

GUÍA

**de instalaciones
eléctricas e instrumentación**

Ejercicios prácticos

DIEGO ROMO



INSTITUTOS
Superiores Técnicos y Tecnológicos

Instituto Superior Tecnológico "Vicente Fierro"

GUÍA

de instalaciones eléctricas e instrumentación

Diego Romo

diegoromo_408@hotmail.com

TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD

Asignaturas relacionadas:

- Instalaciones eléctricas residenciales
- Instalaciones eléctricas industriales
- Instrumentación

Coordinación de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación



Romo, Diego. (2019). Guía de instalaciones eléctricas e instrumentación. Ejercicios prácticos. Tulcán: Instituto Tecnológico Superior "Vicente Fierro".

Esta guía es el resultado final de un proyecto presentado, aprobado y desarrollado en el Instituto Superior Tecnológico "Vicente Fierro", articulando las funciones de Investigación, Vinculación, Docencia y Bienestar, durante los años 2019-2020.

Autor:

Diego Antonio Romo Caicedo
diegoromo_408@hotmail.com

Diseño:

Lic. Edgar Fernando Pazmiño Palma

Portada:

Elaborada por Oleg Magni
Tomada de www.pexels.com/photo/gray-metal-cubes-decorative-1005644/

ISBN:

978-9942-8747-7-1
Impreso en Tulcán, Ecuador.
Primera edición, diciembre 2019.

Aval académico:

Ing. Roberth Narváez MBA.
Rector del Instituto Superior Tecnológico "Vicente Fierro"

Ing. Karina Játiva
Coordinadora de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación

Ing. Hugo Revelo
Responsable de publicaciones

Pares revisores:

Lic. Jimena Chamorro
Ing. Diana Guerrón

Materia:

Electricidad y electrónica

Tópico:

Destrezas y oficios de la electricidad

Este libro solo puede ser reproducido con autorización escrita del autor o del representante legal de Instituto Superior Tecnológico "Vicente Fierro".

SENESCYT

Instituto Superior Tecnológico "Vicente Fierro".
Avenida Andrés Bello y Panamericana Norte.
Tucán, Carchi, Ecuador.

Índice

Introducción.....	11
Metodología - orientación.....	11
Competencias.....	12
CAPÍTULO 1: INSTALACIONES ELÉCTRICAS	
1.1. Circuito eléctrico.....	13
1.2. Corriente y voltaje alterno	13
1.3. Potencia.....	15
1.4. Circuitos	18
1.5. Selección de conductores eléctricos	21
CAPÍTULO 2: INSTRUMENTACIÓN	
2.1. Errores	29
2.2. Temperatura	31
2.3. Presión	34
2.4. Acondicionamiento de señales	35
EJERCICIOS PROPUESTOS.....	45
SOLUCIONARIO.....	47
GLOSARIO.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

*Agradezco a Dios por todas sus
bendiciones y
a mis padres por su infinito amor
y apoyo incondicional.*

*A mis padres, Antonio y Socorro,
y a mis hermanos, Gabriela (†) y David.*

Los amo.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, un mundo de constante cambio, uno de ellos, la dependencia de la mayoría de actividades que realizan las personas a la energía eléctrica. En este contexto, las instalaciones eléctricas en sus distintas aplicaciones sociales han tenido una gran evolución a lo largo de los años, cuyo origen y estimulación está en la modernización de equipos y artefactos que se necesitan conectar a una fuente de energía eléctrica, esto exige a las instalaciones eléctricas estar a la par de la modernización.

Otro de los condicionantes para la evolución de las instalaciones eléctricas son los cambios en la normatividad que se da a nivel internacional y los cambios propios que se dan en cada país, por lo tanto, se entiende que es un proceso dinámico en el cual se requiere de una constante actualización de conocimientos tanto en equipos, materiales y procedimientos para el diseño y construcción de instalaciones eléctricas.

Al igual que en las instalaciones eléctricas, la instrumentación ha tenido grandes avances tecnológicos que van desde el mejoramiento de los materiales usados en los transductores y así blindarlos contra perturbaciones externas como al uso de la electrónica y los buses de campo para llevar la información hasta otros dispositivos o mostrárselos a los operadores para la toma de decisiones.

Con esta guía se pretende facilitar en el estudiante el entendimiento de los conceptos fundamentales de instalaciones eléctricas e instrumentación con una serie de ejercicios prácticos resueltos y cuidadosamente explicados.

METODOLOGÍA - ORIENTACIÓN

La formación técnica y tecnológica cobra mayor importancia en el Ecuador y a nivel mundial. Cada vez son más las compañías que han aumentado la demanda de profesionales capaces de solucionar problemas puntuales de manera práctica y sencilla. De igual manera la demanda de estudiantes por ingresar a un programa de formación tecnológica se ha incrementado en el Ecuador en los últimos años.

En este contexto, el Instituto Superior Tecnológico “Vicente Fierro” y en especial el área de electricidad de la Institución se encuentra trabajando constantemente por facilitar y agilizar el proceso de enseñanza - aprendizaje que se desarrolla en las aulas de la Institución.

Este compendio de las asignaturas de instalaciones eléctricas e instrumentación está pensada para agilizar ese proceso, consiste en una serie de problemas prácticos de las asignaturas antes mencionadas, en donde primero se parte de una fundamentación teórica que le brinde al lector el conocimiento necesario para entender la resolución de los problemas planteados.

En la parte de los problemas prácticos del desarrollo de la guía, se parte por el planteamiento del problema para luego resolverlo paso a paso y explicado detalladamente y finalmente plantearle al lector una serie de problemas con sus respuestas con el fin de reforzar los conocimientos adquiridos por el lector.

COMPETENCIAS

Al terminar la guía de instalaciones eléctricas e instrumentación el lector habrá adquirido la capacidad de realizar transformaciones de unidades de magnitudes eléctricas, calcular la demanda de una determinada carga eléctrica, dimensionar la sección del conductor que se necesita para alimentar una determinada carga por los criterios de capacidad de conducción y caída máxima de voltaje permisible, calcular la demandad total de una instalación y realizar la corrección del factor de potencia de una instalación para la disminución de la corriente demandada.

En lo que se refiere a la asignatura de instrumentación la presente guía pretende desarrollar las competencias de explicar el funcionamiento de algunos sensores y transductores utilizados en la medición de variables industriales, calcular la salida que dan los transductores en función de la variable que está midiendo, para finalmente tratar el tema de los acondicionadores de señal.

CAPÍTULO 1: INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Se llama instalación eléctrica a un conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir energía eléctrica, los objetivos que persigue una instalación eléctrica son: seguridad, eficiencia, economía, flexibilidad y accesibilidad.

Visto desde el punto de vista práctico, una instalación eléctrica es un circuito y todo circuito eléctrico sin importar que tan simple o complejo sea, consta de cuatro partes básicas: Una fuente de energía eléctrica, que es la encargada de forzar que exista un flujo de electrones, conductores que transportan el flujo de electrones o corriente eléctrica, la carga que es el dispositivo a los cual se suministra la energía eléctrica y un dispositivo de control que permita conectar o desconectar el circuito (Bratu y Campero, 1995).

Para poder realizar cálculos de instalaciones eléctricas primero es necesario conocer algunos conceptos de circuitos eléctricos.

1.1. Circuito eléctrico

Un circuito eléctrico es un sistema de lazo cerrado que permite el libre flujo de electrones para generar un trabajo, el circuito eléctrico se compone fundamentalmente de: fuente de alimentación, conductores, elementos de desconexión y la carga.

Que en el caso de una instalación eléctrica se identifican como:

- ◆ La fuente de alimentación son los cables que vienen del poste de la empresa eléctrica, conocidos como acometida.
- ◆ Los medios de desconexión son los tableros y cuchillas, interruptores termomagnéticos e interruptores ("apagadores").
- ◆ La carga es todo aquello que consuma energía eléctrica.

1.2. Corriente y voltaje alterno

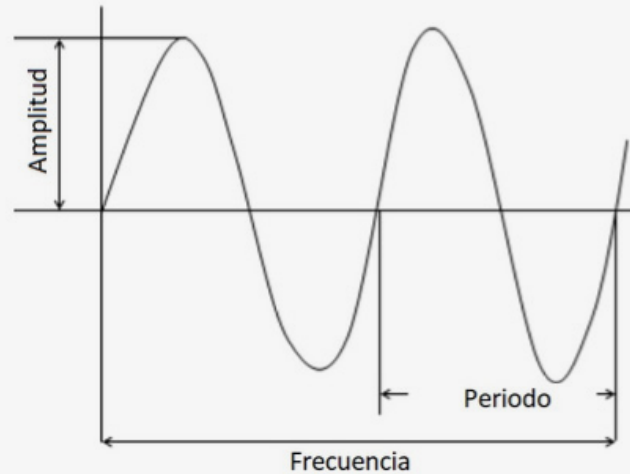
En un circuito eléctrico como en el caso de una instalación eléctrica se utiliza corriente alterna (ca) que también es la base del sistema eléctrico de potencia, el cual suministra energía eléctrica a casas, negocios, industrias, etc. La corriente alterna se usa en lugar de la corriente directa (cd) o continua porque tiene varias ventajas importantes, la principal es que se puede transmitir de manera fácil y eficiente a través de largas distancias.

Sin embargo, su importancia va más allá de su uso en la industria de la generación y distribución de energía eléctrica.

La principal característica de la corriente alterna es que varía su dirección (varias veces por segundo), primero en una dirección y luego en otra a través de un circuito eléctrico, es producida por una fuente de voltaje cuya polaridad se alterna entre positivo y negativo (en lugar de mantenerse fija la polaridad como en las fuentes de cd).

En este contexto, un concepto importante a tener en cuenta es la forma de onda, que es la variación de un voltaje o corriente con respecto al tiempo; un voltaje o corriente alterna puede tener cualquier forma de onda pero la más importante es la onda seno (Figura 1.1.) que es con la que se trabaja en los sistemas eléctricos de potencia.

Figura 1.1. Forma de onda de voltaje



Elaborado por: Romo D.

La ecuación matemática general para la forma de onda senoidal es:

$$v(t) = V_{max} \text{Sen}(\omega t)$$

Pero tomando como referencia al Ecuador en donde el sistema eléctrico tiene una frecuencia de 60 Hertz (Hz) y el voltaje eficaz (rms) que le llega a la mayoría de consumidores es de 120 voltios (V) aproximadamente, la ecuación matemática de la forma de onda del voltaje en un tomacorriente de cualquier vivienda es:

$$v(t) = 169 * \text{Sen}(120\pi * t) \quad V$$

Al trabajar con circuitos en ca, la corriente se comporta diferente dependiendo de la carga que alimente, existen básicamente tres tipos de circuitos: resistivos, inductivos y capacitivos; aunque también se puede dar una combinación de ellos que daría lugar a un circuito resultante que sería resistivo-inductivo o resistivo-capacitivo.

En un circuito puramente resistivo (compuesto por una fuente de voltaje alterno y un resistor) la corriente es directamente proporcional al voltaje por esa razón las variaciones de corriente siguen a las variaciones de voltaje por lo cual se dice que la corriente y el voltaje están en fase.

En un circuito inductivo (compuesto por una fuente de voltaje alterno y un inductor), el voltaje que cae en el inductor es proporcional a la tasa de cambio de la corriente con lo cual en un circuito puramente inductivo la corriente atrasa al voltaje en 90°.

En un circuito capacitivo (compuesto por una fuente de voltaje alterno y un capacitor), la corriente es proporcional a la tasa de cambio del voltaje con lo cual en un circuito puramente capacitivo el voltaje atrasa a la corriente en 90° (Nilsson & Riedel, 2006).

1.3. Potencia

Otro concepto sumamente importante es la potencia que es igual al producto del voltaje por la corriente, con lo cual si el voltaje y la corriente varían en el tiempo, también lo hará la potencia, a lo cual se le conoce como potencia instantánea.

En circuitos en ca hay que diferenciar entre potencia activa (P) y potencia reactiva (Q). La potencia activa es la que fluye hacia la carga, su potencia será la potencia promedio hacia la carga, si tiene un valor positivo, entonces, en promedio más potencia fluye hacia la carga que la que retorna a la fuente (si tiene un valor de cero toda la potencia que fluye hacia la carga es retornada). Si P tiene un valor positivo, representa a la potencia que en realidad es disipada por la carga. Por esta razón, P es llamada potencia real.

En cambio la potencia reactiva es la porción de la potencia que fluye hacia la carga y luego regresa a la fuente, al fluir primero en un sentido y luego en otro, su valor promedio es cero, entonces la potencia reactiva no contribuye en nada a la potencia promedio hacia la carga es decir que aunque la potencia reactiva no realiza trabajo útil, no puede ignorarse.

Se requiere corriente adicional para crear potencia reactiva, y dicha corriente debe ser suministrada por la fuente; esto también significa que los conductores, los interruptores automáticos del circuito o la instalación y los interruptores comunes deben ser físicamente más grandes para manejar la corriente adicional (Robbins & Miller, 2007).

Ejercicio 1

Realizar las siguientes transformaciones de unidades:

1. 435000 Wmin a KWh
2. 89000 Wsegundo a KWh
3. 68 KWmin a KWh

Para realizar la transformación de las unidades se hace uso de equivalencias conocidas.

$$1) 345000 Wmin * \frac{1 KW}{1000 W} * \frac{1 h}{60 min} = 5.75 KWh$$

$$2) 89000 Wsegundo * \frac{1 KW}{1000 W} * \frac{1 h}{3600 segundo} = 0.025 KWh$$

$$3) 68 KWmin * \frac{1 h}{60 min} = 1.13 KWh$$

Ejercicio 2

Un calentador tiene una resistencia de 100 Ω, por la que circula una corriente de 2 amperios durante dos horas. ¿Qué cantidad de energía consumió expresada en KWhora?

De los datos del ejercicio se conoce que:

$$R=100 \Omega$$

$$I=2 A$$

Para calcular la energía consumida, primero se calcula la potencia; la potencia se la calcula mediante la ecuación:

$$P = V * I \quad y \quad V = I * R$$

$$P = I^2 * R$$

$$P = (2)^2 * 100 \rightarrow 400 W$$

La energía consumida en dos horas es:

$$E = P * t$$

Donde:

E: Energía
P: Potencia
t: Tiempo

$$E = 400 * 2 = 800 Wh$$

$$\therefore E = 0.8 KWh$$

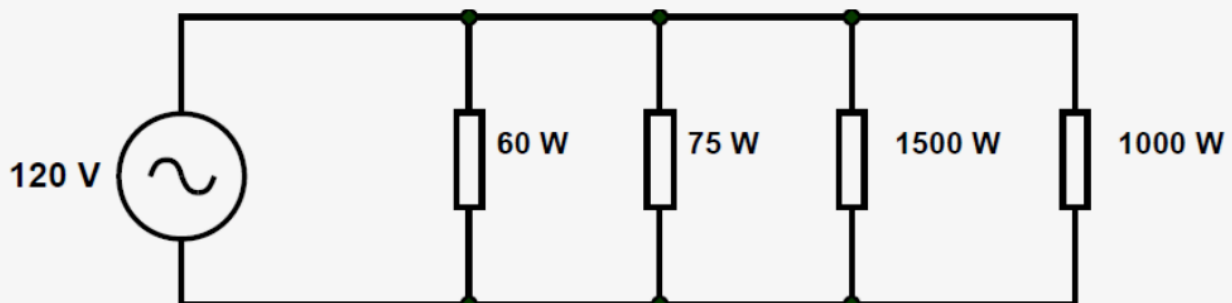
Ejercicio 3

Un circuito alimentado a 120 V con corriente alterna, alimenta en paralelo a los siguientes elementos, como se lo puede observar en la Figura 1.2.:

- 1 lámpara de 60 W
- 1 lámpara de 75 W
- 1 plancha de 1500 W
- 1 parrilla eléctrica de 1000 W

Calcular la corriente que debe suministrar la fuente.

Figura 1.2. Conexión de cargas en paralelo



Elaborado: Romo D.

Para cargas resistivas el factor de potencia es unitario, por lo que la potencia se la puede calcular mediante la expresión.

$$P = V * I$$

De esta expresión se puede despejar la corriente y calcular la corriente que demanda cada uno.

$$I = \frac{P}{V}$$

Por la lámpara de 60 W

$$I = \frac{60}{120} \rightarrow I = 0.5 A$$

Para la lámpara de 75 W

$$I = \frac{75}{120} \rightarrow I = 0.625 A$$

Para la plancha de 1500 W

$$I = \frac{1500}{120} \rightarrow I = 12.5 A$$

Para la parrilla eléctrica de 1000 W

$$I = \frac{1000}{120} \rightarrow I = 8.33 A$$

La corriente total demandada de la fuente va a ser la sumatoria de corriente de todas las cargas:

$$I = 0.5 + 0.625 + 12.5 + 8.33$$

$$I = 21.955 A$$

1.4. Circuitos

Las instalaciones residenciales deben disponer de circuitos independientes de iluminación, tomacorrientes en donde cada circuito debe disponer de su propio neutro o conductor conectado a tierra, cada circuito debe disponer de su propia protección y ningún circuito debe compartir servicios entre plantas o niveles diferentes de la vivienda.

Los circuitos de iluminación deben estar diseñados para alimentar una carga de 15 amperios y no exceder de 15 puntos de iluminación así como también los circuitos de tomacorrientes deben ser diseñados considerando salidas polarizadas para soportar una capacidad máxima de 20 amperios de carga por circuito y no exceder de 10 salidas y los circuitos para cargas especiales (mayor a 1500 W) deben ser diseñados de manera individual para soportar la carga nominal de cada equipo (NEC, 2018).

En los ejercicios que a continuación se resuelven, el objetivo es determinar el número de circuitos que se debe implementar para una determinada carga que se tenga en una instalación.

Ejercicio 4

Calcular el número de circuitos derivados para un conjunto de departamentos de 400m² de área ocupada, que tiene una carga interna de alumbrado de 4000 W y 12 kW adicionales de carga para otros servicios como bomba de agua, alumbrado de pasillos y cuarto de lavado. Se usará alambre TW de cobre. Se considera que se pueden usar circuitos derivados de 15 A a 120 V.

Para calcular el número de circuitos derivados para el alumbrado interno, primero se calcula la corriente que demanda.

$$P = V * I \rightarrow I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{4000}{120} \rightarrow I = 33,33 \text{ A}$$

$$\text{Número de circuitos} = \frac{\text{Corriente de alumbrado}}{\text{Corriente de cada circuito}} = \frac{33,33}{15} = 2,22$$

Se usa tres circuitos derivados de 15 amperios.

De igual manera, para los restantes 12 kW se calcula la corriente.

$$P = V * I$$

Despejando se obtiene:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{12000}{120} \rightarrow I = 100 \text{ A}$$

$$\text{Número de circuitos} = \frac{\text{Corriente de la carga}}{\text{Corriente de cada circuito}} = \frac{100}{15} = 6,6$$

Se usa 7 circuitos derivados para esta carga.

Ejercicio 5

Calcular el número de circuitos derivados de 15 amperios para alimentar una carga de 8000 W a 120 V.

Para determinar el número de circuitos derivados se lo puede hacer calculando la corriente total que demanda la carga.

→ Al ser la carga con un factor de potencia igual a la unidad, la potencia se la puede calcular mediante:

$$P = V * I$$

Despejando

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{8000}{120} \rightarrow I = 66.66 \text{ A}$$

Para calcular el número de circuitos se divide la corriente total entre la corriente que soporta cada circuito.

$$\text{Número de circuitos} = \frac{\text{Corriente total}}{\text{Corriente de cada circuito}}$$

$$\text{Número de circuitos} = \frac{66.66}{15} = 4.44$$

Por lo tanto, se debe implementar 5 circuitos.

Ejercicio 6

Calcular el alimentador para una vivienda tipo grande que consta de las siguientes cargas.

- a) Alumbrado 2000 W.**
- b) Tomacorrientes 1200 W.**
- c) Equipo de aire acondicionado de 15 A a 120 V.**
- c) Equipo de calefacción de 3 KW a 120 V.**

Para calcular el alimentador del departamento primero se calcula la potencia total instalada:

Potencia del aire acondicionado:

$$P = V * I \rightarrow P = 15 * 120 \rightarrow P = 1800 \text{ W}$$

Las cargas expresadas en vatios son:

Alumbrado	2000 W
Tomacorrientes	1200 W
Aire acondicionado	1800 W
Equipo calefacción	3000 W

Tomando en cuenta los factores de demanda de la Tabla 1.1

Tabla 1.1. Factores de demanda

Tipo	FD Iluminación	FD Tomacorrientes
Pequeña - mediana	0.7	0.5
Mediana grade - grande	0.55	0.4
Especial	0.53	0.3

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Alumbrado: 0.55

Tomacorrientes: 0.4

Para cargas especiales se tiene en cuenta la Tabla 1.2

Tabla 1.2. Factores de demanda para cargas especiales

Para 1 carga	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas
	CE < 10KW	10 KW < CE < 20 KW	CE > 20 KW
1	0.8	0.75	0.65

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Cargas especiales 0.8

Tomando en cuenta los factores de demanda, la carga es:

Alumbrado	0.55 * 2000 W
Tomacorrientes	0.4 * 1200 W
Aire acondicionado	0.8 * 1800 W
Equipo calefacción	0.8 * 3000 W
	<u>5420 W</u>

Demanda de la carga es: 5420 W

Sabiendo que la carga es conectada a 120 V, la corriente demandada es:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{5420}{120} \rightarrow I = 45.16 A$$

De acuerdo a la tabla de capacidad de corriente establecida en la NEC, se observa que el conductor debe ser el #8 AWG.

1.5. Selección de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos son los elementos que conducen la corriente eléctrica en un circuito, los cuales deben tener una buena conductividad y cumplir con ciertos requisitos en cuanto a propiedades mecánicas y eléctricas.

La mayoría de los conductores eléctricos son de cobre y algunos otros de aluminio, aun cuando hay otros materiales que tienen una mejor conductividad, como por ejemplo la plata y el platino pero cuyo costo económico es más elevado y hace antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas.

Comparando con el cobre, el aluminio es aproximadamente un 16% menos conductor, pero al ser mucho más liviano resulta un poco más económico cuando se hacen estudios comparativos, ya que a igualdad de peso se tiene hasta cuatro veces más conductividad que con el cobre (Harper, 2004).

Con respecto a la normativa en cuanto a los conductores eléctricos, estos se han identificado por un número que hace referencia al calibre y que en el país se sigue en su mayoría el sistema americano de designación AWG (American Wire Gage).

En este estándar el conductor de mayor sección es el 4/0 y orden descendente del área del conductor, los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones.

Pero si se llegara a necesitar un conductor de mayor sección que el 4/0 se hace uso de un estándar que hace función al área del conductor en pulgadas utilizando la unidad denominada "circular mil".

La selección de conductores eléctricos para una instalación se lo realiza bajo los criterios de capacidad de conducción, la cual depende de la sección (área) de los conductores y del criterio de máxima caída de voltaje permisible, que en este caso esta caída de voltaje no debe exceder del 5% del voltaje nominal.

En los ejercicios que a continuación se resuelve se calcula la caída de voltaje que se da en el conductor y también ejercicios de selección de conductores de acuerdo a la carga que alimentan.

Ejercicio 7

Determinar la caída del voltaje que se produce en una carga compuesta por un motor monofásico de 1 HP a 120V, $fp = 0,85$ alimentado con una corrida de cable de 80 m calibre #12 AWG, como se lo puede apreciar en la Figura 1.3.

Figura 1.3. Conexión de la carga



Elaborado por: Romo D.

Para calcular la corriente demandada por la carga se parte de la ecuación para la potencia:

$$S = V * I$$

Donde:

S: potencia aparente

V: voltaje de alimentación

I: corriente de alimentación

La potencia aparente se la pasa a unidades de W.

Un HP es igual a 745 W.

$$S = P * fp$$

Donde:

S: Potencia aparente

P: Potencia activa

Fp: Factor de potencia

Se despeja y calcula la potencia aparente.

$$P = \frac{745}{0.89} = 837.08 \text{ VA}$$

La potencia aparente también se la puede calcular con la siguiente ecuación.

$$S = V * I$$

Donde:

S: Potencia aparente

V: Voltaje

I: Intensidad de corriente eléctrica

Reemplazando valores en la ecuación anterior se calcula la corriente eléctrica.

$$837.08 = 120 * I \rightarrow I = 6.97 \text{ A}$$

Para calcular la caída de voltaje se utiliza la siguiente ecuación.

$$E = 2 * R * I$$

Donde:

E: Caída de voltaje

R: Resistencia del conductor

I: Corriente que circula por el conductor

La resistencia del conductor es:

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

Donde:

ρ : Resistividad del material del conductor

L: Longitud del conductor

S: Sección del conductor

Siendo la resistividad para el cobre:

$$\rho = \frac{1 \Omega \text{ mm}^2}{50 \text{ m}}$$

Para calcular la resistencia se sabe que L = 80 m (corrida de cable) S = 3,31 mm²

$$R = \frac{1}{50} * \frac{80}{3.31}$$

$$R = 0.483 \Omega$$

Por lo tanto la caída de voltaje es:

$$E = 2 * R * I$$

$$E = 2 * 0.483 * 6.97$$

$$E = 6.73 \text{ V}$$

El porcentaje de caída se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$E\% = \frac{E}{Vn} * 100$$

Donde:

E%: Caída de voltaje en porcentaje

E: Caída de voltaje

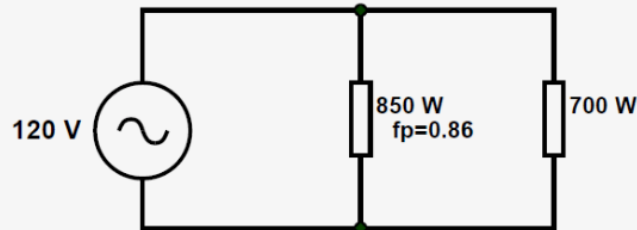
Vn: Voltaje nominal

$$E\% = \frac{6.73}{120} * 100 \rightarrow E\% = 5.6\%$$

Ejercicio 8

Determinar la caída de voltaje que se produce en una carga compuesta por un motor monofásico de 850 W, fp = 0,86 a 120 V y una carga de factor de potencia unitario de 700 W a 120 V. La carga está alimentada por una corrida de cable de 60 m de calibre 14 AWG, como se observa en la Figura 1.4.

Figura 1.4. Diagrama de conexión



Elaborado por: Romo D.

Para encontrar la caída de voltaje que se produce primero es necesario calcular la corriente total demandada por la carga.

Para el motor, la ecuación para la potencia es:

$$P = VI \cos \phi$$

$$850 = 120(I)(0,86)$$

$$I = 8,23 \text{ A}$$

Pero este valor encontrado es el módulo de la corriente el cual está desfasado del voltaje:

$$\text{El desfase es: } \phi = \cos^{-1}(0,86) \Rightarrow \phi = 30,68$$

La corriente es $I_m = 8,23 \angle 30,68$ [A], el signo menos es porque es una carga inductiva con lo que se produce un retraso en la corriente respecto del voltaje.

En coordenadas cartesianas:

$$I_m = 8,23 \cos(30,63) + j8,23 \sin(30,68)$$

$$I_m = 7,07 - j4,2 \quad [\text{A}]$$

Para la carga de factor de potencia unitario.

$$P = VI \cos \phi$$

$$700 = 120(I)(1)$$

$$I = \frac{700}{120} \Rightarrow I = 5,83 \text{ A}$$

$$I = 5,83 + 0j \quad [\text{A}]$$

La corriente total demandada por la carga es la sumatoria de las corrientes de las dos cargas.

$$I_t = 7,07 - j4,02 + 5,83 + 0j$$

$$I_t = 12,9 - j4,02 \quad [\text{A}]$$

$$I_t = 13,51 - 17,31 \quad [\text{A}]$$

La caída de voltaje es $E = 2RI$, donde R es la resistencia interna del cable.

$$R = \rho * \frac{L}{S} = \frac{1}{50} \frac{L}{S}$$

La sección del conductor #14 AWG es 2.08 mm^2

$$R = \frac{1}{50} * \frac{60}{2,08} = 0,577$$

$$E = 2 * R * I$$

$$E = 2(0,577)(13,51) = 15,59 \text{ V}$$

$$E\% = \frac{E}{V_n} * 100 \Rightarrow E\% = \frac{15,57}{120} * 100$$

$$E\% = 12,99 \%$$

Ejercicio 9

Seleccionar el conductor para alimentar una carga compuesta por un motor de 950 W, $f_p = 0,80$ monofásico a 120 V alimentado a 80 metros del tablero, como se puede observar en la Figura 1.5.

Figura 1.5. Diagrama de conexión de la carga



Elaborado por: Romo D.

Se calcula la corriente demandada por el motor

$$P = V * I * \cos(\varphi)$$

$$950 = 120 * I * 0.80 \rightarrow I = 9.89 \text{ A}$$

De la tabla de capacidad de corriente de la NEC, se selecciona el cable #16 AWG ya que puede conducir hasta 13 A.

Ahora se verifica que la caída de voltaje no exceda el 5%.

La caída de voltaje se calcula mediante la ecuación:

$E = 2 * R * I$ donde R es la resistencia del conductor

$$R = \rho * \frac{L}{S}$$

La sección del cable #16 AWG es 1,31 mm²

$$R = \frac{1}{50} * \frac{80}{1.31} \rightarrow R = 1.22 \Omega$$

$$E = 2 * R * I \rightarrow E = 2 * 1.22 * 9.89 = 22.19 V$$

$$E\% = \frac{22.19}{120} * 100 \rightarrow E\% = 18.49\%$$

Se prueba con el #12 AWG, cuya sección es 3,31 mm²

$$R = \frac{1}{50} * \frac{80}{3.31} \rightarrow R = 0.48 \Omega$$

$$E = 2 * R * I \rightarrow E = 2 * 0.48 * 9.89 = 9.49 V$$

$$E\% = \frac{9.49}{120} * 100 \rightarrow E\% = 7.9\%$$

Se prueba con el #10 AWG, cuya sección es 5.26 mm²

$$R = \frac{1}{50} * \frac{80}{5.26}$$

$$R = 0.3 \Omega$$

$$E = 2 * R * I \rightarrow E = 2 * 0.3 * 9.89 = 5.93 V$$

$$E\% = \frac{5.93}{120} * 100$$

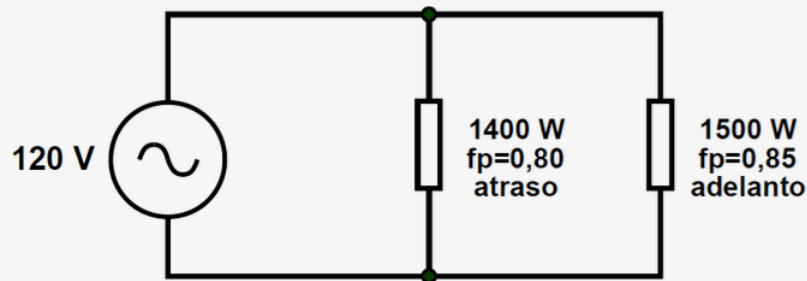
$$E\% = 4.99\%$$

El conductor que cumple es el #10 AWG

Ejercicio 10

Seleccionar el conductor para alimentar una carga compuesta por una carga inductiva de 1400 W, $fp = 0,8$ y una carga capacitiva de 1500 W, $fp = 0,85$ alimentados por una corrida de cable de 50 m de un tablero de 120V como se puede ver en la Figura 1.6.

Figura 1.6. Diagrama de conexión



Elaborado por: Romo D.

Lo primero es determinar la corriente de cada una de las cargas.

Carga de 1400 W, $fp = 0.8$ atraso
La potencia se calcula mediante:

$$P = V * I * \cos(\varphi)$$

$$1400 = 120 * I * 0.8 \quad \rightarrow \quad I = 14.58 \text{ A}$$

Pero esa corriente es el modulo y al ser una carga inductiva está retrasado $36,87^\circ$ del voltaje.

La corriente representada con coordenadas rectangulares es:

$$I = 11.66 - j8.74 \text{ A}$$

Carga de 1500 W, $fp = 0.85$ adelanto

$$P = V * I * \cos(\varphi)$$

$$1500 = 120 * I * 0.85 \quad \rightarrow \quad I = 14.7 \text{ A}$$

Pero esta corriente es el modulo y al ser una carga capacitiva esta adelantada $31,79^\circ$ al voltaje

La corriente representada en coordenadas rectangulares es:

$$I = 12.49 - j7.74 \text{ A}$$

La corriente total demandada por la carga es:

$$I = 11.66 - j8.74 + 12.49 - j7.74$$

$$I = 24.15 - j \text{ A}$$

El módulo de la corriente es:

$$I = 24.17 \text{ A}$$

Para esa corriente es el #12 AWG que soporta hasta 25 A
Ahora se verifica que la caída del voltaje no exceda el 5%
La caída de voltaje se calcula mediante la ecuación:

$$E = 2 * R * I$$

Donde R es la resistencia del conductor:

$$R = \frac{\rho}{S} = \frac{1}{50} * \frac{L}{S}$$

$$R = \frac{1}{50} * \frac{50}{3.31} \rightarrow R 0.302 \Omega$$

$$E = 2 * 0.302 * 24.17 \rightarrow E = 14.59 \text{ V}$$

$$E\% = \frac{E}{V_n} * 100 \rightarrow E\% = \frac{14.59}{120} * 100 = 12.15\%$$

Excede la caída de voltaje de 5%.

Se prueba con el #8 AWG, sección 8,32 mm²

$$R = \frac{1}{50} * \frac{50}{5.26} \rightarrow R 0.12 \Omega$$

$$E = 2 * 0.12 * 24.17 \rightarrow E = 5.8 \text{ V}$$

$$E\% = \frac{E}{V_n} * 100 \rightarrow E\% = \frac{5.8}{120} * 100 = 4.83\%$$

El AWG #8 cumple la máxima caída de voltaje permitido

CAPÍTULO 2: INSTRUMENTACIÓN

2.1. Errores

Básicamente un error es la diferencia que existe entre el valor real y el valor que mide el instrumento, hay que tener en cuenta que toda medición tiene un error. Los errores se los puede clasificar en tres tipos: sistemáticos, gruesos y aleatorios.

Los errores sistemáticos en la salida de los instrumentos son producidos por factores inherentes a su proceso de fabricación y componentes utilizados, a su vez estos factores hacen que el valor de las componentes del instrumento esté fuera de especificaciones, o dicho de otra forma, fuera de tolerancia. Es posible que los errores sistemáticos se produzcan debido al desgaste de los componentes de un instrumento durante cierto periodo de tiempo, en otros casos estos errores son generados por perturbaciones ambientales o debido a la perturbación del sistema de medición.

Los errores gruesos son los más sencillos de identificar ya que suelen darse por equivocaciones ya sea en el manejo del instrumento de medida o del proceso.

Los errores aleatorios son los más difíciles de detectar en las mediciones ya que son resultado de variaciones aleatorias e impredecibles en el sistema de medición y es posible eliminarlos en parte calculando la media o mediana de las mediciones. Este tipo de errores suelen producirse por fenómenos externos al proceso, una de las causas más frecuentes es la interferencia electromagnética (EMI) (Morris, 2002).

Debido al error inherente que se tiene en las mediciones es necesario tomar varias medidas y a partir de ellas obtener el valor más probable de la medición.

A continuación se resuelve un ejercicio en el cual se desea saber el valor más probable de una determinada variable industrial, en la cual se realizaron varias mediciones para mediante cálculos encontrar el valor más cercano al real.

Ejercicio 1

En un proceso industrial para el control de caudal se tiene datos de medición cada 5 minutos (Tabla 2.1), se desea conocer el valor más probable de caudal medido después de una hora de funcionamiento continuo para comprobar su funcionamiento.

Tabla 2.1. Mediciones de caudal

Minuto	Gal/min
5	10.25
10	10.38
15	10.92
20	10.40
25	10.18
30	10.88
35	10.82
40	10.40
45	9.63
50	9.90
55	10.87
0	10.50

Elaborado por: Romo D.

Para encontrar el valor más probable primero se encuentra la media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_n}{n}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética
 x_n : Valores medidos
 n : Número de valores medidos

$$\therefore \bar{X} = 10.43$$

La desviación media se la puede calcular a través de la ecuación:

$$d_n = X_n - \bar{X}$$

$$\begin{aligned} \therefore d_n &= -0.18 \\ &= -0.05 \\ &= 0.49 \\ &= -0.03 \\ &= -0.25 \\ &= 0.45 \\ &= 0.39 \\ &= -0.03 \\ &= -0.8 \\ &= -0.53 \\ &= 0.44 \\ &= 0.07 \end{aligned}$$

La desviación media promedio es:

$$D = \frac{\sum |d_n|}{n}$$

$$\therefore D = 0.31$$

La desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_n^2}{n}}$$

$$\therefore \sigma = 0.39$$

El error más probable es: $\gamma = 0.674\sigma \rightarrow \gamma = 0.26$

El valor más probable = $\bar{X} \pm \gamma$

El valor más probable = 10.43 ± 0.26

2.2. Temperatura

Es muy importante la medición de temperatura en los diferentes aspectos de la vida diaria, en especial en los procesos industriales. De acuerdo a los principios físicos que rigen su funcionamiento los instrumentos para medir temperatura se los puede dividir en cuatro tipos: expansión térmica, efecto termoeléctrico, cambio de resistencia y emisión de calor radiante.

Cabe resaltar que se han omitido ciertos dispositivos que aunque son especializados son costosos económicamente, entre otros: el termómetro de cuarzo y termómetro acústico.

El método de expansión térmica aprovecha el hecho de que las dimensiones físicas de las sustancias cambian con la temperatura, en esta categoría el termómetro de vidrio es el más utilizado.

Los instrumentos de efecto termoeléctrico basan su funcionamiento en el principio físico de que cuando dos metales diferentes se conectan entre sí, se genera una fuerza electromotriz (fem) que es función de la temperatura.

Los instrumentos de resistencia variable basan su funcionamiento en el principio físico de la variación de la resistencia con la temperatura, estos instrumentos se los conoce como termómetros de resistencia o termistores, otro tipo de instrumentos de este tipo son los RTD.

Los pirómetros de radiación basan su funcionamiento en el hecho de que todos los objetos emiten radiación electromagnética como función de su temperatura por encima del cero absoluto; estos instrumentos miden la radiación para calcular la temperatura.

En cuanto a las escalas para la medición de temperatura, hay diferentes escalas las cuales pueden ser clasificadas en dos tipos: escalas absolutas y escalas relativas.

En las escalas absolutas el cero de su escala coincide con el cero de energía térmica. Estas escalas son, la Kelvin [K] y la Ranking [R].

En las escalas relativas, su cero no coincide con el cero de energía térmica. Son la Fahrenheit y la Centígrada.

Para realizar la conversión entre las diferentes escalas se puede hacer uso de las siguientes relaciones:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{9 * (^{\circ}\text{F} - 32)}{5}$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9 * ^{\circ}\text{C}}{5} + 31$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

Ejercicio 2

Calcular la resistencia de un termistor cuyo $\beta = 4000 \text{ K}$, $R_o = 10 \text{ K}\Omega$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ para una temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $30 \text{ }^\circ\text{C}$, $90 \text{ }^\circ\text{C}$ y $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

El termistor es un sensor de temperatura que varía su resistencia en función de la temperatura. La ecuación que representa la variación de la resistencia es la siguiente:

$$R_T = R_o e^{\left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)\right]}$$

Donde:

R_o : Es la resistencia inicial, o resistencia a una temperatura dada.

e : Es la constante neperiana

β : Es una constante de cada termistor

T : Temperatura a la cual se quiere calcular la resistencia debe estar en K.

T_o : Temperatura inicial, debe estar en K

Para resolver este problema primero se transforma las temperaturas a grados Kelvin (K).

$$T_o \rightarrow 20^\circ\text{C} \rightarrow 293,15 \text{ K}$$

$$0^\circ\text{C} \rightarrow 273,15 \text{ K}$$

$$30^\circ\text{C} \rightarrow 303,15 \text{ K}$$

$$90^\circ\text{C} \rightarrow 363,15 \text{ K}$$

$$120^\circ\text{C} \rightarrow 393,15 \text{ K}$$

$$0^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 10000 e^{\left[4000 \left(\frac{1}{273.15} - \frac{1}{293.15}\right)\right]} = 27127.23 \Omega$$

$$30^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 10000 e^{\left[4000 \left(\frac{1}{303.15} - \frac{1}{293.15}\right)\right]} = 6375.62 \Omega$$

$$90^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 10000 e^{\left[4000 \left(\frac{1}{363.15} - \frac{1}{293.15}\right)\right]} = 720.70 \Omega$$

$$120^\circ\text{C} \rightarrow R_T = 10000 e^{\left[4000 \left(\frac{1}{393.15} - \frac{1}{293.15}\right)\right]} = 310.97 \Omega$$

Ejercicio 3

Calcular la resistencia para un RTD PT100 para una temperatura de 373 K .

La RTD es una resistencia que varía en función de la temperatura, la resistencia varía de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R = R_o (1 + \alpha t)$$

Donde:

R : Resistencia que se desea calcular a una determinada temperatura.

α : Es una constante que depende del material de la RTD.

T : Temperatura a la cual se va a calcular la resistencia.

RTD PT100: Significa que la RTD está fabricada a partir de platino y que tiene una resistencia de 100 Ω a 0°C.

$$\alpha = 0.00385 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \quad \text{ya que la RTD es de platino, es un dato del fabricante}$$

Para utilizar la ecuación se debe tener la temperatura en °C

$$373 \text{ K} \rightarrow 99.85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se reemplaza en la ecuación:

$$R = 100(1 + (0.00385 * 99.859))$$

$$R = 138.44 \text{ } \Omega$$

Ejercicio 4

Calcular la resistencia de una RTD PT200 para una temperatura de 400° F.

La resistencia de la RTD varía de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Donde:

R: Resistencia que se desea calcular o una determinada temperatura.

α : Es una constante que depende del material de la RTD.

T: Temperatura a la cual se va a calcular la resistencia.

RTD PT200: Significa que la RTD está fabricada a partir de platino y que tiene una resistencia de 200 Ω a 0 °C.

$$\alpha = 0.00385 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \quad \text{ya que la RTD es de platino, es un dato del fabricante}$$

Para utilizar la ecuación se debe tener la temperatura en grados Celsius.

La ecuación para pasar de °F a °C es:

$$\frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 = ^{\circ}\text{F}$$

$$T = 204.44 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$R = 200(1 + (0.00385 * 204.44))$$

$$R = 357.42 \text{ } \Omega$$

2.3. Presión

La medición de presión constituye un requerimiento muy común en casi todos los procesos industriales. Existen diferentes tipos de presión que se pueden medir, pero las que mayoritariamente se controla en procesos industriales es la presión absoluta, la presión manométrica y la presión diferencial. La presión absoluta se define como la diferencia de presión de un determinado sitio o fluido respecto al cero absoluto de presión. La presión manométrica representa la diferencia de presión de un determinado sitio o fluido respecto a la presión atmosférica.

El término de presión diferencial hace referencia a la diferencia entre dos valores de presión.

A continuación se resuelven un ejercicio con una galga extensiométrica, que es un transductor que varía su resistencia de acuerdo a la presión a la cual está sometido.

Ejercicio 5

Se trabaja con una galga extensiométrica de cobre cuyo módulo de Yung es de: $E=11,73 \times 10^{10}$ [N/m²] y factores de galga $K = 2.05$.

Si se va a medir una presión máxima de $1,25 \times 10^6$ N/m², determinar cuál es la variación de la resistencia de la galga.

La tensión mecánica aplicada viene dada por la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

ϵ : Tensión mecánica aplicada

σ : Presión aplicada

E: Coeficiente de Yung

$$E = \frac{1.25 \times 10^6}{11.73 \times 10^{10}} = 1.065 \times 10^{-5}$$

La tensión aplicada también viene dada por: $E = \frac{\Delta L}{L} = 1.065 \times 10^{-5}$

El factor de galga viene dado por la relación:

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

Donde:

ΔR : Variación de resistencia

R: Resistencia

ΔL : Variación de longitud

L: Longitud

De los datos del ejercicio se tiene que $K = 2,05$

$$2.05 = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{1.065 \times 10^{-5}}$$

Despejando:

$$\Delta R = 2,18 \times 10^{-5} R$$

La resistencia final de la galga viene expresada por:

$$R_f = R + 2.18 \times 10^{-5} R$$

2.4. Acondicionamiento de señales

El procesamiento de la señal proveniente de un transductor se lo realiza con el fin de mejorar la lectura o señal de salida de un sistema de medición. El método de procesamiento de la señal no es siempre el mismo, depende de la naturaleza de la señal de salida que se obtiene del transductor.

Los métodos más habituales de acondicionamiento de señales son la amplificación, atenuación, linealización y filtrado. Los procedimientos para el procesamiento de señales se lo puede lograr mediante técnicas analógicas o en forma digital mediante una computadora; el procedimiento analógico implica el uso de diversos circuitos electrónicos que por lo general se construyen con amplificadores operacionales en tanto que la forma digital se utilizan diversos paquetes de software.

Una de los procedimientos más utilizados es la amplificación de señales, que consiste en amplificar una señal proveniente de un transductor, se la realiza cuando el nivel de salida del transductor es demasiado bajo. La amplificación se la realiza con la ayuda de un amplificador operacional, es importante que el amplificador tenga una impedancia de entrada alta para minimizar los efectos de carga en la señal de salida del transductor (Creus, 2008).

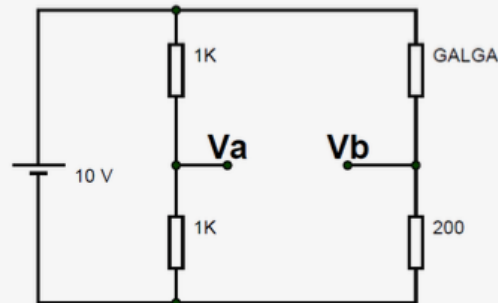
Pero en ciertas ocasiones se requiere la amplificación de señales de muy bajo nivel, es decir que el amplificador debe poseer una ganancia alta, en estos casos se utiliza el amplificador de instrumentación en el cual está integrado un circuito que contiene tres amplificadores operacionales estándar. La ventaja que posee el amplificador de instrumentación es que su impedancia diferencial es mucho más elevada en comparación con el amplificador operacional estándar.

A continuación se resuelve problemas de acondicionamiento de señales de transductores que pueden estar sensando diferentes variables, el acondicionamiento se lo realiza en forma analógica utilizando amplificadores operacionales.

Ejercicio 6

En el puente de la Figura 2.1, la galga extensiométrica tiene un valor nominal de $R_g = 200 \Omega$ a 20°C con una variación de $0,8 \Omega$ para una presión conocida y cuyo $X = 0,008 \text{ 1}/(^\circ \text{C})$

Figura 2.1. Conexión de la galga extensiométrica



Elaborado por: Romo D.

Calcular el voltaje Vba si el proceso está a 20 °C.

Se tiene la resistencia de la galga $R_g = 200 \Omega$ y temperatura del proceso 20 °C.

La resistencia final de la galga viene dada por la expresión:

$$R_g = R + \Delta R$$

$$R_g = 200 + 0.8 \rightarrow R_g = 200.8\Omega$$

Para calcular el voltaje V_{ab} primero se calcula el voltaje V_a y V_b , para ello se utiliza la ecuación de un divisor de voltaje.

$$V_a = 10 * \frac{1000}{1000 + 1000} = 5V$$

$$V_b = 10 * \frac{200}{200 + 200.8} = 4.99V$$

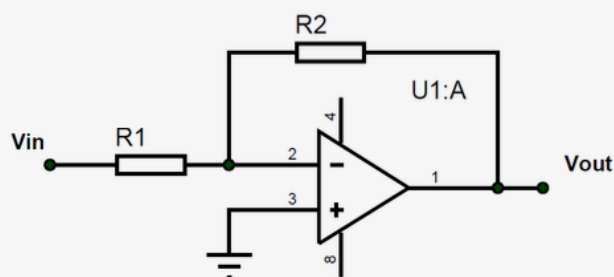
$$V_{ba} = V_b - V_a \rightarrow V_{ba} = 4.99 - 5 = -0.01V$$

Ejercicio 7

Diseñar un amplificador inversor con ganancia 10.

El circuito para un amplificador inversor se lo puede observar en la Figura 2.2. :

Figura 2.2. Diagrama de un amplificador inversor



Elaborado por: Romo D.

La ecuación del voltaje de salida es:

$$V_{out} = -G * V_{in} \quad y \quad G = \frac{R_2}{R_1}$$

Donde:

Vout: Voltaje a la salida del amplificador

Vin: Voltaje a la entrada del amplificador

G: Ganancia del amplificador

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\therefore V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} * V_{in}$$

De los datos del ejercicio se sabe que la ganancia es de 10.

$$\therefore \frac{R_2}{R_1} = 10$$

Para mantener una impedancia de entrada alta se asume valores de resistencia mayores a 10 kΩ.

$$\therefore R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 R_1$$

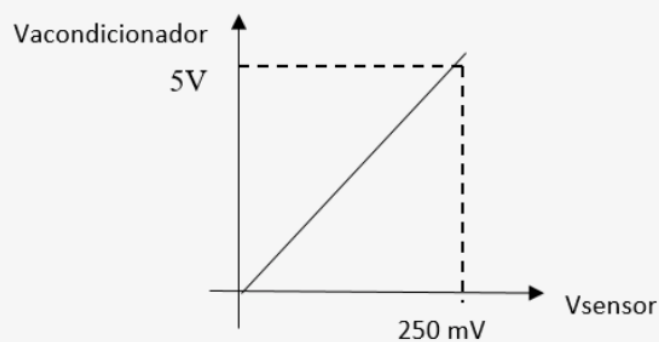
$$R_2 = 10 * (10 \text{ k}\Omega)$$

$$\therefore R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

Ejercicio 8

Diseñar un transmisor de 0 V a 5 V con impedancia de entrada alta para un sensor que varía entre 0 V a 250 mV.

Figura 2.3. Gráfica de acondicionamiento del sensor



Para diseñar el acondicionador, primero se debe encontrar la ecuación de la curva de acondicionamiento.

La pendiente de la recta es:

$$m = \frac{5}{250 \times 10^{-3}} = 20$$

Una de las ecuaciones generales de la recta en el plano es: $y = mx + b$

Donde:

y: Variable dependiente (eje de las ordenadas)

x: Variable independiente (eje de las abscisas)

m: Pendiente de la recta

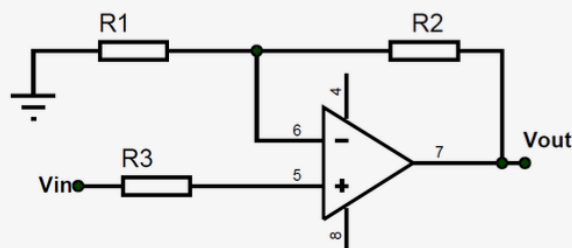
Haciendo analogía con la Figura 2.3 se tiene que la ecuación de la curva de acondicionamiento es:

$$\therefore V_{\text{acondicionador}} = 20 \cdot V_{\text{sensor}}$$

De la ecuación de la curva del acondicionador, se tiene que hay que diseñar un amplificador con 20 de ganancia, no inversor.

Una configuración de un amplificador no inversor se la puede ver en la Figura 2.4.:

Figura 2.4. Diagrama del amplificador inversor



Elaborado por: Romo D.

La ecuación del voltaje de salida es:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$

Donde:

V_o : Voltaje a la salida del amplificador

V_{in} : Voltaje a la entrada del amplificador

Por lo tanto la ganancia del amplificador es: $G = \frac{R_2}{R_1} + 1$

De la curva de acondicionamiento se tiene que la ganancia debe ser $G = 20$.

$$20 = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$19 = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = 19R_1$$

Es importante que la impedancia de entrada de un amplificador sea alta, se asume resistencias mayores a 10 KΩ.

$$\therefore R_1 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 19 * R_1 \rightarrow R_2 = 19 * 10\text{K}\Omega \rightarrow R_2 = 190 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = R_1 = 10\text{K}\Omega$$

Ejercicio 9

Diseñar un acondicionador para un termopar tipo J, la termocupla está instalada en un sistema cuya temperatura oscila entre 0 y 300 °C.

A la salida del acondicionador se quiere obtener un voltaje de 0 a 5 V.

Del manual del termopar tipo J se tiene que este varía en su salida 50 uV por cada °C, por lo tanto se tiene:

$$\text{Salida del termopar} \begin{cases} \rightarrow 0 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 0(50 \text{ uV}) = 0 \\ \rightarrow 300 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 300(50 \text{ uV}) = 0,015 \text{ V} \end{cases}$$

A la salida del acondicionador se quiere:

$$\text{Salida del acondicionador} \begin{cases} \rightarrow 0 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 0 \text{ V} \\ \rightarrow 300 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 5 \text{ V} \end{cases}$$

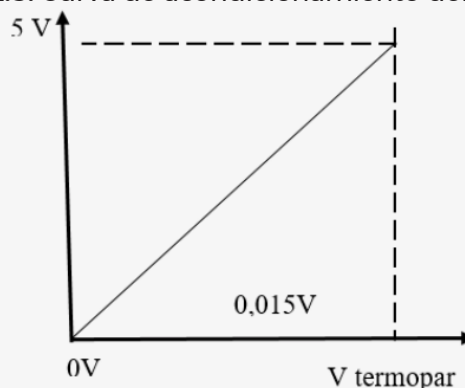
Tabla 2.2. Valores de acondicionamiento del sensor

Temperatura	Salida termopar	Salida acondicionador
0 °C	0 V	0 V
300 °C	0.015 V	5 V

Elaborado por: Romo D.

Se realiza el grafico de cómo se quiere que trabaje el acondicionador como se puede observar en la Figura 2.5.

Figura 2.5. Curva de acondicionamiento del sensor



Elaborado por: Romo D.

Ahora se calcula la ecuación de la curva de acondicionamiento, la pendiente de la recta es:
Una de las ecuaciones de la recta es: $y = mx + b$

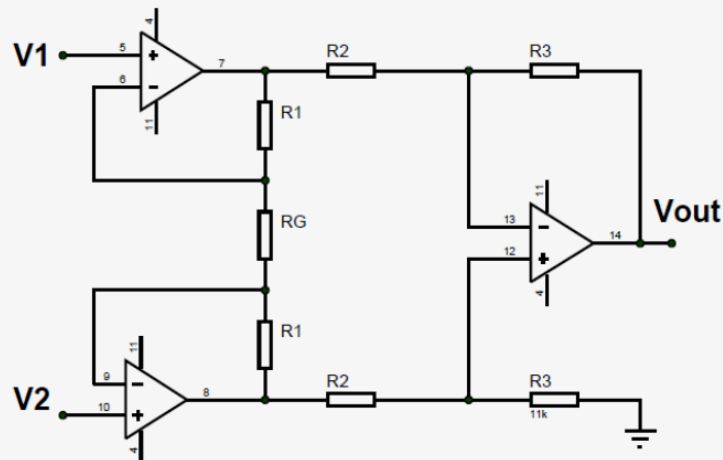
$$m = \frac{5}{0,015} = 333,33$$

Vsalida acondicionador = 333,33 Vtermopar

De la ecuación de la curva del acondicionador, se tiene que diseñar un amplificador con ganancia 333,33 no inversor.

Debida a la ganancia necesaria se utiliza un amplificador de instrumentación, cuyo diagrama se puede ver en la Figura 2.6.

Figura 2.6. Diagrama de un amplificador de instrumentación



Elaborado por: Romo D.

La ecuación de voltaje de salida es:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

Por lo tanto la ganancia del amplificador es

$$G = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

Y de la curva de acondicionamiento se tiene que la ganancia debe ser, $G = 333,33$

$$333,33 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

Por criterios de diseño se escogen todas las resistencias mayores a 10 KΩ.

Se asume $R_3 = 160 \text{ K}\Omega$ y $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$

$$333,33 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right) \frac{160 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega}$$

$$20,833 = 1 + \frac{2R_1}{R_g} \rightarrow 19,833 = \frac{2R_1}{R_g}$$

Se despeja R_g y se obtiene:

$$R_g = \frac{2R_1}{19,833} \quad \wedge \quad R_1 \text{ se asume } 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_g = \frac{2(10000)}{19,833} \rightarrow R_g = 1008 \Omega$$

Ejercicio 10

Diseñar un acondicionador para un termopar tipo E, que va a medir una temperatura que está en el rango de 20 °C a 200 °C y se desea a la salida un voltaje de 0 V a 20 °C y 10 V a 200 °C.

Del manual del termopar tipo E se tiene que este varía 60 uV por cada °C. Por lo tanto se tiene:

$$\text{Salida del termopar} \begin{cases} \rightarrow 20^\circ\text{C} \rightarrow 20 (60 \text{ uV}) = 1.2 \text{ mV} \\ \rightarrow 200^\circ\text{C} \rightarrow 200 (60 \text{ uV}) = 0.012 \text{ V} = 12 \text{ mV} \end{cases}$$

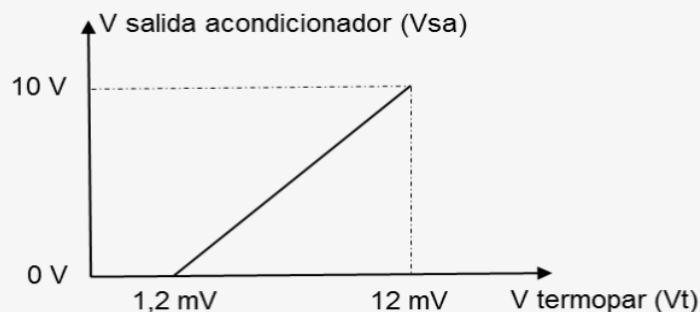
A la salida se quiere:

$$\text{Salida del acondicionador} \begin{cases} \rightarrow 20^\circ\text{C} \rightarrow 0 \text{ V} \\ \rightarrow 200^\circ\text{C} \rightarrow 10 \text{ V} \end{cases}$$

Se realiza el gráfico de la curva de acondicionamiento del acondicionador (Figura 2.7).

Temperatura	Salida termopar	Salida acondicionador
20 °C	1,2 mV	0 V
200 °C	0,012 V	10 V

Figura 2.7. Curva de acondicionamiento



Elaborado por: Romo D.

Se calcula la ecuación de la recta y se obtiene

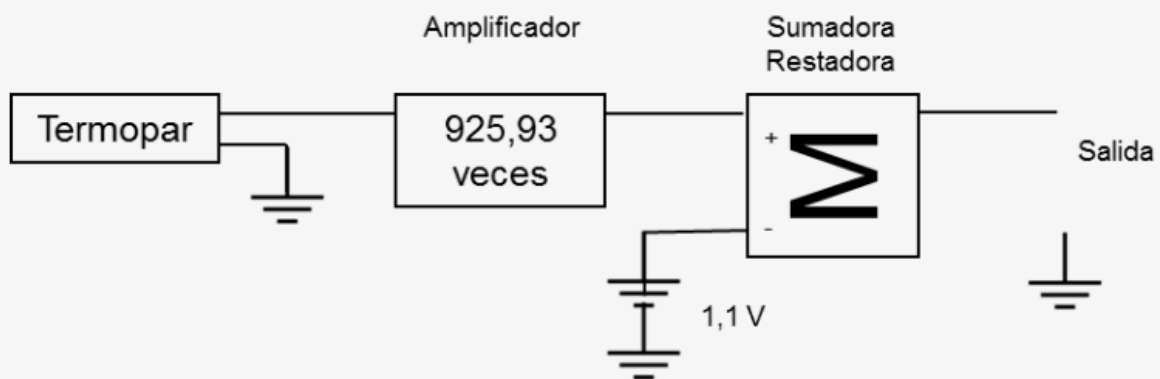
$$V_{sa} = 925 V_t - 1,11$$

De la expresión se puede decir que el acondicionador debe constar de dos partes:

- ◆ Amplificadora
- ◆ Sumadora - restadora

El esquema que se necesita para obtener el acondicionamiento solicitado se lo puede ver en la Figura 2.8:

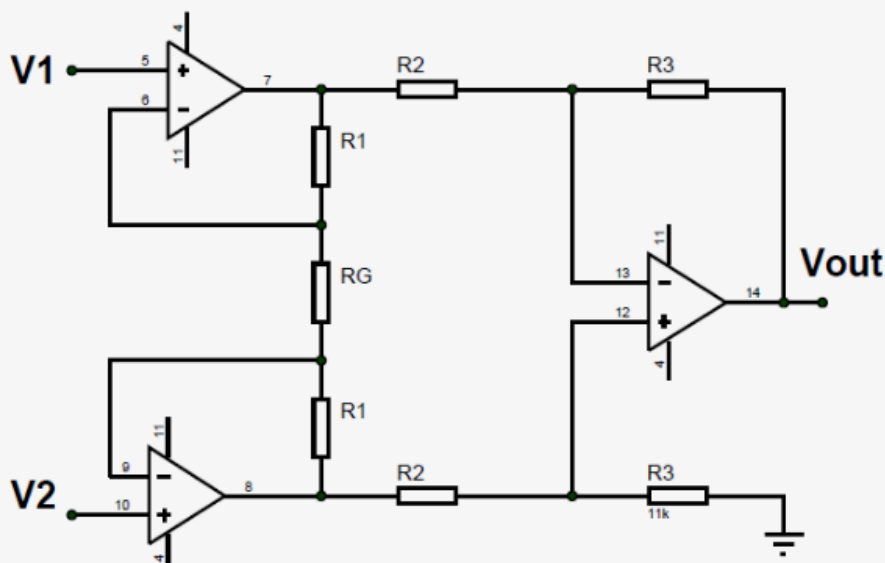
Figura 2.8. Esquema del amplificador



Elaborado por: Romo D.

Diseño de la parte amplificadora: Debido a que la ganancia es grande se la realizará con un amplificador de instrumentación como se lo puede observar en la Figura 2.9.

Figura 2.9. Diagrama de un amplificador de instrumentación



Elaborado por: Romo D.

La ecuación de salida del amplificador es:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

Donde:

V1: Entrada uno de voltaje

V2: Entrada dos de Voltaje

Vout: Voltaje a la salida del amplificador

$$\text{Ganancia} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2} \quad \wedge \quad \text{Ganancia} = 925,93$$

$$925,93 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2}$$

$$\text{Se asume: } R_3 = 300 \text{ K}\Omega \quad \text{y} \quad R_2 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$925,93 = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{300 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega}$$

$$30,798 = 1 + \frac{2R_1}{R_g}$$

$$29,798 = \frac{2R_1}{R_g} \quad \text{Se asume } R_1 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$29,798 = \frac{2(10000)}{R_g}$$

$$R_g = 671,186 \Omega$$

EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Un circuito alimentado a 120 V con corriente alterna alimenta en paralelo las siguientes cargas:

Alumbrado 890 W
Carga inductiva de 1200 VA con factor de potencia de 0.85
Carga resistiva de 1000 W.

Calcular la corriente que debe suministrar la fuente.

2. Calcular el número de circuitos derivados de 15 amperios que se necesitan para alimentar una carga de 9000 W a 120 V.
3. Determinar la caída de voltaje que se produce en una carga compuesta por un motor monofásico de 1 HP a 120 V y $fp = 0.85$ y una carga resistiva de 1000 W alimentado por una corrida de cable de 50 metros con cable #12 AWG.
4. Calcular la resistencia para un RTD PT100 para una temperatura de 373K.
5. Diseñar un amplificador no inversor con ganancia 15.
6. Diseñar un amplificador de instrumentación con ganancia 120.
7. Realizar las siguientes transformaciones de unidades:

535000 Wmin a KWh
99000 Wsegundo a KWh

8. Un calentador tiene una resistencia de 50Ω , por la que circula una corriente de 2.1 amperios durante dos horas.
9. Un circuito alimentado a 120V con corriente alterna, alimenta en paralelo a los siguientes elementos:

1 lámpara de 100w
1 plancha de 1750w

10. Calcular el número de circuitos derivados de 15 amperios para alimentar una carga de 9000 W a 120 V.
11. Calcular el número de circuitos derivados para un conjunto de departamentos de 350 m² de área ocupada, que tiene una carga interna de alumbrado de 3000 W y 11 kW adicionales de carga para otros servicios como bomba de agua, alumbrado de pasillos y cuarto de lavado. Se usará alambre TW de cobre. Se considera que se pueden usar circuitos derivados de 15 A.
12. Calcular el alimentador para un departamento individual que consta de las siguientes cargas.
 - a. Alumbrado 500W.
 - b. Salida para lavadora de platos 350W a 120 V.

- c. Equipo de aire acondicionado de 15 A a 120V.
 - d. Equipo de calefacción de 2Kw a 120V.
13. Determinar la caída del voltaje que se produce en una carga compuesta por un motor monofásico de 1 HP a 120V, $fp = 0,89$ alimentado con una corrida de cable de 50 m, calibre #12 AWG.
14. En un proceso industrial para el control de caudal se tiene datos de medición cada 5 minutos, se desea conocer el valor más probable de caudal medido después de una hora de funcionamiento continuo para comprobar su funcionamiento.

Tiempo	Gal/min
5	10
10	10.38
15	10.92
20	10.4
25	10.18
30	10.88
35	10.82
40	10.4
45	9.63
50	9.9
55	9.87
60	9.5

15. Convertir 120 °C a °F.
16. Convertir 400 K a °C.
17. En una determinada instalación eléctrica se necesita un conductor eléctrico que debe ser capaz de conducir 37.5 A, que conductor de la norma AWG se debería poner.
18. Calcular la resistencia para un RTD PT100 para una temperatura de 400 K.
19. Calcular la resistencia para un RTD PT100 para una temperatura de 400 F

SOLUCIONARIO

Ejercicio 1:

La corriente que debe suministrar la fuente es de 24.78 amperios.

Ejercicio 2:

Se necesitan 5 circuitos derivados.

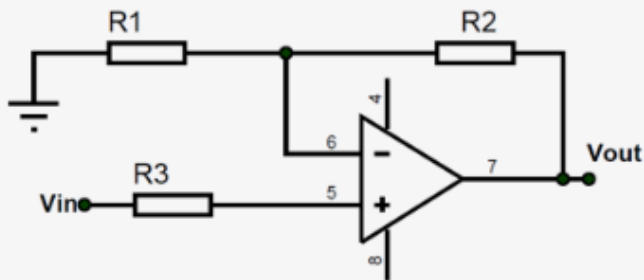
Ejercicio 3:

La caída de voltaje que se da es de 9.08 voltios.

Ejercicio 4:

La resistencia de la RTD es 148.84 Ω

Ejercicio 5:



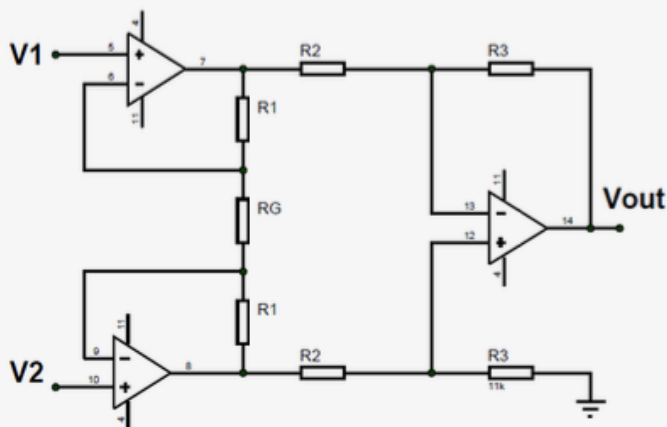
$R1 = 10 \text{ K}\Omega$

$R2 = 140 \text{ K}\Omega$

$R3 = 10 \text{ K}\Omega$

Nota: Es una de las soluciones existentes.

Ejercicio 6:



$R1 = 10 \text{ K}\Omega$

$R2 = 10 \text{ K}\Omega$

$R3 = 200 \text{ K}\Omega$

$Rg = 4 \text{ K}\Omega$

Nota: Es una de las soluciones existentes.

Ejercicio 7:

- a. 8.9167 Kwh
- b. 0.275 Kwh

Ejercicio 8:

441 Wh

Ejercicio 9:

15.42 A

Ejercicio 10:

5 circuitos

Ejercicio 11:

9 circuitos

Ejercicio 12:

10 AWG

Ejercicio 13:

3.5%

Ejercicio 14:

10.24 ±0.308 Gal/min

Ejercicio 15:

248 °F

Ejercicio 16:

126.85 °C

Ejercicio 17:

Conductor #8 AWG

Ejercicio 18:

148.84 Ω

Ejercicio 19:

178.71 Ω

GLOSARIO

AWG: Calibre de alambre estadounidense, es un estándar de clasificación de diámetros de alambre.

Caída de voltaje: Se define como la diferencia de voltaje entre dos puntos de una línea eléctrica, se mide en voltios y es función de la longitud del conductor, a mayor distancia de la fuente hay mayor caída de voltaje.

Circuito derivado: Se define como el conjunto de conductores y elementos del circuito que se extienden desde la última protección contra sobre corriente hasta la salida de las cargas.

Factor de potencia: Es la relación entre la potencia activa o útil respecto a la potencia aparente.

EMI: interferencia electromagnética (EMI) es una perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico que causada por una fuente de radiación electromagnética interna o externa.

Fem: la fuerza electromotriz fem es toda aquella capaz de mantener una diferencia de potencial (voltaje) en dos puntos de un circuito abierto o producir una corriente en un circuito cerrado.

Amplificador operacional: es un dispositivo que está constituido de transistores y resistencias, es un circuito muy utilizado para la amplificación de señales, combinación, diferenciación e integración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bratu, N. & Campero, E. (1995). *Manual de instalaciones eléctricas*, México: Alfaomega.
- Creus, A. (2008). *Instrumentación Industrial*, Barcelona: Marcombo
- Enríquez, G. (1996). *El abc de las instalaciones eléctricas residenciales*, México: Limusa.
- Enríquez, G. (2004). *Manual práctico de instalaciones eléctricas*, México: Limusa.
- Lago, A., Mandado, E. & Mariño P. (1995). *Instrumentación electrónica*, Barcelona: Marcombo.
- Morris, A. (2002). *Principios de mediciones e instrumentación*, México: Pearson Educación.
- Nilsson, J., & Riedel S. (2006). *Circuitos eléctricos*, Madrid: Prentice Hall.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (2018), NEC - SB - IE.

GUÍA

de instalaciones
eléctricas e instrumentación

Esta guía de ejercicios prácticos para la carrera de electricidad del Instituto Superior Tecnológico “Vicente Fierro” y público en general tiene como finalidad ayudar al lector en su proceso de aprendizaje, específicamente en los cursos de instalaciones eléctricas e instrumentación.

Esta guía didáctica está compuesta de dos partes: la primera, en la que se aborda el tema de las instalaciones eléctricas, en la cual se mira un panorama completo para el dimensionamiento de los componentes de una instalación eléctrica.

Se inicia revisando los conceptos fundamentales de circuitos eléctricos en corriente alterna: voltaje, intensidad de corriente y potencia, los cuales son indispensables para más adelante ir topando temas más complejos, como por ejemplo la selección de conductores para alimentar una

determinada carga eléctrica en una instalación o analizar el factor de potencia de una instalación para luego corregirlo y así reducir la corriente que consume la instalación.

En la segunda parte de la guía se aborda la asignatura de instrumentación, que inicia su estudio con la revisión de los errores que se pueden dar al momento de realizar una medición de cualquier tipo de variable.

También en esta segunda parte se aborda los temas de medición de temperatura y presión que son de las variables que más se encuentran en los procesos industriales, desde una perspectiva de sub problemas en donde se parte de la estimación del rango de cambio de las variables a medir, de las condiciones físicas en las cuales se desarrollará la medición, del error máximo que puede permitir el proceso y de la señal de salida que da el transductor para luego abordar el tema de acondicionadores cuyo objetivo es transformar una señal en otra para su utilización por otros dispositivos.

Diego Antonio Romo Caicedo es ingeniero en electrónica y control, participante de varias jornadas de ingeniería eléctrica y electrónica, congresos, seminarios relacionados con la instrumentación y ganador de varios torneos de robótica a nivel nacional.

En el área laboral, ha trabajado como asistente en el área de sistemas de información del Centro Nacional de Control de la Energía, asistente del Laboratorio de Detección de Partículas y Radiación (LEOPARD) de la Universidad San Francisco de Quito, también como técnico instrumentista en el Bloque 15 CPF de Petroamazonas EP, docente en varios centros de capacitación para el ingreso a Universidades, Escuelas Politécnicas e Institutos Superiores, Analista TIC 1 en el GAD de la Provincia del Carchi, y en el Instituto Superior Tecnológico Vicente Fierro como Director de Vinculación con la Sociedad y actualmente como docente a tiempo completo y Coordinador Estratégico.

