resistencias. En ese circuito, la pendiente de la onda triangular se altera a medida que su amplitud cambia, resultando una onda sinusoidal con menos del 1% de distorsión. Los circuitos de salida del generador de funciones constan de dos amplificadores que proporcionan dos salidas simultáneas seleccionadas individualmente de cualquiera de las formas de onda [33].

2.1.6 Componentes empleados.

Las componentes que van a ser de mayor utilidad en el montaje real de las prácticas de laboratorio de la asignatura Sensores Avanzados son las resistencias variables, los capacitores variables y los inductores variables debido a su equivalencia con los sensores resistivos, capacitivos e inductivos, respectivamente. Todo se facilita por la existencia de estos componentes en la Facultad de Ingeniería Eléctrica en estos momentos. Estas componentes comprenden:

- Reóstatos: de 10 Ω (2 A), 50 Ω (1,5 A) y 200 Ω (1,25 A).
- Cajas decádicas resistivas: de 0 a 9 999 Ω , con paso de 1 Ω .
- Cajas decádicas capacitivas RX7-0: de 0 a 1 μF , con paso de 0,1 nF.
- Inductor variable GX9/3: de 0 a 100 mH, con paso de 10 mH.

2.2 Software empleado (Multisim10.1).

Escogimos este programa de simulación de *National Instruments* por las innumerables ventajas que tiene sobre otros programas. Es necesario destacar la facilidad de manejo que

este presenta debido a que se puede trabajar en él de manera intuitiva, por su fácil presentación. Multisim es una herramienta ampliamente usada en el campo profesional, gracias a su potente entorno interactivo, no requiere de un conocimiento amplio en simulación, ni una amplia experiencia en el uso de herramientas de este tipo [34], [35].

Con Multisim se realiza la captura, simulación y postprocesado en el mismo entorno, lo que elimina los altos costos de realizar el diseño en múltiples etapas repetitivas, asegurando la calidad en la simulación y medidas en el diseño. La familia de productos a nivel profesional de Multisim (*Base*, *Full* y *Power Pro*) ofrece un amplio conjunto de herramientas para los diseñadores profesionales [34], [35].

El Multisim 10.1 contiene los botones para las funciones normales abrir, salvar, cortar, copiar. En la barra de menú se pueden encontrar los botones para simular, detener y los botones para montar los circuitos con componentes como resistores, capacitores, inductores y diodos, como muestra la Figura 2.2 [35].

Button	Description
	Place Source button. Selects the Source components group in the browser.
	Place Basic button. Selects the Basic components group in the browser.
	Place Diode button. Selects the Diode components group in the browser.
	Place Transistor button. Selects the Transistor components group in the browser.
	Place Analog button. Selects the Analog components group in the browser.

Figura 2. 1: Botones con su descripción

Además, proporciona varios instrumentos virtuales que usted usa para medir la conducta de sus circuitos. Estos instrumentos se parecen a los que simplemente usted ha visto y ha usado en un laboratorio. Usando los instrumentos virtuales es la manera más fácil para examinar la conducta de su circuito y mostrar los resultados de una simulación. Estos instrumentos virtuales pueden ser multímetro, osciloscopio, generador de señales entre otros.

Con la simulación, usted puede determinar la conducta de un circuito sin construir el circuito físicamente o usar los instrumentos reales. Después de que usted crea un circuito esquemático y empieza la simulación, la solución del circuito y generación de los datos que usted ve en los instrumentos como el osciloscopio es el papel del simulador. Más

específicamente, el simulador es la parte de Multisim que calcula una solución numérica a una representación matemática del circuito creado.

Además, existen las diferentes opciones de análisis que permiten una descripción del comportamiento del circuito. Dentro de estas técnicas se encuentran: el análisis AC, que se usa para calcular la respuesta de frecuencia de circuitos lineales; el análisis transiente, que se usa para calcular la respuesta del circuito en función del tiempo; el análisis de ruido, que calcula la contribución del ruido de cada componente al rendimiento del circuito; entre otros, como el análisis de Fourier y de barrido [35].

2.3 Estructura de las actividades prácticas.

En cuanto a la estructura metodológica de los laboratorios se debe tener en cuenta primeramente que la confección de estos es con fines educativos, ya que van a formar parte de manera complementaria en una de las asignaturas que conforman el programa de la carrera de Ingeniería Biomédica. Debido a esto, en la elaboración de cada actividad se tiene en cuenta cómo enfocar los distintos ejercicios estableciendo diferentes niveles de complejidad, de manera que todos los estudiantes puedan aprovechar al máximo la asignatura. De manera general, las actividades prácticas contarán con una estructura formada por una introducción, los objetivos que se pretenden cumplir con la realización de la actividad, la presentación de los instrumentos y componentes que se emplean, y la técnica operatoria a desarrollar por el estudiante, así como la orientación de un informe para entregar al profesor cuando sea necesario [36], [37].

El anexo #1 muestra la importancia de las prácticas de laboratorios para la asignatura Sensores Avanzados, esta tiene un total de 64 h clases, de las cuales 24 h son de laboratorios lo que equivale un total de 12 prácticas de laboratorios cuyos títulos se muestran a continuación:

Laboratorios reales:

Laboratorio real # 1: Sensores resistivos: caracterización y trabajo con circuitos sencillos de acondicionamiento.

Laboratorio real # 2: Sensores resistivos y acondicionamiento con puente de Wheatstone.

Laboratorio real # 3: Circuitos de acondicionamiento para Sensores inductivos.

Laboratorio real # 4: Circuitos de acondicionamiento para Sensores capacitivos.

Laboratorio real # 5: Sensores generadores y su acondicionamiento 1.

Laboratorio real # 6: Sensores generadores y su acondicionamiento 2.

Laboratorio real # 7: Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 1.

Laboratorios simulados:

Laboratorio simulado # 1: Sensores resistivos. Circuitos de acondicionamiento.

Laboratorio simulado # 2: Sensores reactivos. Circuitos de acondicionamiento.

Laboratorio simulado # 3: Sensores generadores y su acondicionamiento.

Laboratorio simulado # 4: Otros sensores, aplicaciones del LM555.

Laboratorio simulado # 5: Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 2.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Análisis de las prácticas de laboratorios.

En la Tabla 3.1 se muestra el empleo de los equipos de medición en los laboratorios reales de la asignatura Sensores Avanzados. Se puede observar que se utilizan los instrumentos básicos que un estudiante debe conocer, por lo que la asignatura logra uno de sus objetivos, recapitular conceptos y habilidades con los instrumentos de medición disponibles en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

Tabla 3. 1 Empleo de los instrumentos en los diferentes laboratorios

Instrumentos	LR1	LR2	LR3	LR4	LR5	LR6	LR7
Osciloscopio			X	X	X	X	X
Multímetro	X	X	X	X	X	X	X
Breadboard	X	X	X		X	X	X
Fuente	X	X			X		X
Generador			X	X	X		X

La Figura 3.1 muestra la cantidad de veces que se utilizan cada uno de los equipos en los laboratorios reales de la asignatura, donde se puede apreciar que todos se emplean en más de 3 laboratorios.

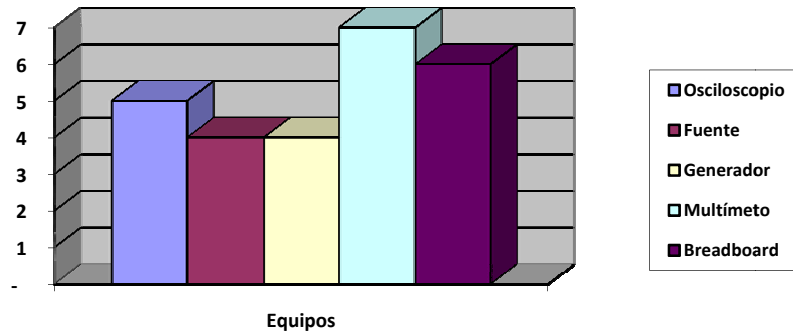


Figura 3. 1: Gráfica del empleo de los equipos en los laboratorios

La Tabla 3.2 indica las componentes fundamentales que se utilizan en cada laboratorio, para el acondicionamiento de los sensores, donde se destacan los resistores y amplificadores operacionales.

Tabla 3. 2 Algunas componentes que se utilizan en los laboratorios

Componentes	LR1	LR2	LR3	LR4	LR5	LR6	LR7
Resistores	X	X		X	X	X	X
Transistores	X	X					
Circuitos Integrados	X	X		X	X	X	X
Reóstatos	X	X					
Cajas decádicas resistivas	X	X	X	X			
Cajas decádicas capacitivas				X			
Cajas decádicas inductivas			X				

La Figura 3.2 muestra la cantidad de veces que se utilizan cada uno de los componentes en los laboratorios reales de la asignatura.

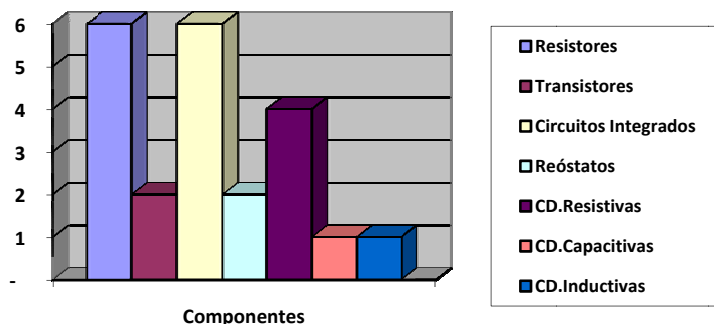


Figura 3. 2: Gráfica del empleo de los componentes en los laboratorios

Para los 4 laboratorios simulados se emplea el programa Multisim 10.1 y de manera complementaria se utiliza Matlab. Con estos laboratorios se completan los conocimientos de los estudiantes en la asignatura, así como sus habilidades en los programas de simulación y con los instrumentos de los laboratorios reales.

3.2 Comentarios y recomendaciones de las prácticas de laboratorios.

Algunas recomendaciones que se pueden dar con el objetivo de perfeccionar la impartición de los laboratorios reales son:

Revisar previamente que todos los instrumentos y componentes con que se van a realizar las prácticas estén funcionando correctamente, por ejemplo:

- Revisar las cajas decádicas para eliminar falsos contactos al girar sus botones.
- Revisar los reóstatos para eliminar el herrumbre por el que muchas veces su medición es errónea o muy difícil de ajustar.
- Estar preparados con instrumentos y componentes de repuesto por posibles roturas.
- Revisar que existan tomacorrientes suficientes para realizar las prácticas con el mayor número de instrumentos posibles.
- Comprobar que existan los cables de conexión finos y de tamaño apropiado (30 cm) para realizar las prácticas donde se emplean los reóstatos, cajas decádicas, inductores y capacitores variables, debido a sus tamaños.

- Crear puestos de trabajo donde exista espacio suficiente para colocar instrumentos y componentes de este tamaño, así como espacio para que los estudiantes estén desahogados.

Lograr que los estudiantes tengan una preparación previa de los contenidos que se impartirán en el laboratorio, usando herramientas como Matlab.

- Establecer tareas previas al laboratorio para estimular el estudio y la preparación del estudiante utilizando los programas de simulación.
- Establecer un tiempo de laboratorio en los laboratorios reales para que los estudiantes practiquen y aprendan a usar los instrumentos de medición.

Evaluar estas actividades prácticas de forma priorizada en la asignatura.

- Lograr que la evaluación de los laboratorios se tengan cuenta con peso para la nota final de la asignatura.

En cuanto a los laboratorios simulados, algunas de las recomendaciones son:

Establecer un tiempo de máquina requerido para la asignatura y mejorar las computadoras ya existentes en los laboratorios.

- Utilizar un tiempo de máquina para la asignatura, donde los estudiantes mejoren sus habilidades en el Multisim y puedan realizar las tareas previas.
- Mejorar el funcionamiento de las computadoras, incrementando las memorias RAM, para evitar la demora al utilizar los programas de simulación.
- Preparar el Multisim 10.1 para los laboratorios simulados de la asignatura incluyendo entre sus componentes modelos de sensores como: LVDT, RTD, termistores, termopares entre otras.
- Emplear, cuando sea factible, versiones de *software* para estudiantes, más ligeros y con menos exigencias computacionales.

3.3 Resultados de las prácticas de laboratorios.

Las prácticas de laboratorios que se realizaron fueron impartidas al actual grupo de cuarto año de Ingeniería Biomédica, que tiene una matrícula de 21 estudiantes. Se pudo

comprobar el grado de utilidad de las prácticas, y se analizó el grado de complejidad de estas entre los estudiantes, así como el tiempo de demora promedio al realizar la práctica.

La mayoría de estas prácticas no son la primera propuesta, sino que fueron modificados y mejorados a medida que se fueron impartiendo a los estudiantes. Por ejemplo, el laboratorio número 3 que trata sobre los sensores inductivos y su acondicionamiento, fue con una primera propuesta de 4 ejercicios, pero notando el aumento de las habilidades de los estudiantes, se incrementó la práctica de laboratorio con un nuevo ejercicio donde se calcula el desfase por el método de las figuras de Lissajous. Además, se propuso intercambiar su orden con el de sensores capacitivos, que lo antecedía, porque resultaba de menor complejidad, tratando de aumentar la complejidad de los laboratorios a medida que avance la asignatura.

Las Figuras 3.3 y 3.4, respectivamente muestran el nivel de complejidad para los estudiantes de los distintos laboratorios, donde todos cumplen el primer grado de complejidad, pero solo la mitad, o poco más de la mitad en los laboratorios sencillos, cumplen el segundo nivel de complejidad. Solo los aventajados llegan al tercer nivel.

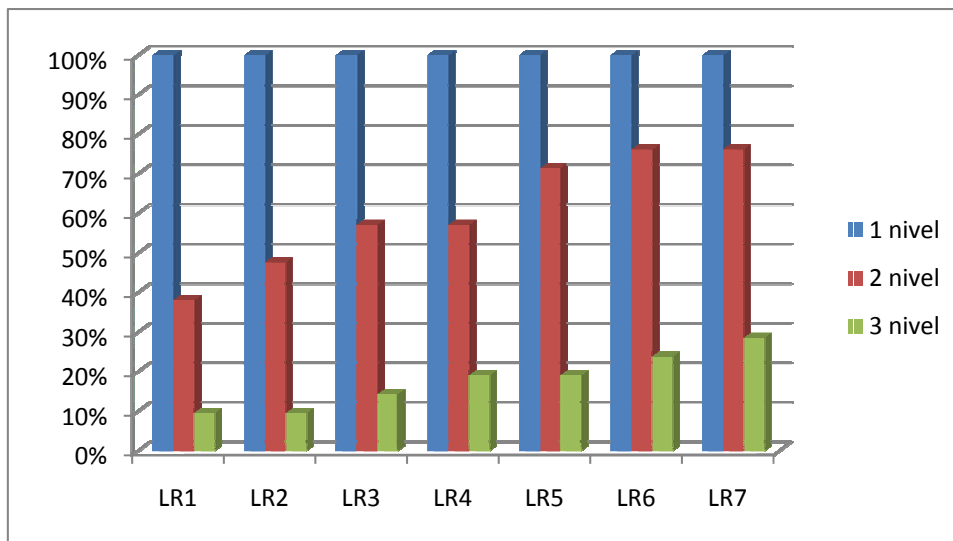


Figura 3. 3: Grado de complejidad de los laboratorios reales entre los estudiantes

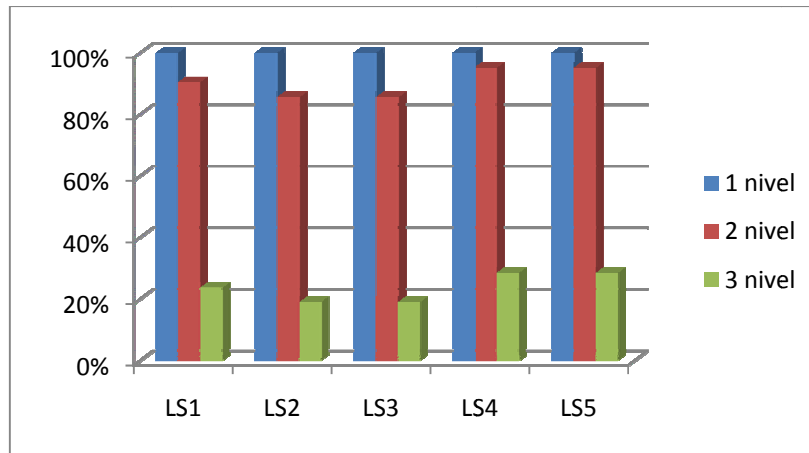


Figura 3. 4: Grado de complejidad de los laboratorios simulados entre los estudiantes

El tiempo de demora de los estudiantes depende del nivel de complejidad que cada práctica tenga. Los laboratorios introductorios son los que tienen un nivel de complejidad más bajo, por lo que los estudiantes casi realizan estas prácticas completas, en los demás solo los alumnos aventajados terminan satisfactoriamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se elaboraron prácticas de laboratorio de Sensores Avanzados con instrumentos y componentes disponibles en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.
2. Se impartieron en el grupo de 4to año de Ingeniería Biomédica, donde se comprobó la utilidad de estas en el aprendizaje de los estudiantes.
3. Se perfeccionaron las prácticas de laboratorio a partir de las experiencias adquiridas a medida que se fueron impartiendo las clases.
4. Se contribuyó a lograr los objetivos de la asignatura y a desarrollar habilidades de los estudiantes con los instrumentos electrónicos y con el Software Multisim 10.1.
5. Quedaron diseñadas 12 prácticas de laboratorio que complementan la asignatura y con una aplicabilidad inmediata en la carrera de Ingeniería Biomédica, al servir de provecho en la docencia de la asignatura.

Recomendaciones

1. Editar un folleto que contenga los laboratorios que fueron confeccionados en la tesis de manera que facilite el trabajo del profesor y el estudio de los estudiantes.
2. Imprimir al menos 10 folletos que posteriormente serían la guía de los estudiantes para realizar las prácticas de laboratorio con mayor facilidad.
3. Colocar la edición digital del folleto en la plataforma Moodle, donde el estudiante pueda acceder a ella con facilidad.
4. Lograr que las actividades prácticas formen parte importante de la evaluación de la asignatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pallás Areny, R., John G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning*. Second edition ed, ed. J.W.a. Sons. 2001.
2. <http://www.sensormag.co>, revisada en mayo de 2011.
3. Webster, J.G., *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, ed. C. Press. 1999.
4. Kent, M., *Instrumentation and sensors for the food industry*. Second edition ed, ed. C.P. LLC. 2001, Brimelow Boca Raton: Ed. Erika, Kress-Rogers and Christopher J. B.
5. Pallás Areny, R., *Sensores y acondicionadores de señal*. 3ªEd ed. 1998, Barcelona: Editorial Marcombo.
6. Malvino, A., *Principio de Electrónica*. 1991, Naucalpan de Juarez, México: Editorial Prentice Hall.
7. Martín Fernández, A., *Instrumentación Electrónica. Transductores, Acondicionadores de Señal y Sistemas de Adquisición de Datos*. 1990, Madrid: E. U. I. T. T.
8. Rosa, J.J.G.d.l., *Instrumentación Electrónica*. Vol. Tema 16. Transductores de Temperatura, año 2001.
9. Velasco, I.M., *Apuntes de Instrumentación Electrónica*. 6 ed. Vol. Tema 7: Sensores Generadores. 2008, Universidad de Burgos.
10. Morris, A.S., *Measurement and Instrumentation Principles*. Third Edition ed. 2001: Butterworth-Heinemann.
11. Boyes, W., *Instrumentation Reference Book*. Third Edition ed. 2003: Elsevier.
12. Sánchez, J.E.G. 2007, Universidad de Castilla – La Mancha.
13. Elbestawi, M.A., *Force Measurement*. 2000: CRC Press LLC.
14. John Park, S.M., *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*. 2003: Elsevier.
15. Garrett, P.H., *High performance instrumentation and automation*. 2005, Boca Raton: CRC Press LLC: Taylor & Francis Group.
16. Sandberg., R.J., *Temperature*. 2000: CRC Press LLC.
17. Sinclair, I., *Sensors and Transducers*. Third Edition ed. 2001: Newnes.
18. Neuman, M.R., *Physical Measurements, The Biomedical Engineering Handbook*. Second Edition ed. 2000, Boca Raton: CRC Press LLC: Joseph D. Bronzino.
19. Eren, H., *Capacitance and Capacitance Measurements*. 2000: CRC Press LLC.
20. Wilson, J.S., *Sensor Technology Handbook*. 2005: Elsevier.
21. Antonelli, K., *Displacement Measurement, Linear and Angular*. 2000: CRC Press LLC.

22. Szyper, M., *Inductance Measurement*. 2000: CRC Press LLC.
23. Pallas-Areny, R., *Amplifiers and Signal Conditioners*. 2000 CRC Press LLC.
24. <http://www.termocuple.co.uk>, consultada en mayo de 2011.
25. V. Govindar, N.K.R., *Advances in Biometrics: Sensors, Algorithms and Systems*. 2008: Springer.
26. S.C. Mukhopadhyay, G.S.G., *Smart Sensors and Sensing Technology*. 2008: Springer-Verlag.
27. S.C. Mukhopadhyay, R.Y.M.H., *Sensors: Advancements in Modeling, Design Issues, Fabrication and Practical Applications*. 2008: Springer.
28. Dunn, W.C., *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. 2005: McGraw-Hill.
29. Sun Equipment(Shanghai) Corporation, (2007). Instruction Manual DAC-457000 Digital and Analog Circuit Lab
30. Uni-Trend Technology, (2006).Operating Manual Digital MultimeterUT-804.
Available at <http://www.uni-trend.com>.
31. Atten Instruments Corporation, (2006).Operating Manual Oscilloscope AT-7328S.
32. Instruction Manual Laboratory DC Power Supply XJ17432L, (2004).
33. Operating Manual Function Generator XJ1633, (2004).
34. <http://www.ni.com>, consultado en mayo de 2011.
35. *Multisim 10.1*, año 2000.
36. F, L.A.M.P.J.R.R.S., *Problemas resueltos de Instrumentación y medidas electrónicas*. 1994, Madrid: Paraninfo.
37. Wolf, S., *Guía para Mediciones Eléctricas y Prácticas de laboratorio*. 1992 Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall.

ANEXOS

Anexo I: Cantidad de actividades prácticas por temas

temas	Conferencias	ClasesPrácticas	Lab reales	Lab simulados
Sensoresresistivos	2	2	2	1
Sensoresreactivos	1	2	2	1
Sensores generadores	1	2	2	1
Otros sensores	1	2	1	2
Total	5	8	7	5

Anexo II: Distribución de Contenidos por semanas

Semana	Contenido	Actividades
1.	C1. Introducción a la asignatura. Sensores y su clasificación. C2. Sensores resistivos.	C1 C2
2.	CP1. Sensores resistivos. Principios de funcionamiento. LR1. Sensores resistivos: caracterización y trabajo con circuitos sencillos de acondicionamiento.	CP1 LR1
3.	CP2. Sensores resistivos. Circuitos de acondicionamiento. LS1. Sensores resistivos. Circuitos de acondicionamiento.	CP2 LS1
4.	LR2. Sensores resistivos y acondicionamiento con puente de Wheatstone.	LR2 S1
5.	C3. Sensores reactivos y magnéticos. Ev1. Sensores resistivos.	C3 Ev1
6.	CP3. Sensores reactivos. LR3. Circuitos de acondicionamiento para Sensores inductivos.	CP3 LR3
7.	CP4. Sensores magnéticos. LS2. Sensores reactivos. Circuitos de acondicionamiento.	CP4 LS2
8.	LR4. Circuitos de acondicionamiento para Sensores capacitivos. S2. Sensores reactivos y magnéticos.	LR4 S2
9.	C4. Sensores generadores. CP5. Termopares.	C4 CP5
10.	LR5. Sensores generadores y su acondicionamiento 1. Ev2. Sensores reactivos y magnéticos.	LR5 Ev2
11.	CP6. Otros sensores generadores. LS3. Sensores generadores y su acondicionamiento. LR6. Sensores generadores y su acondicionamiento 2.	CP6 LS3 LR6
12.	S3. Sensores generadores. C5. Otros sensores.	S3 C5
13.	LR7. Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 1. CP8. Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento. LS4. Otros sensores, aplicaciones del LM555	LR7 CP8 LS4
14.	LS5. Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 2. S4. Otros sensores.	LS5 S4
15.	Ev3. Otros sensores.	Ev3

Anexo III: Laboratorios reales.

Laboratorio real # 1: Sensores resistivos: caracterización y trabajo con circuitos sencillos de acondicionamiento.

Introducción: Estudiar capítulos 2 y 3 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los diferentes sensores resistivos y sus circuitos de acondicionamientos.

Objetivo: Familiarización con los principios de funcionamiento y los circuitos de acondicionamiento de los sensores resistivos.

Componentes e instrumentos (por puesto):

- 1 reóstato de 50Ω
- potenciómetros de $1k\Omega$ y $100k\Omega$
- Multímetro analógico 4317 ($20k\Omega/V$) y digital (UT804)
- Fuente de alimentación (XJ17432L)
- 2 cajas decádicas de $10k\Omega$
- 1 circuito integrado TL082
- 1 transistor BC558
- Tablero de pruebas (breadboard) con 9 conectores
- 3 cables de (30 cm)

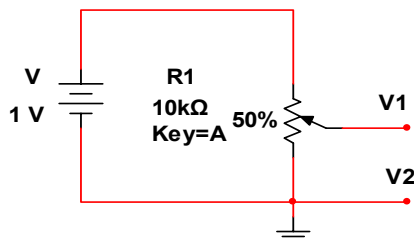
Técnica operatoria:

1. Complete la tabla calculando los distintos valores de resistencia al variar el desplazamiento en un reóstato de 50Ω y los potenciómetros de $1k\Omega$ y $100k\Omega$ del tablero de pruebas. Trace gráfica de resistencia contra desplazamiento.

Desplazamiento	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Resistencia											

2. Acondicionando el potenciómetro compuesto por dos cajas decádicas, R1 y R2, con un voltaje de 1V, calcule y coloque en la tabla los valores:

a) V1 y V2 medidos con un voltímetro analógico de $20k\Omega/V$; en la escala de 2,5V.

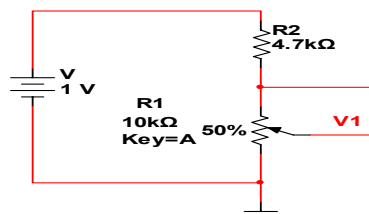


R1 ($k\Omega$)	2	3	5	8
R2 ($k\Omega$)	8	7	5	2
V1				
V2				

b) Repita inciso a), midiendo V1 y V2 con un voltímetro digital (UT804).

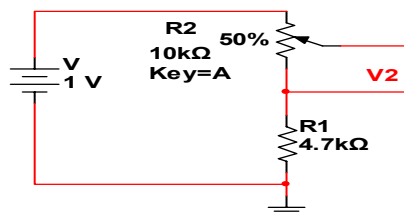
3. En los siguientes circuitos acondicionadores, con voltaje 1V, mida el voltaje en el sensor resistivo (R variable) en ambas posiciones (R1 y R2) y complete las tablas. Trace las gráficas de V vs. R.

a)



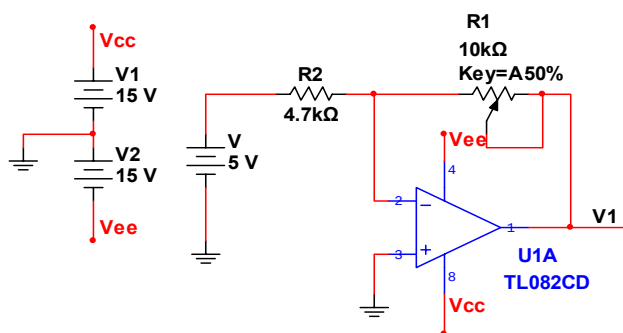
R1(kΩ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V1 (V)											

b)



R2 (kΩ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2 (V)											

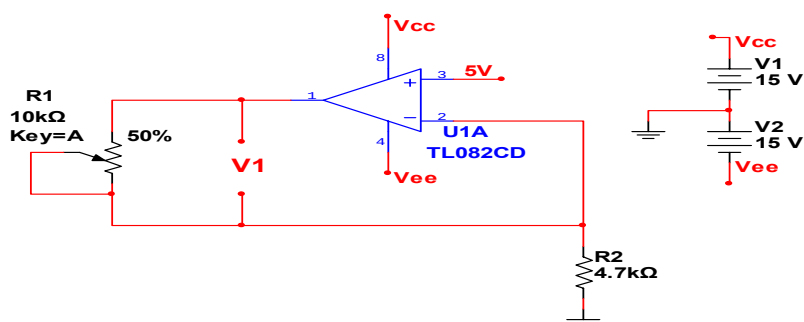
4. En el siguiente circuito acondicionado con un circuito integrado TL082, encuentre los valores del voltaje de salida V1 al hacer variar el 'sensor resistivo'. Trace la gráfica de V vs. R.



R1 (k Ω)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V1 (V)											

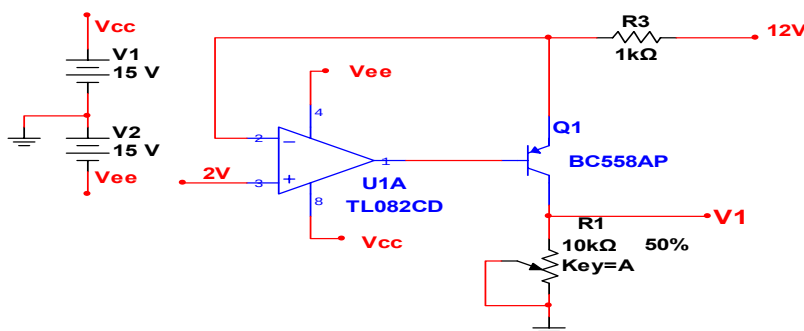
5. En los siguientes circuitos acondicionados con un circuito integrado TL082, encuentre los valores del voltaje V1 al hacer variar el 'sensor resistivo'. Trace la gráfica de V vs. R.

a)



R1 (k Ω)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V1 (V)											

b)



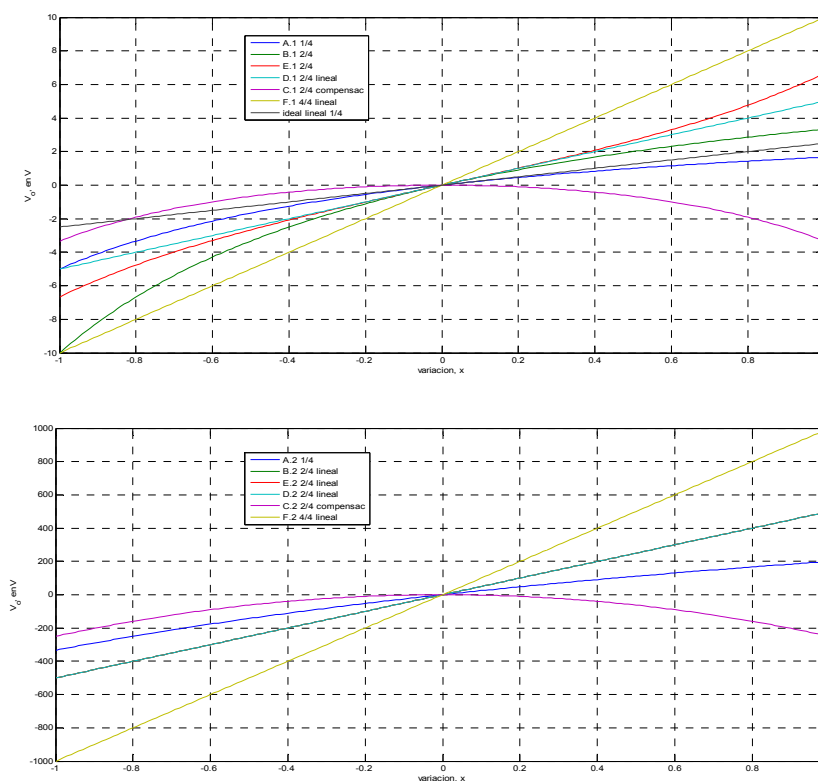
R1 (k Ω)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V1 (V)											

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria completando las tablas y las gráficas. Además, debe tener conclusiones parciales y generales, así como las gráficas de los comportamientos de la linealidad y otros aspectos utilizando Multisim 10.1.

Laboratorio real # 2: Sensores resistivos y acondicionamiento con puente de Wheatstone.

Introducción: Estudiar capítulo 3 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice tabla 3.2, con ayuda de Matlab para observar el comportamiento del voltaje de salida, dadas las diferentes ecuaciones de la tabla, en diferentes situaciones de un puente de Wheatstone.



Objetivo: Montar y medir en circuitos de acondicionamiento con puente de Wheatstone.

Componentes e instrumentos (por puesto):

- 2 reóstatos de $200\ \Omega$
- 2 cajas decádicas de $10\ k\Omega$, paso $1\ \Omega$
- 1 circuito integrado TL082
- 1 transistor BC558
- 1 resistor de $1\ k\Omega$
- Multímetro digital (UT804) con puntas
- Fuente de alimentación (XJ17432L)
- Tablero de pruebas (*breadboard*) con 7 cables de 30 cm

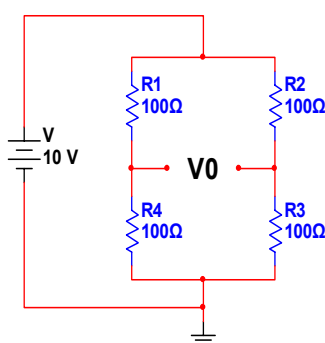
Técnica operatoria:

1. El siguiente circuito representa un puente de Wheatstone alimentado con voltaje de 10 V.

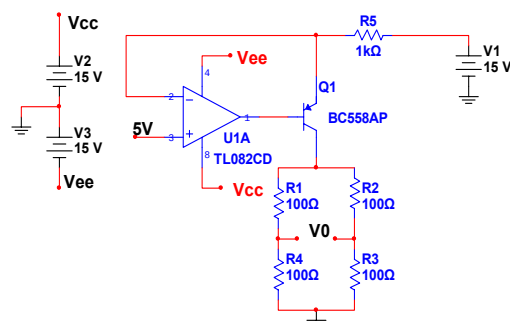
a) Monte el circuito (1), empleando 2 cajas decádicas y 2 reóstatos, con valores en equilibrio de $R_0 = 100 \Omega$.

b) Obtenga los valores de V_0 para la columna 6 de la tabla 1, conociendo que x varía desde -1 ($R = 0 \Omega$ o 200Ω) hasta 1 ($R = 200 \Omega$ o 0Ω), con incremento de 0,2 ($|\Delta R| = 20 \Omega$).

c) Trace la gráfica de V_0 vs. x y comente sus resultados. Verifique que en la zona de $x < 0,2$, V_0 es lineal.



Circuito (1), $V_r = 10 \text{ V}$



Circuito (2), $I_r = 10 \text{ mA}$

Tabla 1. $R_0 = 100 \Omega$

R_1	R_2	R_3	R_4	1. V_0 para el circuito (1)	2. V_0 para el circuito (2)	caso
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{2(x+2)}$	$I_r R_0 \frac{x}{4+x}$	A
$R_0(1+x)$	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{(2+x)}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	B
$R_0(1-x)$	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{-x^2}{(4-x^2)}$	$I_r R_0 \frac{-x^2}{4}$	C
R_0	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{2}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	D
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$V_r \frac{2x}{(4-x^2)}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	E
$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$V_r x$	$I_r R_0 x$	F

c) Trace la gráfica de V_0 vs. x y comente sus resultados. Verifique que en la zona de $x < 0,2$, V_0 es lineal.

[illegible]

caso D,	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$R_2 (\Omega)$	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
$R_3 (\Omega)$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$V_0 (V)$											
$V_0 (V)$											

caso E,	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$R_4 (\Omega)$	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
$R_3 (\Omega)$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$V_0 (V)$											
$V_0 (V)$											

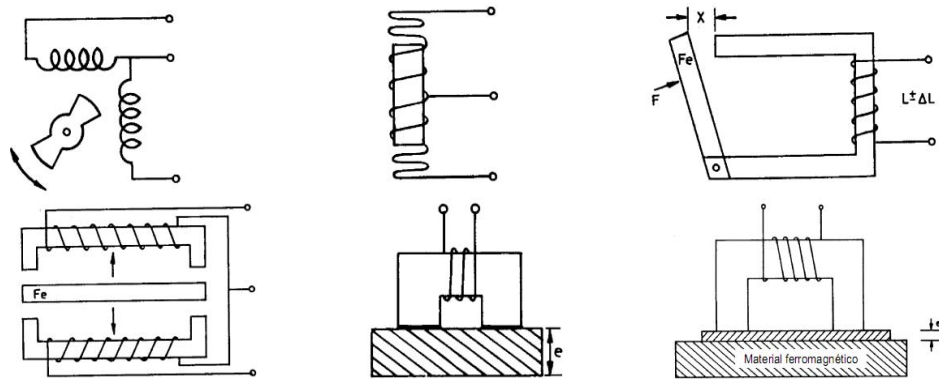
caso F,	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$R_1 (\Omega)$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$R_2 (\Omega)$	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
$R_3 (\Omega)$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$R_4 (\Omega)$	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
$V_0 (V)$											
$V_0 (V)$											

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria completando las tablas. Además, debe tener conclusiones parciales y generales, así como las gráficas de los comportamientos de la linealidad y otros aspectos utilizando Matlab o Multisim 10.1.

Laboratorio real # 3: Circuitos de acondicionamiento para Sensores inductivos.

Introducción: Estudiar capítulos 4 y 5 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores inductivos y sus circuitos de acondicionamiento. Observe en la figura los distintos tipos de sensores inductivos simples y diferenciales que pueden variar en cuanto al desplazamiento lineal del núcleo, desplazamiento angular del núcleo o la variación del entrehierro.



Objetivo: Montar y medir en circuitos de acondicionamiento para sensores inductivos.

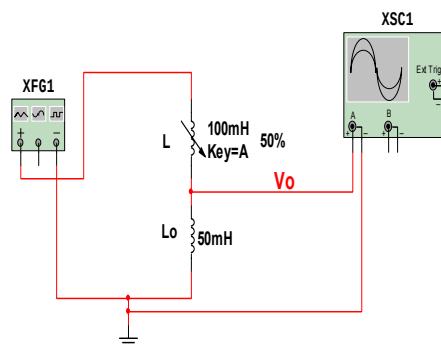
Componentes e instrumentos (por puesto):

- 2 cajas decádicas inductivas (cDI)
- 2 cajas decádicas resistivas (cDR)
- Generador de señales (XJ1633) con punta
- Osciloscopio (AT7328S) con 2 puntas
- Tablero de pruebas (breadboard) con 7 conectores de 30 cm

Nota: En general en este laboratorio $L_0 = 50 \text{ mH}$, $L = L_0(1 + x)$ y $L_1 + L_2 = 2 L_0$

Técnica operatoria:

- 1) Los circuitos muestran un divisor de voltaje alimentado con 10 Vpp, 1 kHz
 - a) Monte el circuito empleando 2 cDI. Utilice el generador de señales para suministrar una onda sinusoidal 10 Vpp con frecuencia de 1 kHz.
 - b) Mida el voltaje de salida V_o con el osciloscopio para cuando L varía desde 10 mH hasta 100 mH.
 - c) Trace la gráfica de V_o vs. x para cada uno de los circuitos.

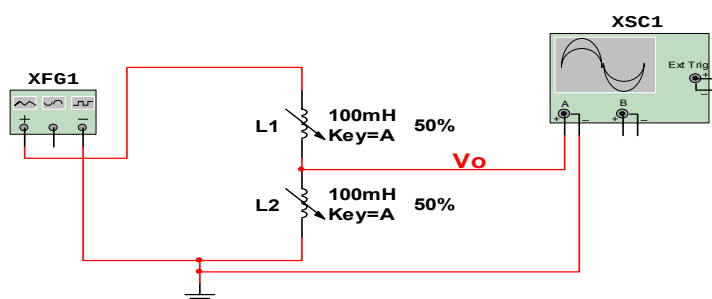


Circuito (2)

Nota: $V = 10 \text{ V}_{pp}$, $L_o = 50 \text{ mH}$ y $L = L_o(1 + x)$

[illegible]

2) Repita el ejercicio anterior, conociendo que L_1 varía desde 100 mH hasta 0 mH y L_2 varía desde 0 mH hasta 100 mH, simultáneamente, con pasos de 10 mH.

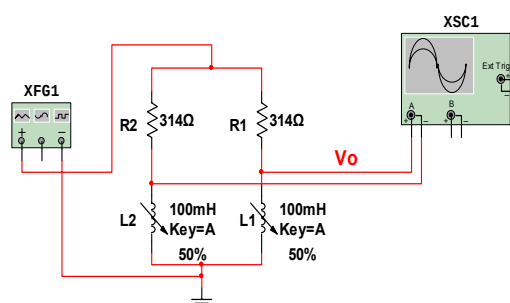


Circuito (3), $V=10\text{ V}_{pp}$, $L_1+L_2=2\text{ L}_0$

[illegible]

b) Para el circuito (5) repita el inciso anterior, pero multiplicando R_1 y R_2 por el factor $K = 3$ que se muestra en la tabla.

K	1	2	3	4	5	6	7	8
R1 y R2 = K·314 (Ω)	314	628	942	1256	1570	1884	2198	2512

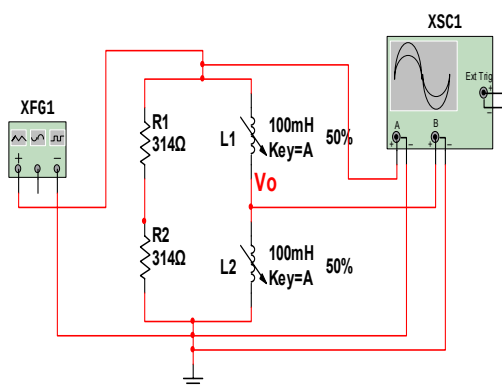


Circuito (5), $V = 10 \text{ Vpp}$, $L_1 + L_2 = 2 L_0$

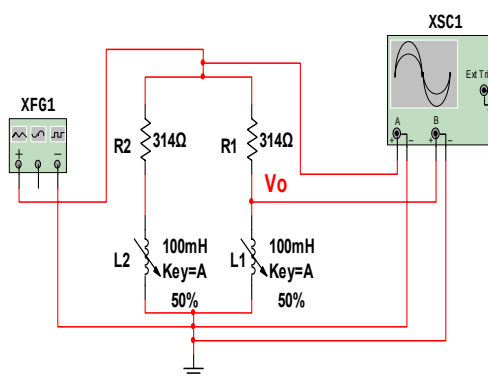
[illegible][illegible]

4) Los siguientes circuitos representan 2 puentes, donde sus brazos están compuestos por 2 cDR a $314\ \Omega$ y 2 cDI, alimentados con un voltaje sinusoidal de 10 Vpp y 10 kHz de frecuencia entregado por el generador de señales.

a) Mida el desfase con el osciloscopio, utilizando las figuras de Lissajous.



Circuito (6), $V = 10\text{ Vpp}$, $L_1 + L_2 = 2\ L_0$



Circuito (7), $V = 10\text{ Vpp}$, $L_1 + L_2 = 2\ L_0$

x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
L1(mH) en (6)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
L2(mH) en (6)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Desfasaje (θ)											

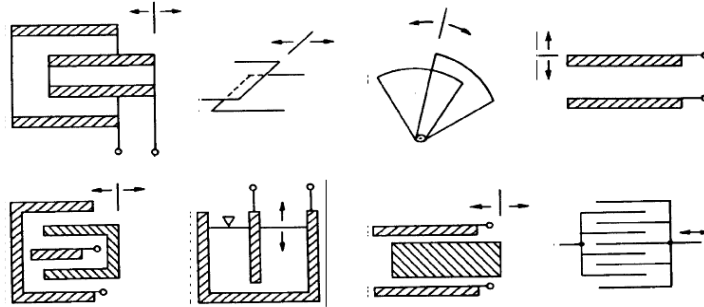
x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
L1(mH) en (7)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
L2(mH) en (7)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Desfasaje (θ)											

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria, completando las tablas. Además, debe contener conclusiones parciales y generales, así como las gráficas de los comportamientos de la linealidad y otros aspectos utilizando Multisim 10.1.

Laboratorio real # 4: Circuitos de acondicionamiento para Sensores capacitivos.

Introducción: Estudiar capítulos 4 y 5 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores capacitivos y sus circuitos de acondicionamiento. Observe en la figura los distintos tipos de sensores capacitivos simples y diferenciales que pueden variar en cuanto al área, el dieléctrico y la distancia entre placas.



Objetivo: Montar y medir en circuitos de acondicionamiento para sensores capacitivos.

Componentes e instrumentos (por puesto):

- 2 cajas decádicas capacitivas (cDC)
- 2 cajas decádicas resistivas (cDR)
- 1 circuito integrado TL082
- 1 resistor de 3,3 M Ω
- Generador de señales (XJ1633) con punta
- Osciloscopio (AT7328S) con 2 puntas
- Tablero de pruebas (*breadboard*) con 5 cables de 30 cm

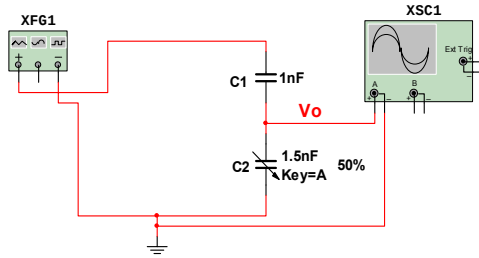
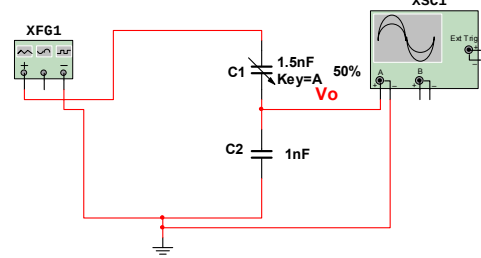
Técnica operatoria:

1) Los circuitos muestran un divisor de voltaje alimentado con 10 Vpp.

a) Monte el circuito empleando 2 cDC. Utilice el generador de señales para suministrar una onda sinusoidal con 10 Vpp y frecuencia de 1 kHz.

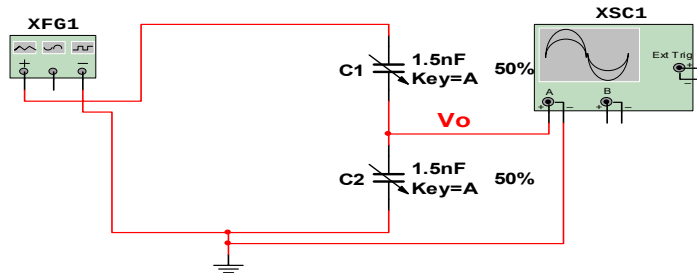
b) Mida el voltaje de salida V_0 con el osciloscopio, para cuando C2(circuito 1) y C1 (circuito 2) varían desde 0,5 nF hasta 1,5 nF, con paso de 0,1 nF.

c) Trace la gráfica de V_0 vs. x para cada uno de los circuitos.

Circuito (1), $V = 10$ Vpp, varía C2Circuito (2), $V = 10$ Vpp, varía C1

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C2 (nF) en (1)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
V_0 (Vpp)											
C1 (nF) en (2)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
V_0 (Vpp)											

2) Para el siguiente circuito repita el ejercicio anterior, conociendo que C1 varía desde 1,5 nF hasta 0,5 nF y C2 varía desde 0,5 nF hasta 1,5 nF, simultáneamente, con pasos de 0,1 nF.

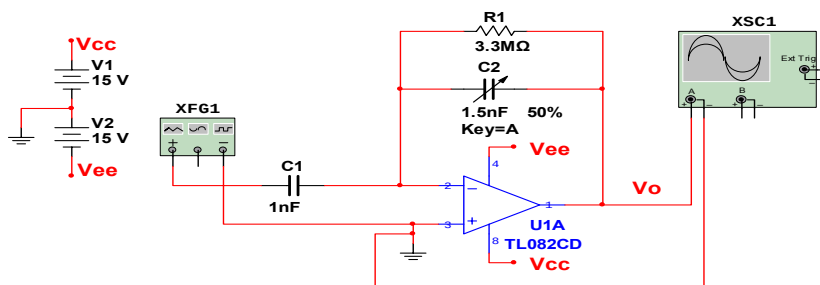
Circuito (3), $V = 10$ Vpp, varían C1 y C2

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C1 (nF) en (3)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
C2 (nF) en (3)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
V_0 (Vpp)											

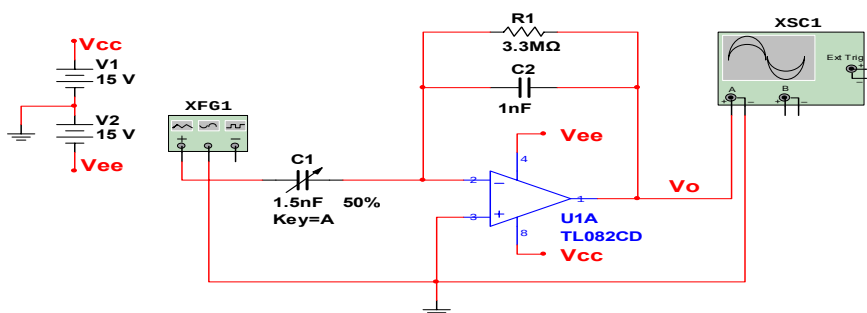
3) Utilice el generador de señales para suministrar una onda sinusoidal a 10 kHz con 10 Vpp.

a) Monte los circuitos empleando un amplificador operacional (TL084), 2 cDC y un resistor de 1 MΩ.

c) Trace las gráficas de V_θ vs. x para cada uno de los circuitos.



Circuito (4), $V = 10 \text{ Vpp}$, varía C2.

[illegible]

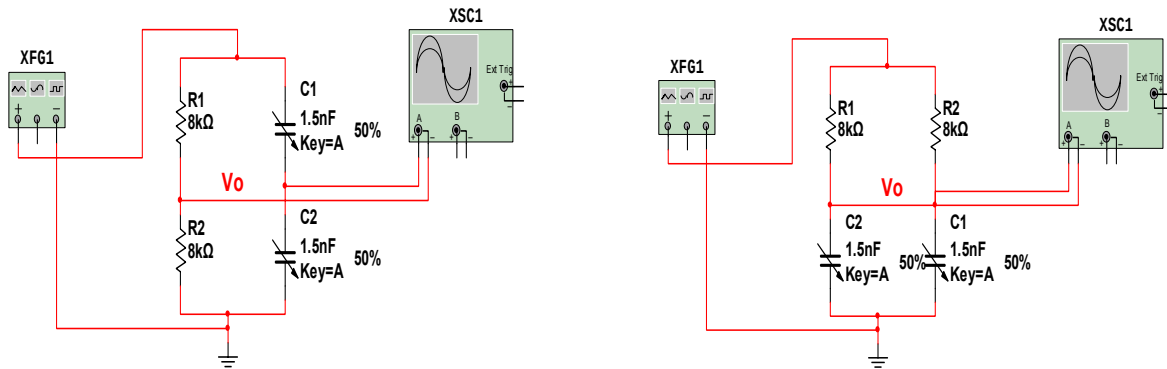
Circuito (5), $V=10\text{ Vpp}$, varía C1.

[illegible]

4) Los siguientes circuitos representan 2 puentes, donde sus brazos están compuestos por 2 cDR a $8\text{ k}\Omega$ y 2 cDC, alimentados con un voltaje sinusoidal de 10 Vpp y 10 kHz de frecuencia entregado por el generador de señales.

a) Obtenga V_0 para los circuitos (6) y (7), si $C1$ y $C2$ varían simultáneamente uno disminuyendo y otro aumentando.

b) Trace la gráfica V_0 vs x .



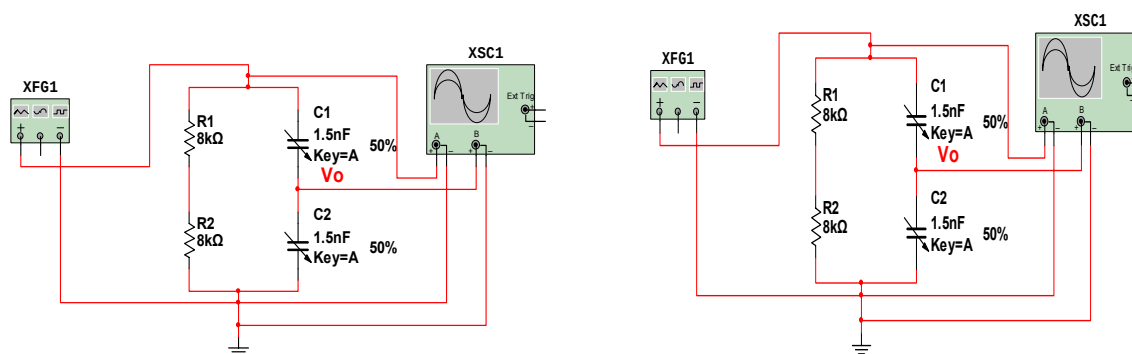
Circuito (6), $V = 10\text{ Vpp}$, varían $C1$ y $C2$ Circuito (7), $V = 10\text{ Vpp}$, varían $C1$ y $C2$

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C1(nF) en (6)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
C2(nF) en (6)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
V0 (Vpp)											

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C1 (nF) en (7)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
C2 (nF) en (7)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
V0 (Vpp)											

5) Los siguientes circuitos representan 2 puentes, donde sus brazos están compuestos por 2 cDR a $8\text{ k}\Omega$ y 2 cDC, alimentados con un voltaje sinusoidal de 10 Vpp y 10 kHz de frecuencia entregado por el generador de señales.

a) Mida el desfase con el osciloscopio, utilizando las figuras de Lissajous.

Circuito (8), $V = 10 \text{ Vpp}$, varían $C1$ y $C2$ Circuito (9), $V = 10 \text{ Vpp}$, varían $C1$ y $C2$

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$C1(\text{nF})$ en (8)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$C2(\text{nF})$ en (8)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Desfasaje (θ) en (8)											

x	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$C1 (\text{nF})$ en (9)	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$C2 (\text{nF})$ en (9)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Desfasaje (θ) en (9)											

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria, completando las tablas. Además, debe contener conclusiones parciales y generales, así como las gráficas de los comportamientos de la linealidad y otros aspectos, utilizando Multisim 10.1.

Laboratorio real # 5: Sensores generadores y su acondicionamiento 1.

Introducción: Estudiar capítulos 6 y 7 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores generadores y sus circuitos de acondicionamiento.

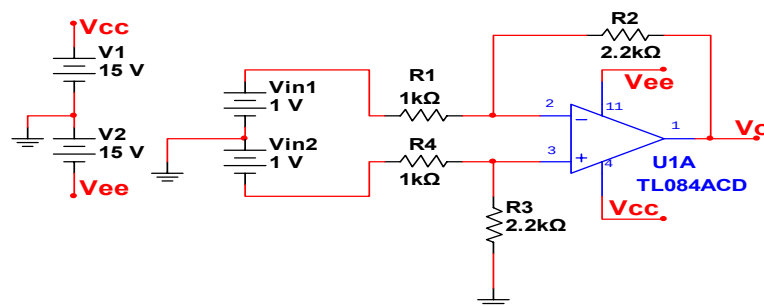
Objetivo: Montar y medir en circuitos de acondicionamiento para sensores generadores, los modos: diferencial y de modo común.

Componentes e instrumentos (por puesto):

- 1 circuito integrado TL084
- 2 resistores de $1\text{k}\Omega$
- 2 resistores de $2,2\text{k}\Omega$
- 1 resistor de 390Ω , 510Ω , 910Ω , $1\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $68\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $250\text{k}\Omega$
- Generador de señales (XJ1633) con puntas
- Osciloscopio (AT7328S) con 2 puntas
- Fuente de alimentación (XJ17432L) con 3 cables y 2 puentes
- Multímetro digital (UT804) con puntas
- Tablero de pruebas (breadboard) con 9 cables

Técnica operatoria:

1. La figura 1 muestra un circuito de acondicionamiento para un termopar utilizando un amplificador operacional de un circuito integrado TL084 en modo diferencial.



Circuito (1)

Nota: Utilice la fuente en modo serie.

a) Monte el circuito y mida el voltaje de salida V_o para los diferentes valores de V_{in} que se muestran en la tabla, suministrados por la fuente en modo serie (de manera que ambas aumenten el voltaje simultáneamente).

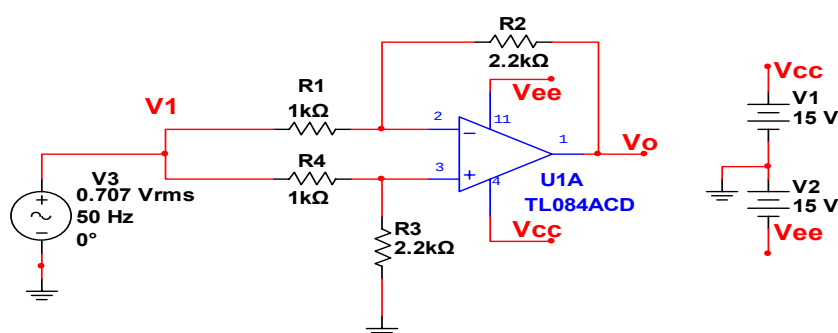
V_{in} (V)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
V_o (V)									

b) Dibuje la gráfica de V_o vs. V_{in} y analice la linealidad.

c) ¿Qué le sucede a la ganancia diferencial si desbalanceamos el circuito, sustituyendo R_1 por los valores que se muestran en las tablas, manteniendo R_4 con valor $1k\Omega$ y el voltaje de entrada de 1V?

R_1	390Ω	510Ω	910Ω	$1k\Omega$	$10k\Omega$	$68k\Omega$	$100k\Omega$
V_d (V)							

d) Sustituya la alimentación de la fuente por una señal sinusoidal de 50 Hz y 1 Vpp, entregado por el generador de señales, simulando la interferencia de la línea. Observe con el osciloscopio a la entrada del amplificador en el punto V1 y en la salida V_o .



Circuito (2)

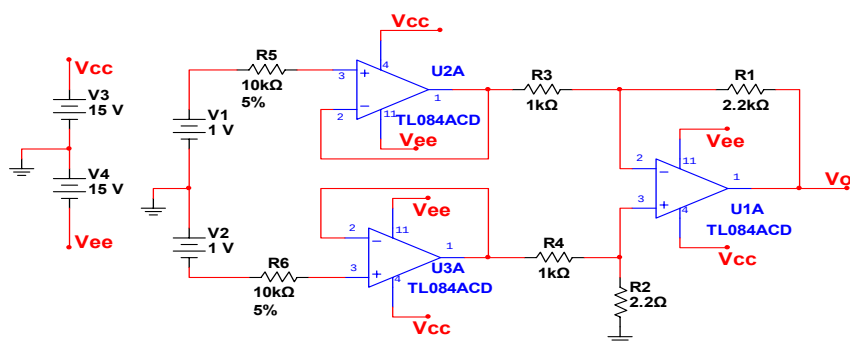
e) ¿Qué le sucede a la ganancia de modo común si la frecuencia aumenta? Complete los valores de la tabla.

Frecuencia (Hz)	50Hz	500Hz	5kHz	50kHz
V_c (V)				

f) ¿Qué le sucede a la ganancia de modo común si desbalanceamos el circuito, sustituyendo R_1 por los valores que se muestran en las tablas y manteniendo R_4 con valor $1k\Omega$?

R_1	390Ω	510Ω	910Ω	$1k\Omega$	$10k\Omega$	$68k\Omega$	$100k\Omega$
V_c (V)							

2. La figura muestra un circuito de acondicionamiento para un termopar utilizando un TL084.



Circuito (3)

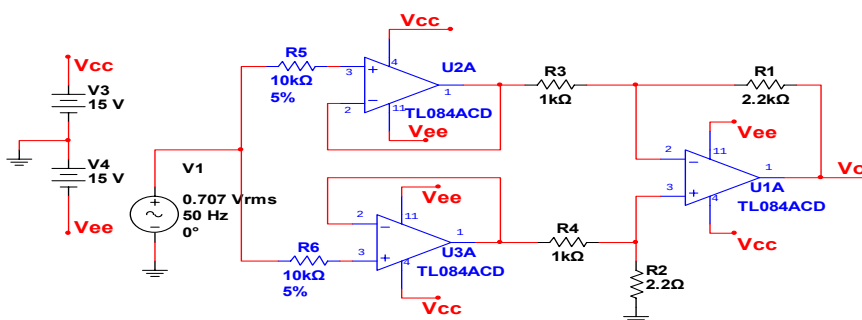
a) Monte el circuito sustituyendo R_5 por los valores que se muestran en las tablas y manteniendo R_6 con valor $10\text{k}\Omega$.

R_5	390Ω	510Ω	910Ω	$10\text{k}\Omega$	$68\text{k}\Omega$	$100\text{k}\Omega$	$250\text{k}\Omega$
$V_0(\text{V})$							

b) Sustituya R_6 por los valores que se muestran en las tablas y mantenga el valor de R_5 en $10\text{k}\Omega$.

R_6	390Ω	510Ω	910Ω	$10\text{k}\Omega$	$68\text{k}\Omega$	$100\text{k}\Omega$	$250\text{k}\Omega$
$V_0(\text{V})$							

c) Sustituya la alimentación de la fuente por una señal sinusoidal de 50Hz y 1Vpp , entregado por el generador de señales ¿Qué le sucede a la ganancia de modo común si la frecuencia aumenta? Complete los valores de la tabla.



Circuito (4)

Frecuencia (Hz)	50Hz	500Hz	5kHz	50kHz
V_c (V)				

d) ¿Qué le sucede a la ganancia de modo común si desbalanceamos el circuito sustituyendo R_5 por los valores que se muestran en las tablas y manteniendo R_6 con valor $10k\Omega$?

R_5	390Ω	510Ω	910Ω	$10k\Omega$	$68k\Omega$	$100k\Omega$	$250k\Omega$
V_0 (V)							

e) ¿Qué le sucede a la ganancia de modo común si desbalanceamos el circuito, sustituyendo R_6 por los valores que se muestran en las tablas y manteniendo R_5 con valor $10k\Omega$?

R_6	390Ω	510Ω	910Ω	$10k\Omega$	$68k\Omega$	$100k\Omega$	$250k\Omega$
V_0 (V)							

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria, completando las tablas. Además, debe tener conclusiones parciales y generales, así como las gráficas de los comportamientos de la linealidad y otros aspectos utilizando Multisim 10.1.

Laboratorio real # 6: Sensores generadores y su acondicionamiento 2.

Introducción: Estudiar capítulo 7 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores generadores y sus circuitos de acondicionamiento.

Objetivo: Medir voltaje *offset* en circuitos de acondicionamiento para sensores generadores.

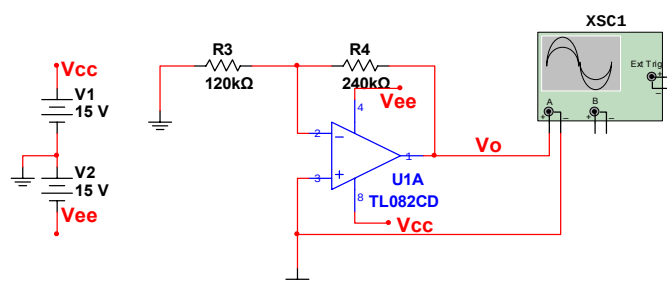
Componentes e instrumentos (por puesto)

- 1 circuito integrado TL082
- 2 resistores de 240 K Ω y 120K Ω
- 1 resistor de 220 Ω y 220 k Ω
- Osciloscopio (AT7328S) con 2 puntas
- Multímetro digital (UT804) con puntas
- Tablero de pruebas (breadboard) con 9 conectores

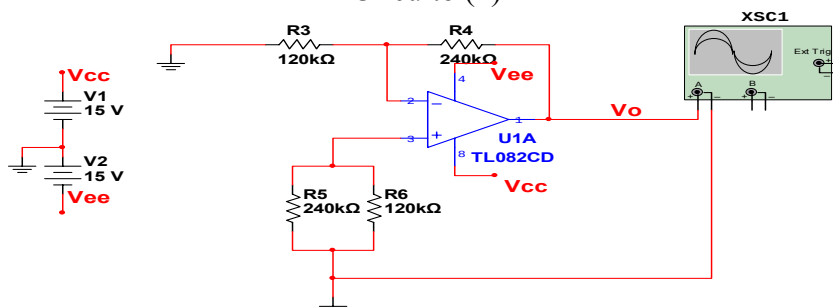
Técnica operatoria:

1. Las figuras 1 y 2 muestran circuitos de acondicionamiento para los sensores generadores utilizando un circuito integrado TL082C.

a) Mida el voltaje *offset* a la salida cuando se cortocircuitan a tierra las dos entradas del amplificador.

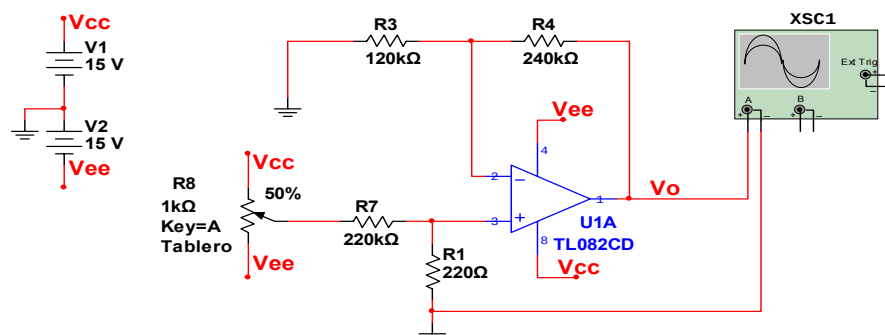


Circuito (1)



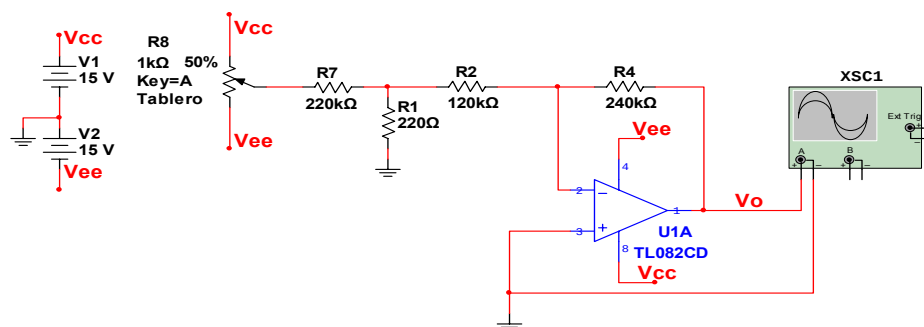
Circuito (2)

2. Repita el ejercicio anterior para los circuitos siguientes con potenciómetro para ajuste del *offset*. Observe qué pasa al mover el cursor hacia ambos lados, hasta las posiciones extremas, verificando que se cumple lo esperado de acuerdo al análisis circuital.



Circuito (3)

R(potenciómetro)	100Ω	200 Ω	300 Ω	400 Ω	500 Ω	600 Ω	700 Ω	800 Ω	900 Ω	1kΩ
V_0										



Circuito (4)

R(potenciómetro)	100Ω	200 Ω	300 Ω	400 Ω	500 Ω	600 Ω	700 Ω	800 Ω	900 Ω	1kΩ
V_0										

Orientación para el informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria, completando las tablas, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

Laboratorio real # 7: Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 1.

Introducción: Estudiar capítulo 8 y 9 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster.

Objetivo: Diseñar y montar circuitos de acondicionamiento de los sensores inteligentes.

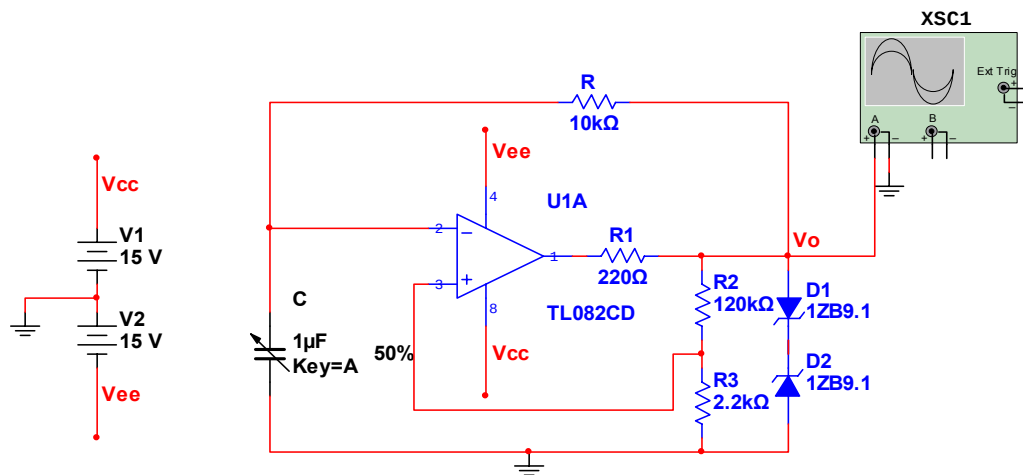
Componentes e instrumentos (por puesto)

- 1 circuito integrado TL082
- diodos zener de 9.1 V
- diodos 4004
- 1 resistor de 10 kΩ, 220 Ω, 120 kΩ, 2,2 kΩ, 68 kΩ
- 2cajas decádicas capacitivas
- Osciloscopio (AT7328S) con 2 puntas
- Generador de señales (XJ1633) con puntas
- Tablero de pruebas (breadboard) con 9 conectores
- Fuente de alimentación (XJ17432L)
- Multímetro digital (UT804) con punta

Técnica operatoria:

1. El siguiente circuito corresponde a un generador de onda cuadrada (multivibrador astable).

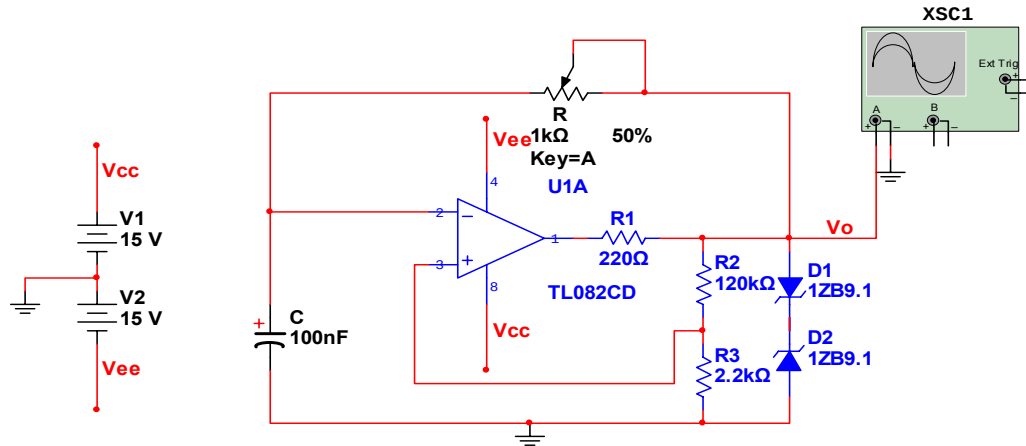
a) Monte el circuito (1) y utilice una caja decádica capacitiva que varíe el valor de C entre 0,5 nF y 1,5 nF para observar con el osciloscopio el cambio de la frecuencia en la salida V_0 .



Circuito (1)

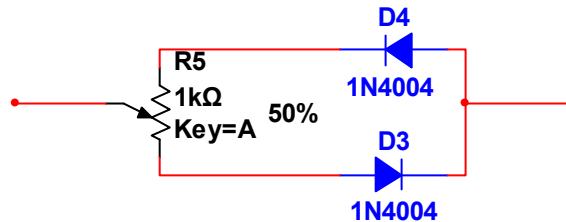
Nota: $T = 2RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}$

b) Utilizando el potenciómetro de la *breadboard* varíe el valor de R entre $100\ \Omega$ y $1\ \text{k}\Omega$ como se muestra en el circuito (2) y observe con el osciloscopio el cambio de la frecuencia en la salida V_0 .



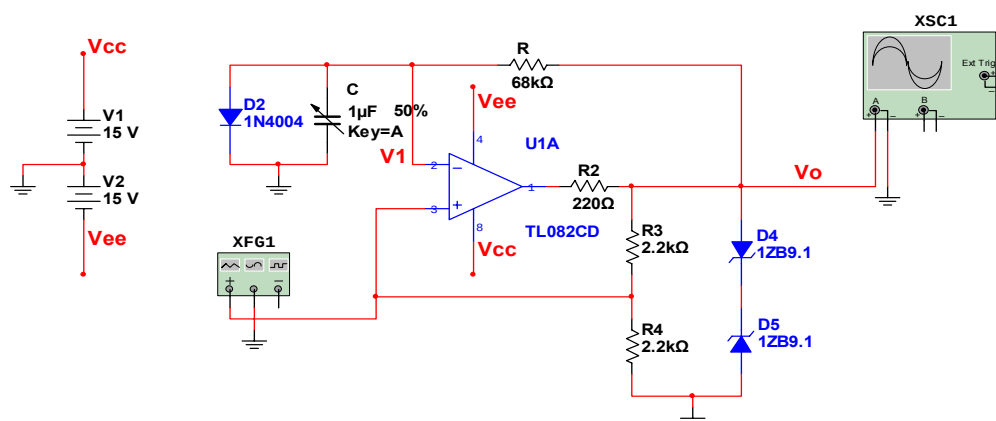
Circuito (2)

c) Sustituya el potenciómetro R en el circuito (2) por la red dada a continuación y varíe el potenciómetro entre los valores de $100\ \Omega$ y $1\ \text{k}\Omega$ para observar con el osciloscopio el cambio del *duty cycle* en la salida.



2. El siguiente circuito corresponde a un generador de impulsos (multivibrador monoestable).

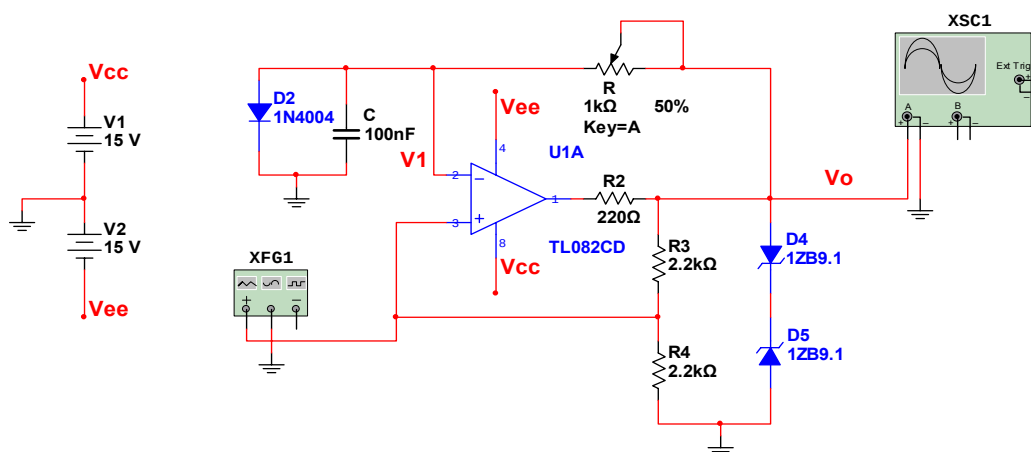
a) Monte el circuito (3) y observe en el osciloscopio el cambio del tiempo en la salida V_0 , cuando se utiliza una caja decádica capacitiva que varíe el valor de C entre $0,5\ \text{nF}$ y $1,5\ \text{nF}$.



Circuito (3)

Nota: $T = RC \ln \frac{1 + \frac{V_1}{V_0}}{1 - \beta}$

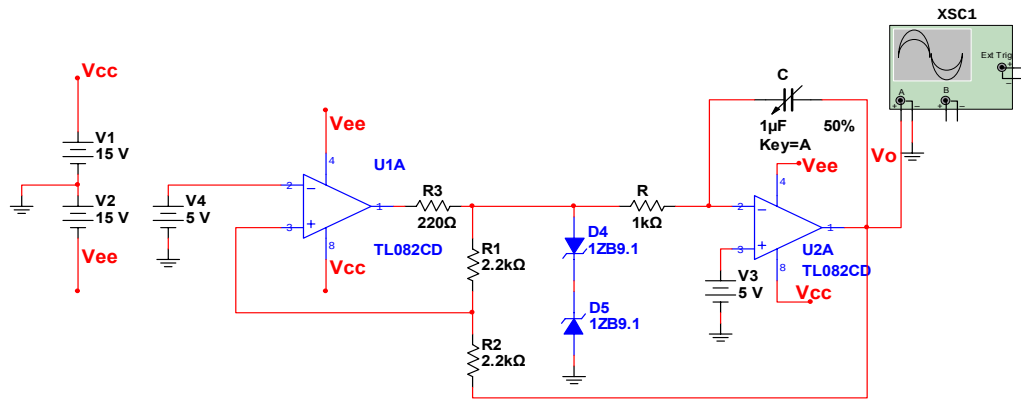
b) Utilizando el potenciómetro de la *breadboard* varíe el valor de R entre 100 Ω y 1 kΩ como se muestra en el circuito (4) y observe en el osciloscopio el cambio del tiempo en la salida V_0



Circuito (4)

3. El siguiente circuito corresponde a un generador de onda triangular.

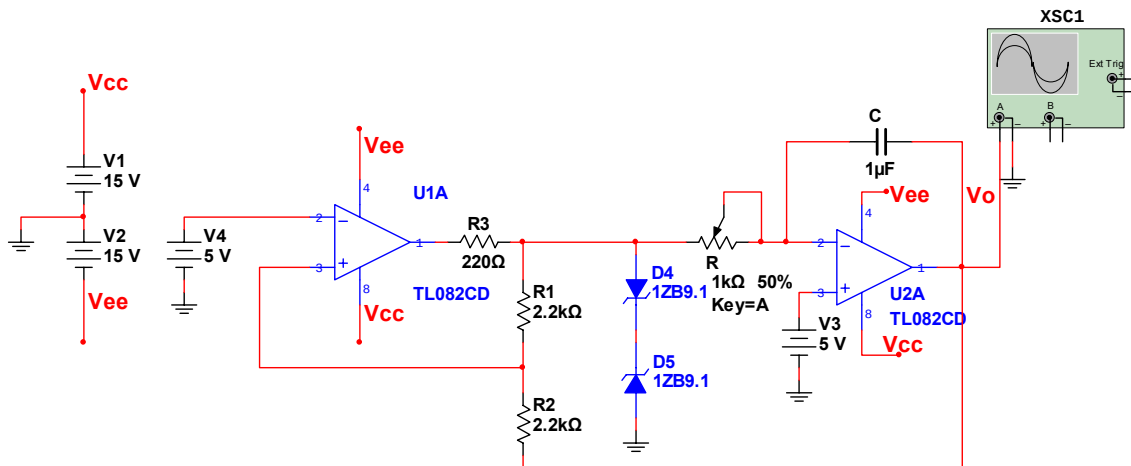
a) Monte el circuito (5) y observe en el osciloscopio el cambio del tiempo en la salida V_0 , cuando se utiliza una caja decádica capacitiva que varíe el valor de C entre 0,5 nF y 1,5 nF.



Circuito (5)

Nota: $T_1 = \frac{2R_2RC}{R_1}$

b) Utilizando el potenciómetro de la *breadboard* varíe el valor de R entre 100 Ω y 1 kΩ como se muestra en el circuito (6) y observe en el osciloscopio el cambio del tiempo en la salida V_0



Circuito (6)

Orientación del informe:

Debe contener los resultados de la Técnica operatoria, las conclusiones parciales de cada ejercicio y conclusiones generales del laboratorio.

Anexo IV: Laboratorios simulados.

Laboratorio simulado # 1: Sensores resistivos. Circuitos de acondicionamiento.

Introducción: Estudiar capítulos 2 y 3 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores resistivos y sus circuitos de acondicionamiento.

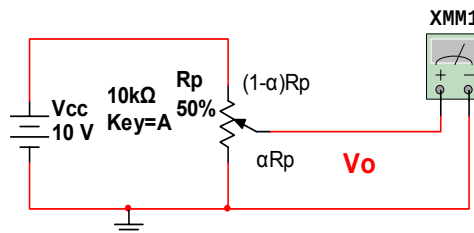
Objetivo: Simular circuitos de acondicionamiento de sensores resistivos.

Software empleado:

- Multisim 10.1
- Matlab

Técnica operatoria:

- 1) Obtenga V_o vs α en el circuito de la figura.
- a) Para una resistencia interna del voltímetro de $R_i = 10 \text{ k}\Omega$.
- b) Para $R_i = 100 \text{ k}\Omega$.
- c) Para $R_i = 1000 \text{ k}\Omega$.



Circuito (1)

- 2) Para el termistor dado $R_T = R_{25} e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{298})}$, con $\beta = 3892$. Linealice el termistor con R en paralelo por:

1. Método de 3 puntos
$$R = \frac{R_{T2}(R_{T1} + R_{T3}) - 2R_{T1}R_{T2}}{R_{T1} + R_{T3} - 2R_{T2}}$$

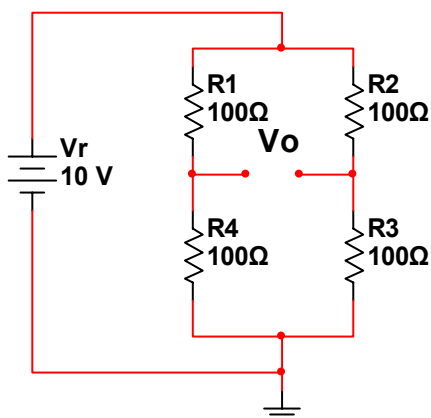
2. Método del punto de inflexión
$$R = R_{TC} \frac{B - 2T_C}{B + 2T_C}$$

Para el caso de usar el termistor para medir la temperatura del agua de un circuito de calefacción que puede variar entre 50°C y 90°C , trace las curvas del sensor R_{eq} vs. T para:

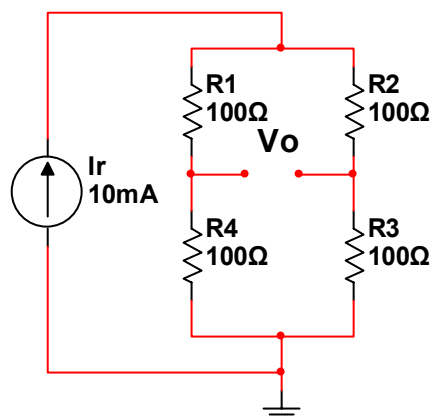
- El termistor solo.
- El termistor en paralelo con la R de linealización por método de 3 puntos.
- El termistor en paralelo con la R de linealización por método del punto de inflexión.

Sugerencia: Use Matlab

4) Verifique en la Tabla 1 el valor V_0 para distintas variaciones de R_1 , R_2 , R_3 y R_4 usando los circuitos mostrados a continuación, que se corresponden con los del Laboratorio Real 2.



Circuito (2), $V_r = 10\text{ V}$



Circuito (3), $I_r = 10\text{ mA}$

Tabla 1

R_1	R_2	R_3	R_4	1. V_0 para el circuito (1)	2. V_0 para el circuito (2)	caso
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{2(x+2)}$	$I_r R_0 \frac{x}{4+x}$	A
$R_0(1+x)$	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{(2+x)}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	B
$R_0(1-x)$	R_0	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{-x^2}{(4-x^2)}$	$I_r R_0 \frac{-x^2}{4}$	C
R_0	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	R_0	$V_r \frac{x}{2}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	D
R_0	R_0	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$V_r \frac{2x}{(4-x^2)}$	$I_r R_0 \frac{x}{2}$	E
$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$R_0(1+x)$	$R_0(1-x)$	$V_r x$	$I_r R_0 x$	F

Orientación del informe:

Debe contener las conclusiones parciales de cada uno de los incisos, basadas en las gráficas de las simulaciones realizadas utilizando Matlab o Multisim 10.1, así como unas conclusiones generales.

Laboratorio simulado # 2: Sensores reactivos. Circuitos de acondicionamiento.

Introducción: Estudiar capítulos 4 y 5 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento del LVDT y sus circuitos de acondicionamientos.

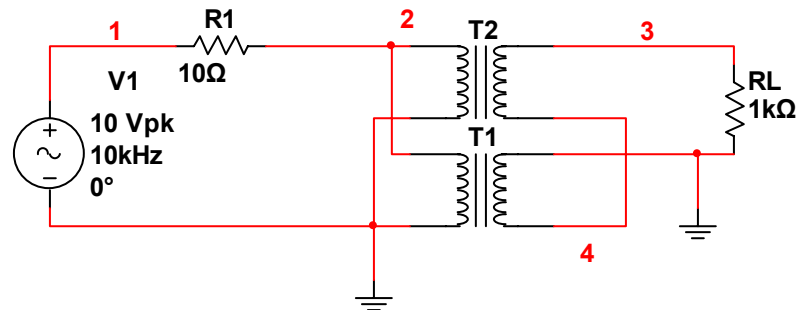
Objetivo: Simular circuitos de acondicionamiento para LVDT.

Software empleado:

Multisim 10.1

Técnica operatoria:

1. En la figura se muestra un circuito basado en dos transformadores acoplados donde cortocircuitamos las entradas para establecer la estructura de un LVDT real compuesto por un primario y dos secundarios. El acoplamiento de las bobinas varía entre 0,1 y 0,9. VIN debe ser una senoide con 10V de amplitud para el análisis AC y una senoide con la misma amplitud, offset cero y frecuencia 10kHz para el análisis transitorio.



- Defina un análisis AC de tipo lineal y paramétrico, con 10000 puntos entre 100Hz y 10kHz tomando como parámetro RL con la siguiente lista de valores: 50Ω, 125Ω, 250Ω, 500Ω, 1kΩ y 2kΩ.
- Realice la simulación y muestre la tensión en la salida (nudo 3) y, en otro eje Y, la corriente en el primario.
- ¿Cuál es el valor máximo de la tensión de salida para cada valor de RL y a qué frecuencia se produce?

RL (Ω)	50	125	250	500	1000	2000
V(3) máx						
Frecuencia						

d) ¿Cómo influye en la corriente del primario la resistencia de carga RL y la frecuencia?

RL (Ω)	50	125	250	500	1000	2000
I (1)						
Frecuencia						

e) Muestre la fase de la tensión de salida (P(v(3))). Para cada valor de RL, ¿cuál es el desfase entre la tensión del primario y la del secundario a la frecuencia para la que la tensión de salida es máxima?

Orientación para el informe:

Debe tener las conclusiones parciales de cada uno de los incisos, basadas en las gráficas de las simulaciones realizadas utilizando Multisim 10.1, así como unas conclusiones generales.

Laboratorio simulado # 3: Sensores generadores y su acondicionamiento.

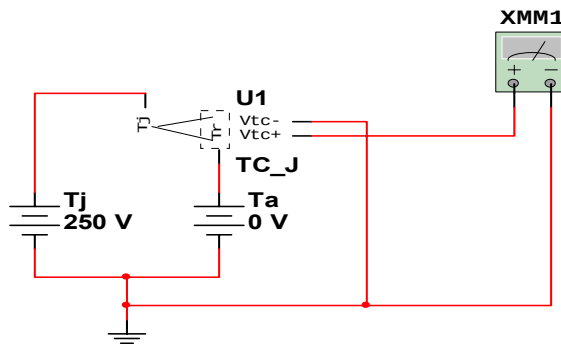
Introducción: Estudiar capítulos 6 y 7 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster. Analice los principios de funcionamiento de los sensores generadores y sus circuitos de acondicionamiento.

Objetivo: Simular circuitos de acondicionamiento de termopares.

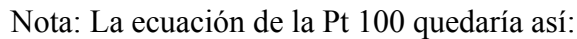
Software empleado: Multisim 10.1

Técnica operatoria:

1. La figura muestra un termopar tipo J con temperatura ambiente 0°C (T_a) y temperatura de unión 250°C (T_j).



- Importe el modelo del termopar tipo J para utilizarlo en el montaje del circuito.
 - Realice un barrido DC de la temperatura de unión (T_j) entre 0°C y 750°C (0-750 V), manteniendo fija la de referencia (T_a) a 0°C , graficando V vs. T. Analice y comente la gráfica.
 - Realice un barrido DC de la temperatura de unión (T_j) entre 0°C y 750°C contra una temperatura ambiente (T_a) entre 0°C y 50°C ambos con incremento de 10°C . Analice sus resultados acerca de la influencia de la temperatura ambiente en el voltaje del termopar.
2. La figura muestra un circuito de acondicionamiento para un termopar tipo J donde se incorpora una Pt 100 con 100Ω a 0°C y $\alpha = 0,00385 \Omega/^{\circ}\text{C}$ para compensar la temperatura de referencia del termopar.



$$R(T) = 100(1 + 0,00385T)$$

$$R(T) = 100 + 0,385T, \text{ con } R \text{ en } \Omega \text{ y } T \text{ en } ^\circ\text{C}.$$

- Monte el circuito utilizando un termopar tipo J, un resistor controlado por voltaje en serie con una R de $100\ \Omega$ para simular la Pt 100 y un TL082CD.
- Realice un barrido DC de la temperatura de unión (T_j) entre 0°C y 750°C (0-750 V), manteniendo fija la de referencia (T_a) a 0°C , graficando V vs. T. Analice y comente la gráfica.
- Realice un barrido DC de la temperatura de unión entre 0°C y 750°C contra una temperatura ambiente entre 0°C y 50°C , ambos con incremento de 10°C . Analice sus resultados.
- Realice el mismo barrido del inciso anterior, sustituyendo las resistencias R_1 y R_2 por $7\text{k}\Omega$. Analice sus resultados.
- Restablezca los valores de R_1 y R_2 ($76,8\ \text{k}\Omega$) y repita el barrido anterior con $V_r=15\ \text{V}$. Analice sus resultados.

Orientación para el informe:

Debe tener las conclusiones parciales de cada uno de los incisos, basadas en las gráficas de las simulaciones realizadas utilizando Multisim 10.1, así como unas conclusiones generales.

Laboratorio simulado # 4: Sensores inteligentes, aplicaciones del LM555.

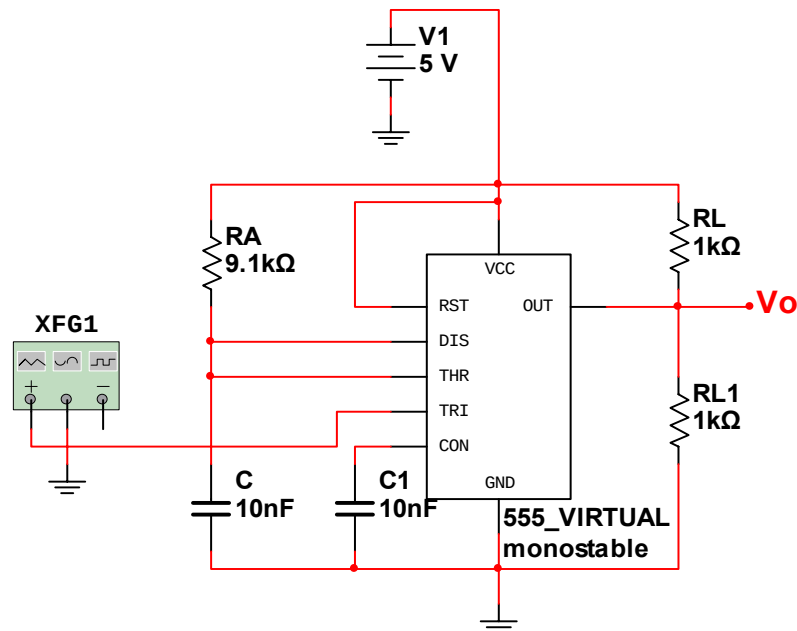
Introducción: Estudiar la nota de aplicación del LM555 y los capítulos 8 y 9 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster.

Objetivo: Simular circuitos de acondicionamiento utilizando el LM555.

Software empleado: Multisim 10.1

Técnica operatoria:

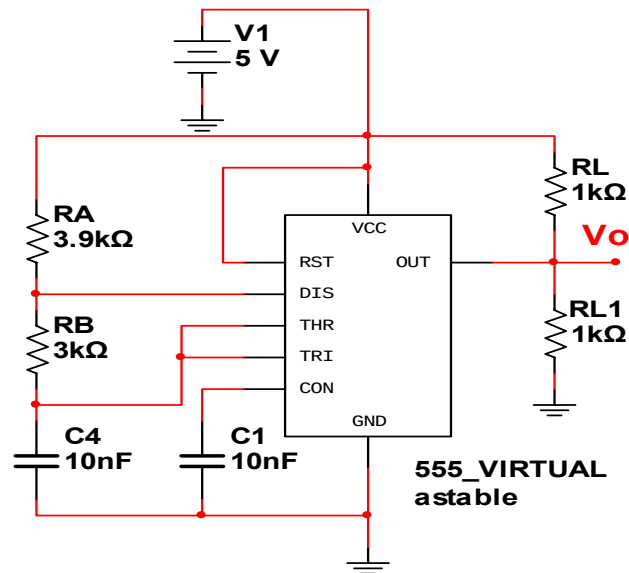
1. El siguiente circuito muestra el modo de operación monostable del LM555.



a) Monte el circuito y realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C entre 9nF y 12nF, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.

b) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de RA entre 9kΩ y 9,5kΩ, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.

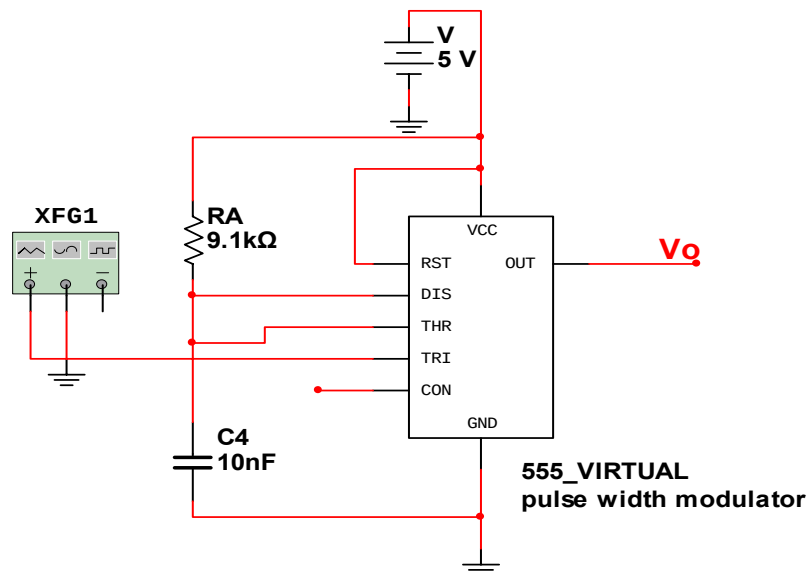
2. El siguiente circuito muestra el modo de operación astable del LM555.



a) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C4 entre 9nF y 12nF, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.

b) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de RB entre 2,9kΩ y 3,5kΩ, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.

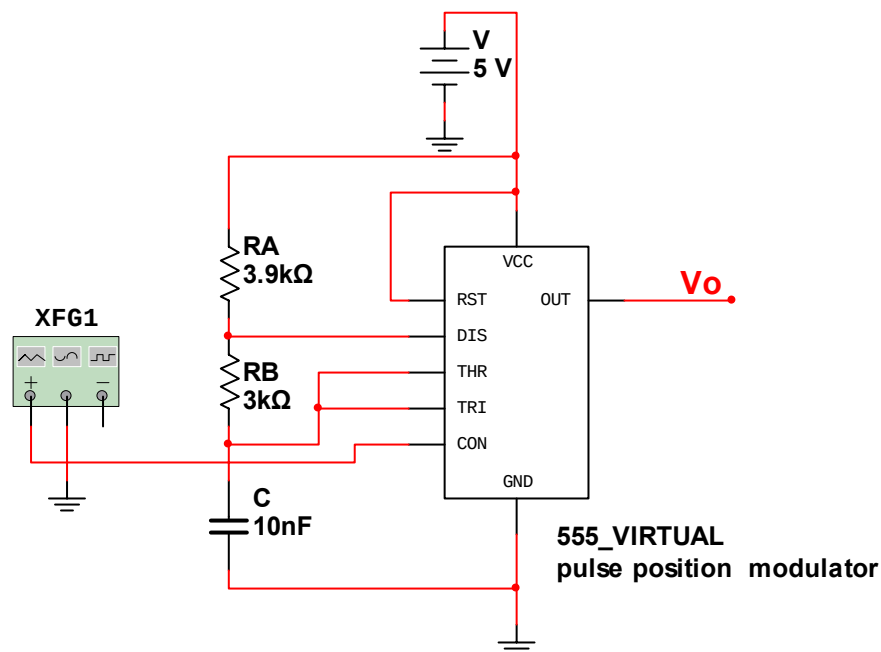
3. El siguiente circuito muestra la aplicación del LM555 llamada: modulación de ancho del pulso, donde se usa el *timer* conectado en el modo monoestable e incentivado con un tren continuo de pulso.



a) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C_4 entre 9nF y 12nF , observe las consecuencias que trae en la salida V_o .

b) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R_A entre $2,9\text{k}\Omega$ y $3,5\text{k}\Omega$, observe las consecuencias que trae en la salida V_o .

4. El siguiente circuito muestra la aplicación del LM555 llamada: modulación de la posición del pulso, donde se usa el *timer* conectado para la operación astable, con una señal modulante aplicada en el terminal de voltaje de control y la posición de pulso varía con la señal modulante.

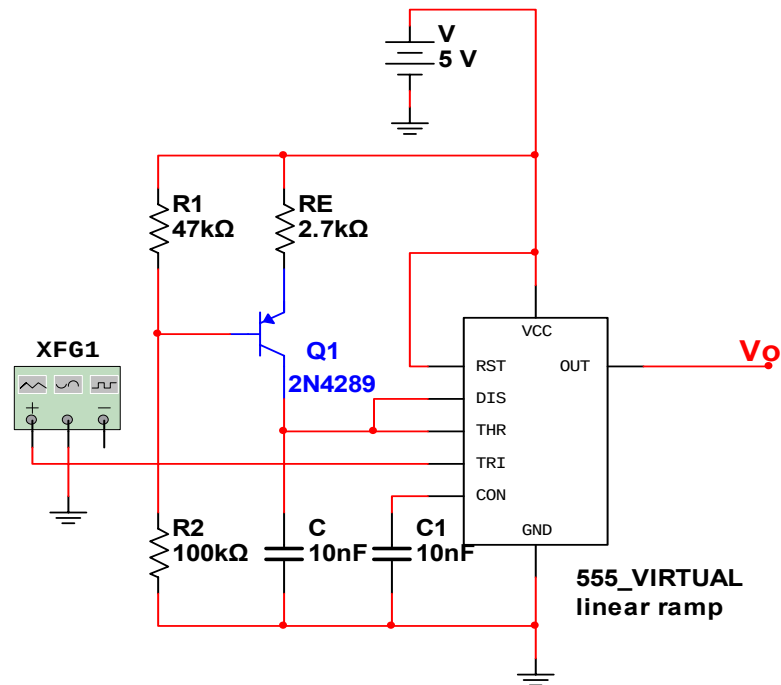


a) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C entre 9nF y 12nF , observe las consecuencias que trae en la salida V_o .

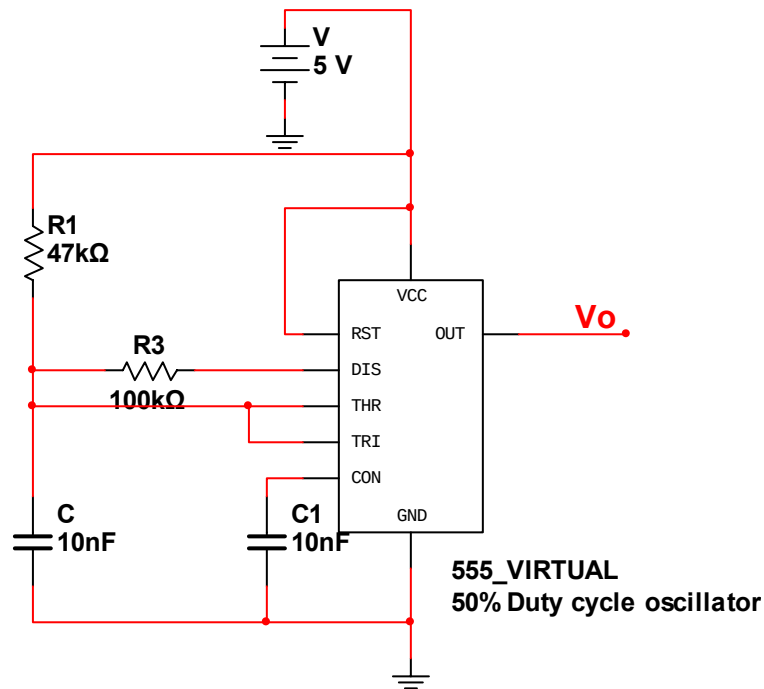
b) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R_B entre $2.9\text{k}\Omega$ y $3.5\text{k}\Omega$, observe las consecuencias que trae en la salida V_o .

c) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R_A entre $3.8\text{k}\Omega$ y $4.2\text{k}\Omega$, observe las consecuencias que trae en la salida V_o .

5. El siguiente circuito muestra la aplicación del LM555 llamada: rampa lineal, esto ocurre cuando R_A en el circuito monoestable es reemplazado por una fuente constante de corriente generando una rampa lineal.



- a) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C entre 9nF y 12nF, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.
 - b) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de RE entre 2,6kΩ y 3,0kΩ, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.
 - c) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R1 entre 46kΩ y 49kΩ, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.
 - d) Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R2 entre 98kΩ y 102kΩ, observe las consecuencias que trae en la salida Vo.
6. En el siguiente circuito se muestra la aplicación del LM555 donde el oscilador está en un 50 % del ciclo.



- Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de C entre 9nF y 12nF , observe las consecuencias que trae en la salida V_o la variación de C .
- Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R_3 entre $99\text{k}\Omega$ y $102\text{k}\Omega$, observe las consecuencias que trae en la salida V_o la variación de R_3 .
- Realice un análisis transiente dentro de un barrido paramétrico, donde varíe el valor de R_1 entre $46\text{k}\Omega$ y $49\text{k}\Omega$, observe las consecuencias que trae en la salida V_o la variación de R_1 .

Orientación para el informe:

Debe tener las conclusiones parciales de cada uno de los incisos, basadas en las gráficas de las simulaciones realizadas utilizando Multisim 10.1, así como unas conclusiones generales.

Laboratorio simulado # 5: Otros sensores. Circuitos de acondicionamiento 2.

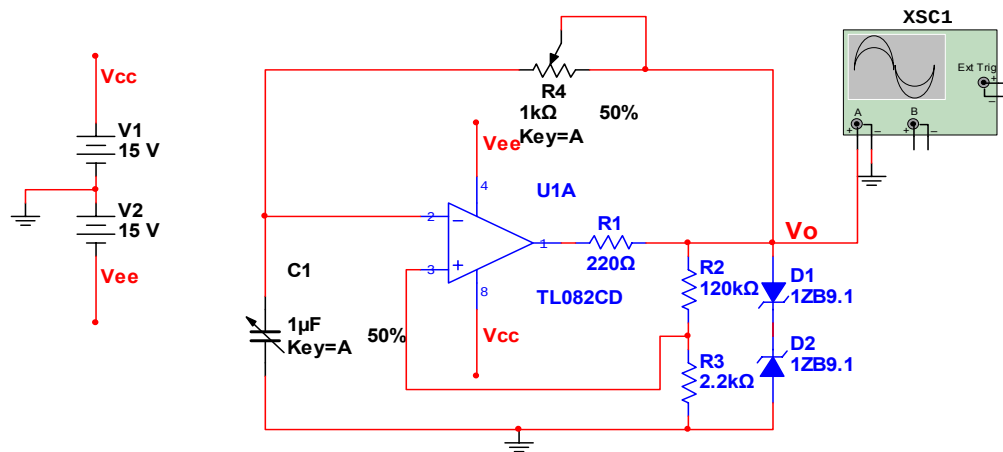
Introducción: Estudiar capítulo 8 y 9 del libro de texto *Sensors and Signal Conditioning* de Ramón Pallás Areny y John G. Webster.

Objetivo: Simular circuitos de acondicionamiento de los sensores inteligentes.

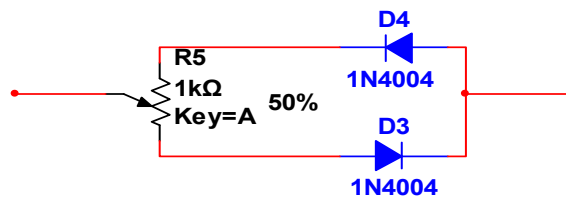
Software empleado: Multisim 10.1

Técnica operatoria:

1. El siguiente circuito corresponde a un generador de onda cuadrada (multivibrador astable).

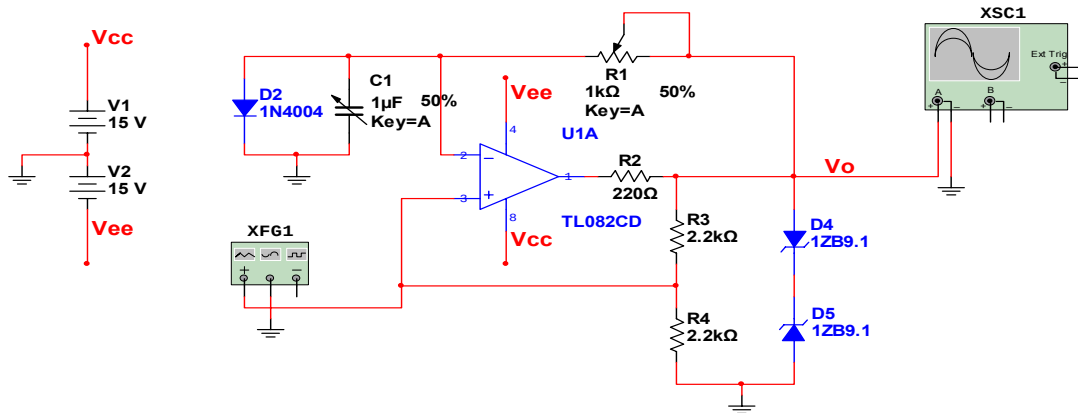


- Monte el circuito y realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de C1 entre 0,5 nF y 1,5 nF para observar el cambio de la frecuencia en la salida V_0 .
- Realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de R4 entre 100 Ω y 1 k Ω para observar con el osciloscopio el cambio de la frecuencia en la salida V_0 .
- Sustituya el potenciómetro R4 por la red dada a continuación y realice un barrido paramétrico donde varíe el potenciómetro entre 100 Ω y 1 k Ω para observar el cambio del *duty cycle* en la salida.



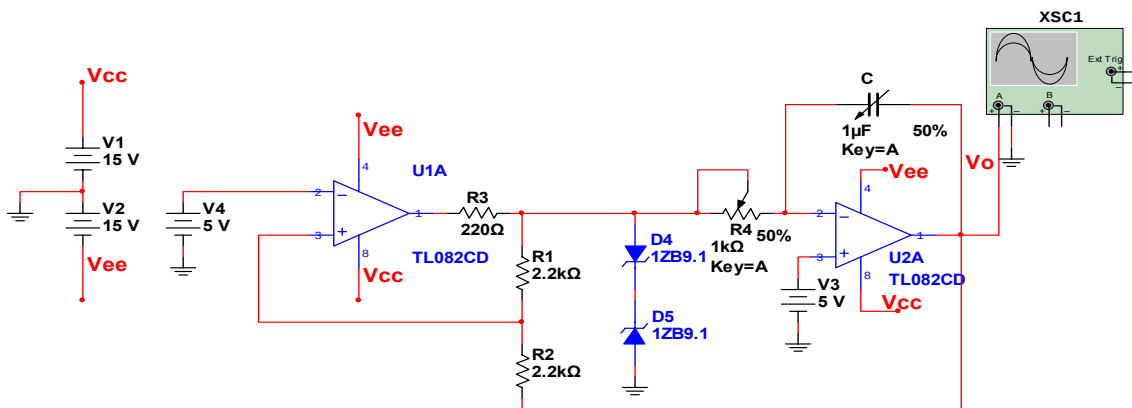
2. El siguiente circuito corresponde a un generador de onda cuadrada (multivibrador monoestable).

- a) Monte el circuito y realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de $C1$ entre 0,5 nF y 1,5 nF para observar el cambio del tiempo en la salida V_0 .
- b) Realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de $R1$ entre 100 Ω y 1 k Ω para observar el cambio del tiempo en la salida V_0



3. El siguiente circuito corresponde a un generador de onda triangular.

- a) Monte el circuito y realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de C entre 0,5 nF y 1,5 nF para observar el cambio del tiempo en la salida V_0 .
- b) Realice un barrido paramétrico donde varíe el valor de $R4$ entre 100 Ω y 1 k Ω para observar el cambio del tiempo en la salida V_0



Orientación del informe:

Debe tener las conclusiones parciales de cada uno de los incisos, basadas en las gráficas de las simulaciones realizadas utilizando Multisim 10.1, así como unas conclusiones generales.