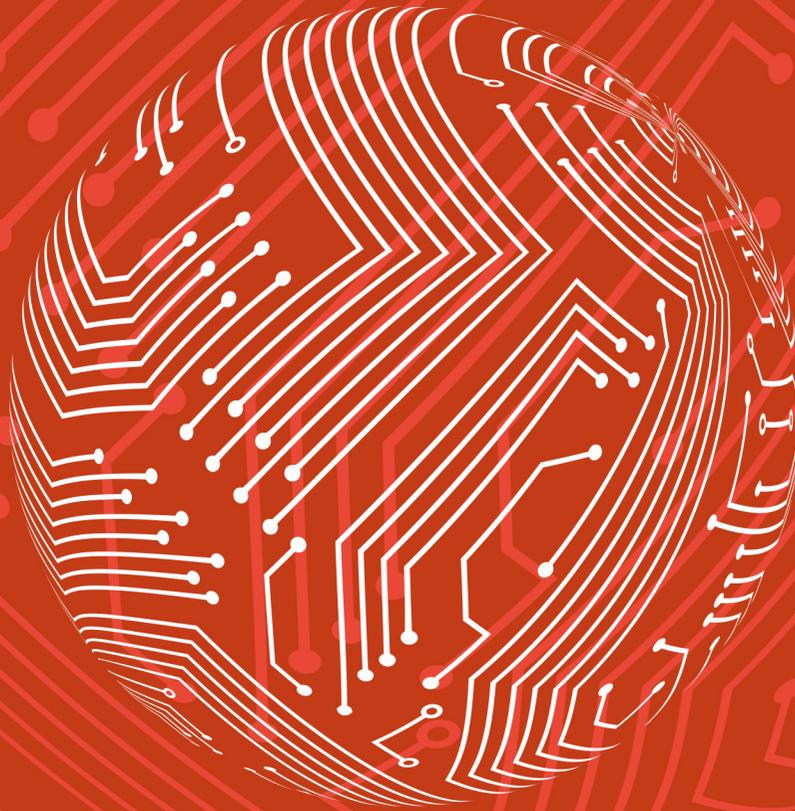




Institución
Universitaria

Introducción a la adquisición y acondicionamiento de señales



MARCELA VALLEJO VALENCIA • ALEXANDER ARIAS LONDOÑO

INTRODUCCIÓN A LA ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

INTRODUCCIÓN A LA ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Marcela Vallejo Valencia

Alexander Arias Londoño



Introducción a la adquisición y acondicionamiento de señales

© Instituto Tecnológico Metropolitano

Hechos todos los depósitos legales

Edición: febrero de 2022

ISBN: 978-958-5122-64-2 (Pdf)

Autores

Marcela Vallejo Valencia

Alexander Arias Londoño

Directora editorial

Juliana Cardona Quiros

Asistente editorial

Carlos Andrés González Sierra

Editor de mesa

Gustavo Otálvaro Ocampo

Correctora de textos

María Fernanda Aristizabal Arango

Diseño y diagramación

Mauricio Raigosa Álvarez

Comité editorial

Jorge Iván Brand Ortiz, PhD.

Gloria Mercedes Díaz Cabrera, PhD.

Juliana Cardona Quirós, Esp.

Jorge Iván Ríos Rivera, Ms.

Carlos Andrés González Sierra, Mg.

Vallejo Valencia, Marcela

Introducción a la adquisición y acondicionamiento de señales / Marcela Vallejo Valencia, Alexander Arias Londoño
-- Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2021.

269 p. -- (Teknik)

Incluye referencias bibliográficas

1. Adquisición de datos. 2. Sensores. III. Acondicionamiento de señales. 3. Amplificadores operacionales. 4. Ingeniería electrónica. I. Arias Londoño, Alexander II. Tít. III. Serie.

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM

Sello Fondo Editorial ITM

Calle 73 No. 76A 354 / Tel.: (574) 440 5100 ext. 5197-5382

Editado en Medellín, Colombia por el Instituto Tecnológico Metropolitano

catalogo.itm.edu.co - fondoeditorial.itm.edu.co

www.itm.edu.co

Este libro se inscribe en las grandes áreas de Ingeniería y Tecnología, en las áreas de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica, en las disciplinas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Robótica, Control Automático, Sistemas de Automatización, Sistemas de Control, Ingeniería de Sistemas y Comunicaciones, y Telecomunicaciones.

Las opiniones expresadas en el presente texto no representan la posición oficial del ITM, por lo tanto, es responsabilidad de los autores quienes son igualmente responsables de las citas realizadas y de la originalidad de su obra. En consecuencia, el ITM no será responsable ante terceros por el contenido técnico o ideológico expresado en el texto, ni asume responsabilidad alguna por las infracciones a las normas de propiedad intelectual.

CONTENIDO

PREFACIO	9
1. INTRODUCCIÓN	13
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ADQUISICIÓN DE DATOS	13
1.1.2. Sistemas de medición sin almacenamiento de información	15
1.1.3. Sistemas de medición con almacenamiento de información	16
1.1.4. Sistemas de control automático sin almacenamiento de información	17
1.1.5. Sistemas de control automático con almacenamiento de información	18
1.1.6. Sistemas IoT	20
1.2. <i>Sistemas de adquisición de datos comerciales</i>	21
1.2.1. NI-USB 6002	22
1.2.2. E820-DTU(212-433L)	22
1.3. <i>Algunos ejemplos de aplicación de sistemas de adquisición de datos</i>	23
2. INTRODUCCIÓN A LOS SENSORES	25
2.1. <i>Tipos de sensores</i>	26
2.1.1. Sensores resistivos.....	26
2.1.2. Sensores potenciométricos.....	26
2.1.3. Fotorresistencias	29
2.1.4. Termistores y RDT (Resistance Temperature Detector)	30
2.1.5. Galgas extensiométricas	32
2.2. <i>Sensores capacitivos</i>	33
2.2.1. Sensores capacitivos de proximidad	33
2.2.2. Sensores capacitivos táctiles	34
2.2.3. Acelerómetros capacitivos	36
2.3. <i>Sensores inductivos</i>	36
2.3.1. Sensor inductivo tipo NPN	37
2.3.2. Sensor inductivo tipo PNP.....	38
2.3.3. Sensor inductivo tipo ON-OFF.....	38
2.4. <i>Sensores piezoeléctricos</i>	39
2.5. <i>Termopares</i>	39
2.6. <i>Características de los sensores</i>	40
2.6.1. Campo de medida o rango	41
2.6.2. Margen, alcance o span	41
2.6.3. Sensibilidad	41
2.6.4. Resolución	41
2.6.5. No linealidad	42
2.6.6. Velocidad de respuesta	42
2.6.7. Exactitud	42
2.6.8. Precisión y repetibilidad.....	43
2.6.9. Histéresis	43
2.6.10. Otros aspectos	45

3. CONCEPTOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES.....	47
3.1. Recordando conceptos básicos: una introducción al amplificador operacional	47
3.1.1. Apariencia física, símbolo y terminales.....	48
3.1.2. ¿Qué hay dentro de ese circuito integrado que forma un amplificador operacional?	50
3.1.3. Modelo ideal del amplificador operacional	51
3.1.4. El amplificador en lazo abierto: su uso como comparador de señales	54
3.1.5. El amplificador operacional con realimentación negativa.....	55
3.1.6. El amplificador operacional en realimentación positiva.....	58
3.2. Un acercamiento al funcionamiento real del amplificador	58
3.2.1. La impedancia de entrada.....	59
3.2.2. La ganancia.....	59
3.2.3. El voltaje de polarización y el voltaje de saturación	59
3.2.4. El ancho de banda	60
3.2.5. La velocidad de cambio de la salida (slew rate).....	62
4. AMPLIFICADORES INVERSORES Y NO INVERSORES Y SEGUIDORES DE VOLTAJE	65
4.1. El amplificador inversor.....	65
4.2. El amplificador no inversor.....	71
4.3. Seguidores de voltaje	77
4.4. Caso de aplicación de circuitos amplificadores.....	80
4.4.1. Análisis del problema	81
4.4.2. Elección de la configuración, la ganancia y la polarización	81
4.4.3. Cálculo de los resistores.....	82
5. CAS: CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL CON FUENTE SIMPLE	85
5.1. Caso 1: $V_{OUT} = m V_{IN} + b$	86
5.1.1. Ejemplo de diseño del caso 1.....	88
5.2. Caso 2: $V_{OUT} = m V_{IN} - b$	91
5.2.1. Ejemplo de diseño del caso 2.....	93
5.3. Caso 3: $V_{OUT} = -m V_{IN} + b$	96
5.3.1. Ejemplo de diseño del caso 3.....	97
5.4. Caso 4: $V_{OUT} = -m V_{IN} - b$	100
5.4.1. Ejemplo de Diseño del caso 4	101
6. ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES RESISTIVOS.....	105
6.1. Acondicionamiento por divisor de tensión	105
6.1.1. Relación directa o inversa	106
6.1.2. Linealidad de la relación.....	107
6.1.3. Variación de la resistencia y variación del voltaje	108
6.1.4. Autocalentamiento para sensores de temperatura	110
6.2. Acondicionamiento por fuente de corriente constante	110
6.2.1. Linealidad de la relación.....	111
6.2.2. Limitaciones en el voltaje.....	112
6.2.3. Variación de la resistencia y variación del voltaje	115
6.3. Acondicionamiento por puente de Wheatstone.....	115
6.3.1. Linealidad de la relación.....	117
6.3.2. Escogencia de los valores de los resistores en un puente de Wheatstone.....	117
6.3.3. Relación directa o inversa	119
6.3.4. Puente de Wheatstone y amplificador de instrumentación.....	120

7. AMPLIFICADORES DIFERENCIALES Y DE INSTRUMENTACIÓN	122
7.1. Señales referenciadas a tierra señales en modo diferencial.....	122
7.2. Amplificadores diferenciales	124
7.3. Amplificador de instrumentación.....	127
7.4. Amplificadores de instrumentación y puente de Wheatstone.....	132
7.5. Amplificadores de instrumentación integrados.....	135
8. FILTROS ACTIVOS.....	139
8.1. Definiciones	140
8.1.1. Filtro activo.....	140
8.1.2. Función de transferencia de un filtro.....	140
8.1.3. Curva de respuesta de un filtro.....	141
8.1.4. Filtro pasa bajas (Low Pass Filter)	142
8.1.5. Filtro pasa altas (High Pass Filter)	143
8.1.6. Filtro pasa banda (Band Pass Filter)	144
8.1.7. Filtro rechaza banda (Band Stop Filter)	145
8.1.8. Frecuencias de corte, frecuencia central, ancho de banda y factor de calidad	145
8.2. Respuestas de los filtros según la aproximación matemática.....	146
8.3.1. Filtro activo pasa bajas de primer orden (LPF)	152
8.3.2. Filtro Activo pasa altas de primer orden (HPF).....	153
8.3.3. Filtro activo pasa banda de primer orden (BPF)	155
8.3.4. Filtro activo rechaza banda con filtros de primer orden (SBF).....	157
8.4. Filtros Activos de segundo orden arquitectura Sallen-and-Key.....	159
8.4.1. Filtro activo pasa bajas Sallen-and-Key (LPF).....	161
8.4.2. Filtro activo pasa altas Sallen-and-Key (HPF).....	167
8.4.3. Filtro activo pasa banda Sallen-and-Key (BPF).....	170
8.5. Filtros activos de segundo orden arquitectura. Multiple-Feedback (MFB).....	173
8.5.1. Filtro activo pasa bajas MFB (LPF).....	173
8.5.2. Filtro activo pasa altas MFB (HPF).....	176
8.5.3. Filtro activo pasa banda MFB (BPF)	178
8.6. Filtro activo rechaza banda topología Bainter (SBF)	181
9. ADQUISICIÓN DE DATOS CON UN MICROCONTROLADOR	185
9.1. El conversor análogo digital y su papel en el sistema de adquisición de datos	185
9.1.1. Funcionamiento de un conversor análogo digital	186
9.2. Ejemplo de diseño	190
9.2.1. Programación del dispositivo	192
9.2.2. Visualización e interpretación de la información	195
9.2.3. Adición de una alarma a la programación	202
9.2.4. Velocidad de muestreo y visualización de la información	204
10. ADQUISICIÓN DE DATOS USANDO LABVIEW	207
10.1. La comunicación serial	207
10.1.1. Líneas de comunicación	208
10.1.2. Trama de datos	208
10.1.3. Velocidad en baudios	209
10.2. Manejo del serial en LabView	209
10.2.1. Lectura básica del puerto serial	210
10.2.2. Manejo del serial por eventos	221

10.2.3. Recepción de varias variables al mismo tiempo	225
10.2.4. Guardado de datos.....	227
11. ANEXO 1. COMPARADORES Y DETECTORES DE CRUCE.....	232
<i>11.1. Comparadores de voltaje.....</i>	<i>232</i>
11.1.1. Detector de cruce por cero	236
11.1.2. Detector inversor de cruce por cero.....	237
11.1.3. Detector de nivel no inversor	238
11.1.4. Detector de nivel inversor.....	239
<i>11.2. Comparadores con histéresis</i>	<i>241</i>
11.2.1. Detector de nivel no inversor con histéresis	244
11.2.2. Detector de nivel inversor con histéresis.....	247
11.2.3. Utilidad de los compradores con histéresis	250
GLOSARIO.....	254
REFERENCIAS	257
LISTA DE FIGURAS	260
BIOGRAFÍAS	269

PREFACIO

Estamos en un momento de la historia en el que la tecnología se desarrolla y avanza en forma vertiginosa, impactando todos los sectores de la sociedad y, por supuesto, de la industria. Los sistemas automáticos están presentes cada vez con más fuerza en los procesos productivos y ya se dice que estamos en medio de una cuarta revolución industrial, que tiende al desarrollo de lo que se han denominado fábricas inteligentes, donde tecnologías como el internet de las cosas (*Internet of Things, [IOT]*) permiten el desarrollo de sistemas altamente complejos e interconectados que entran a cambiar las formas de producción como las hemos conocido.

En este contexto, los sistemas de adquisición de datos juegan un papel fundamental, puesto que constituyen un eslabón en esta cadena de interconexión que permite a los sistemas de automatización conocer la información de lo que está sucediendo dentro de un proceso, mediante la medición y captura de variables importantes.

El presente libro busca introducir a los sistemas de adquisición de datos, abordando de manera general sus principales componentes: sensores, circuitos para el acondicionamiento de la señal, conversores análogo-digitales e interfaces de visualización y almacenamiento de datos. Se hace especial énfasis en la etapa del acondicionamiento de la señal, por lo cual se tendrá un 60 % de los capítulos del libro dedicados a este tema. El principal componente estudiado en esta etapa de acondicionamiento es el amplificador operacional.

El material que contiene este texto se ha pensado como guía para un curso de sistemas de adquisición de datos del programa de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), de igual forma puede ser usado en cualquier curso sobre esta temática, además de aquellos concentrados en la etapa de acondicionamiento de la señal. También es ideal para el estudio del amplificador operacional, ya que este dispositivo se aborda ampliamente en este libro.

Se asume que los lectores deben tener una formación básica en análisis de circuitos para comprender los temas que se exponen. Estos conocimientos son los que normalmente los estudiantes adquieren en cursos introductorios de circuitos eléctricos y electrónica analógica.

En este libro se trabajan en cinco fases fundamentales. En el *Capítulo 1* se inicia con una introducción a los sistemas de adquisición de datos, mostrando sus características, tipos y aplicaciones en diferentes procesos. En el *Capítulo 2* se realiza una introducción a los sensores como elementos fundamentales para capturar la información de las variables de un proceso. Se definen diferentes tipos de sensores: resistivos, capacitivos, piezoeléctricos

y termopares. Además, se muestran y describen las características más importantes a la hora de elegir un sensor para una aplicación determinada.

En los capítulos 3 al 8 y en el *Anexo 1* se hace énfasis en la etapa de acondicionamiento de señales entregadas por los sensores, esto es, la adaptación de la señal de un sensor para que sea entendida por un sistema embebido, microcontrolador u otro dispositivo de procesamiento. El *Capítulo 3* hace una introducción a los amplificadores operacionales, que son elementos fundamentales en el acondicionamiento de la señal. Se asume que los lectores ya tienen conocimientos básicos de circuitos eléctricos y electrónica analógica.

Por su parte, el *Capítulo 4* se concentra en algunos de los circuitos más utilizados para acondicionamiento: amplificadores y seguidores de voltaje. Se asume que el lector ya ha interiorizado la información contenida en el *Capítulo 3*, o tiene estos conocimientos previamente. Los circuitos para realizar una transformación lineal de una señal de voltaje se tratarán en el *Capítulo 5*. Para comprender este capítulo se requieren conocimientos del funcionamiento del amplificador operacional, que se han abordado en los capítulos anteriores.

En el *Capítulo 6* se trabaja el acondicionamiento de sensores resistivos, que son el tipo de sensores que más comúnmente se encuentra sin un acondicionamiento integrado. Para la comprensión de este capítulo se requieren conocimientos básicos de circuitos eléctricos. En el *Capítulo 7* se abordan los amplificadores diferenciales y de instrumentación, para lo cual será necesario haber estudiado los contenidos de los capítulos 3, 4 y 6. Nos adentraremos en el estudio de los filtros activos en el *Capítulo 8*, los cuales resultan muy útiles para el manejo de ruido y el manejo de las señales en dominios específicos de frecuencia. El enfoque de este capítulo se basa en el uso y diseño de los filtros, sin detenerse en el estudio teórico de las funciones de transferencia. El objetivo es dar a los lectores una introducción que les permita elegir una configuración de filtro activo, entender sus características e implementarlos, pero no se busca un estudio profundo de la teoría de filtros. Se asume que los lectores ya tienen un conocimiento básico de filtros pasivos.

En el *Capítulo 9* se aborda el proceso de digitalización de los datos provenientes de los sensores, para llevarlos al sistema de procesamiento, almacenamiento y visualización. El libro propone este tema desde el uso de Arduino, dado que es un elemento de fácil consecución con el que los estudiantes pueden proponer sistemas de adquisición propios. Se abarca la explicación de los conversores análogo-digitales y la programación necesaria para hacer la adquisición de una señal análoga y enviarla a un computador vía serial. También se aborda de forma breve la interpretación de la información digitalizada. No se ha abordado en este texto el uso de tarjetas de adquisición de datos específicas, ya que existe una gran variedad de marcas y referencias.

Por último, en el *Capítulo 10* se estudia el diseño de una interfaz para la visualización y el almacenamiento de datos, utilizando el lenguaje de programación gráfica LabView. De forma adicional, en el *Anexo 1* se abordan los comparadores de voltaje, incluyendo tanto los comparadores básicos como los que tienen histéresis.

En la mayoría de los capítulos se presentan simulaciones de circuitos, realizadas con Partsim, un simulador de circuitos en línea, marca perteneciente a la compañía Aspecore (Aspecore, 2012). También, en el *Capítulo 8* se presentan algunas simulaciones la herramienta de diseño de filtros del software en línea Webench de Texas Instruments (Texas Instruments, n.d.).

Se espera que este libro ofrezca al lector un panorama general de los sistemas de adquisición de datos, dando elementos para que pueda diseñar de forma completa un sistema de adquisición de datos desde la elección del sensor hasta el diseño de la interfaz de usuario. Dado que la adquisición de datos es un componente que resulta transversal a muchos tipos de desarrollos tecnológicos, los autores de este libro creemos que resulta una herramienta muy útil como iniciación en la formación de estudiantes en competencias investigativas en el área de la ingeniería.

Invitamos a los lectores de este libro que hagan parte de la comunidad universitaria ITM a conocer y participar en algunos de los semilleros de investigación de la institución, para enriquecer su proceso de formación. Algunos de los semilleros en los que estudiantes interesados en la adquisición de datos pueden participar son: Iniciación de Mecatrónica y Electromecánica, Modelamiento Matemático y Cómputo Científico (MMCC), Eficiencia Energética, PLC, Microrredes y Energías Renovables SIMER, Tecnologías de Apoyo a la Inclusión, Automática y Sistemas de Control y Robótica. En cada caso, pueden consultar cuál es el docente encargado. El profesor Alexander Arias dirige el semillero MMCC, (Modelamiento Matemático y Computo Científico), y cualquier estudiante puede contactarse con él para integrar a su semillero.

1. INTRODUCCIÓN

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el estudio, monitoreo o control de cualquier sistema físico es indispensable obtener datos de su dinámica de funcionamiento, lo cual suele hacerse mediante el uso de sensores para la medición de variables relevantes. Sin embargo, el proceso de medición aislado no es suficiente, por lo que entran en juego los llamados sistemas de adquisición de datos.

Un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) es un conjunto de elementos que permiten la medición de variables de un proceso físico y el muestreo y digitalización de esta información, de tal manera que es llevada a un computador u otro dispositivo digital donde puede ser desplegada, procesada o almacenada (Weik, 2001) (Emilio, 2013).

Este tipo de sistemas es usado ampliamente tanto en la industria, donde el objetivo suele ser el monitoreo o control de una variable, o en la implementación del método científico, donde la recopilación y análisis de datos juegan un papel importante en la realización de experimentos que quieren demostrar una hipótesis.

En la *Figura 1.1.* se muestra la estructura general de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD). Empezamos por un proceso físico que queremos estudiar o controlar, el cual puede ser cualquier fenómeno o proceso del mundo. Para medir las variables de interés tenemos los sensores, que son el primer punto de un SAD y que en la actualidad suelen basar su funcionamiento en el manejo de variables eléctricas como resistencia, capacitancia, inductancia, etc. Estos sensores normalmente requieren de un circuito de acondicionamiento de señal que se encarga de hacer una transformación de la variable eléctrica específica usada por cada sensor a voltaje. Luego, las señales transformadas son digitalizadas, lo cual suele hacerse mediante una tarjeta de adquisición de datos que toma la información arrojada por los sensores y permite la comunicación con pantallas, *displays*, computadores, *laptops*, celulares o con la web. Los sistemas de adquisición pueden permitir la conexión con sistemas de guardado estático, el cual puede ser un archivo o una base de datos (Park & Mackay, 2003).

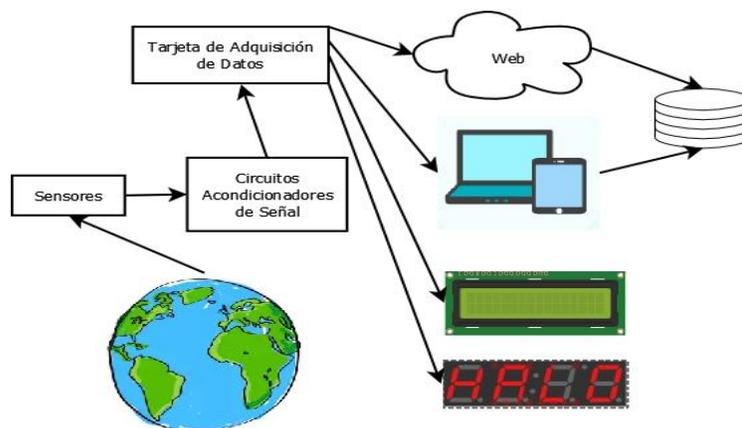


Figura 1.1. Estructura general de un sistema de adquisición de datos

Fuente: elaboración propia.

*En adelante, y a menos que se indique lo contrario, todas las figuras son de elaboración propia.

1.1. Clasificación de los sistemas de adquisición de datos

En la industria y la vida cotidiana encontramos diferentes tipos de sistemas para la recolección de datos y para el despliegue de información a partir de sensores. En este libro proponemos la siguiente clasificación de los SAD: sistemas de alerta, sistemas de medición sin almacenamiento de información, sistemas de medición con almacenamiento de información, sistemas de control automático sin almacenamiento de información, sistemas de control automático con almacenamiento de información y sistemas IoT (*Internet of Things*). Cada uno de ellos se explica a continuación con un ejemplo de uso.

1.1.1. Sistemas de alerta

Los sistemas de alerta son SAD cuando los dispositivos de censado miden continuamente alguna variable y comparan el valor adquirido con un valor programado que, al ser sobrepasado, activa un sistema visual o de sonido que indica que puede existir un peligro, por ejemplo: peligro de incendio, peligro de sobrecalentamiento, peligro de exceso de velocidad.

Un sistema de detección de incendios se ve comúnmente en edificios, suele constar de sensores de humo o gases, alarmas visuales y sonoras y, adicionalmente, accionamientos manuales para la alarma. Los sensores, a los cuales se les conoce como detectores de humo, se muestran en la *Figura 1.2a*. El sistema tiene un accionamiento manual representado por un cuadrado rojo en la y mostrado en detalle en *Figura 1.2b*. La alarma visual y sonora se muestra en la *Figura 1.2c*. En la *Figura 1.2d*. se muestra el sistema de alarma y accionamiento juntos.

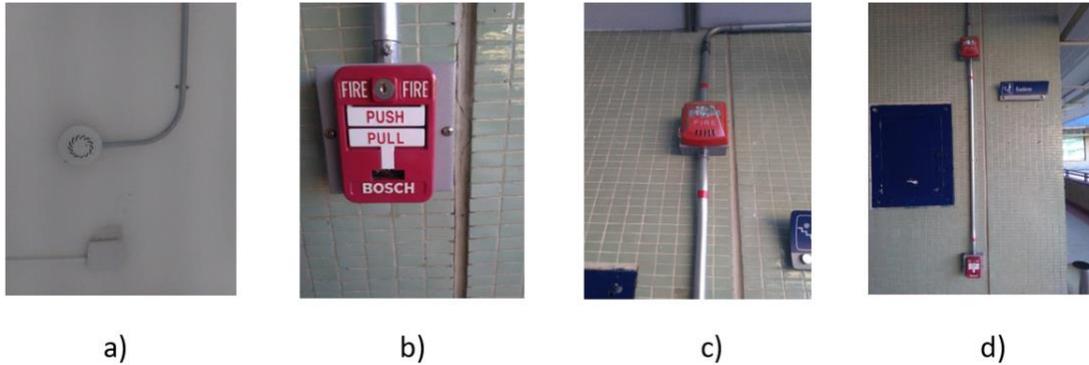


Figura 1.2. Componentes básicos de un sistema de alerta: a) sensor, b) sistema de accionamiento manual, c) sistema de alerta visual y sonoro, d) sistema de alerta y accionamiento

1.1.2. Sistemas de medición sin almacenamiento de información

Los sistemas de medición sin almacenamiento de información son que miden continuamente la variable de interés y tienen paneles de visualización de fácil comprensión para las personas, que les ayuden en la toma de decisiones a la hora de maniobrar el sistema. Un ejemplo de un sistema de medición conocido es el panel de instrumentos de un automóvil como el de la Figura 1.3. En este se pueden encontrar velocímetro, odómetro, medidor de revoluciones, medidor de temperatura del motor, la medición de velocidad, revoluciones y medidor de nivel de gasolina.



Figura 1.3. Panel de Instrumentos de un Automóvil. Fuente: Pxhere. <https://pxhere.com/es/photo/728005>

1.1.3. Sistemas de medición con almacenamiento de información

Son sistemas en los cuales se almacena la información de los sensores del proceso, además de medir continuamente una variable. Un ejemplo es el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle del Aburrá (SIATA). Es un proyecto de ciencia y tecnología del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín, que funciona desde el año 2010.

Este sistema mide variables relacionadas con condiciones ambientales y con la calidad del aire e identifica y pronostica la ocurrencia de fenómenos naturales y antrópicos que alteren las condiciones ambientales de la región. El monitoreo se realiza en tiempo real y es orientado a la modelación hidrológica y meteorológica ajustada al territorio de la ciudad, para lo cual es necesario que los datos sean almacenados para su posterior análisis. Una imagen del estado de los sensores de la ciudad en la primera semana de febrero de 2020 se muestra en la *Figura 1.4*. En esta imagen se ve que todas las estaciones meteorológicas están en amarillo y esto alerta a las directivas de Medellín a tomar medidas para la segunda semana de febrero sobre el pico y placa ambiental, lo cual generalmente se realizaba para la tercera semana de febrero.

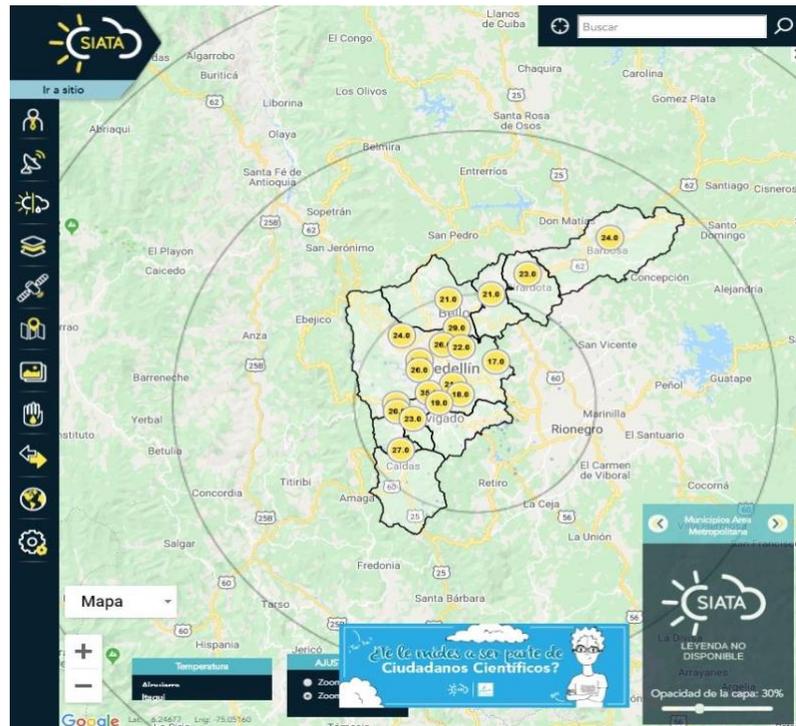


Figura 1.4. Sistema de Información SIATA

Fuente: Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. <https://siata.gov.co/>

El SIATA es un sistema de adquisición complejo, pues maneja una gran cantidad de variables. La red de sensores y monitoreo del SIATA se puede encontrar en la página: https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/monitoreo. En la *Figura 1.5.*, se muestran algunos de los principales sensores que usa este sistema.

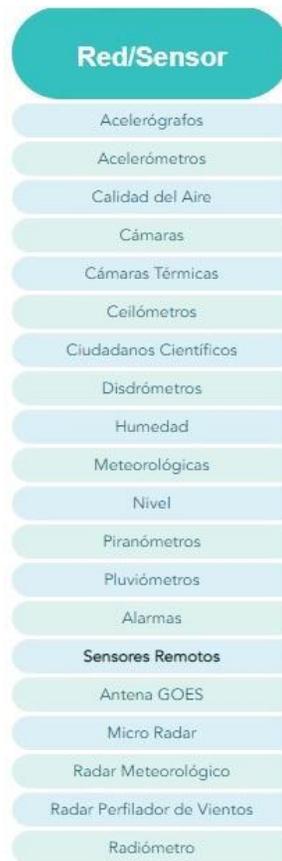


Figura 1.5. Redes de Sensores del SIATA

Fuente: Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/

1.1.4. Sistemas de control automático sin almacenamiento de información

En la industria existen procesos que no requieren el almacenamiento de información proveniente de los sensores, dado que esta es utilizada directamente para hacer un control del proceso. En estos sistemas, las actividades pueden ser monitoreadas por operarios, pero el control de proceso es automático y basado en la información medida. Un ejemplo de este tipo de sistemas es un horno industrial, el cual tiene control de tiempo y de temperatura.

Los sistemas automáticos de control generalmente tienen controladores como los que se muestra en la *Figura 1.6*. (Omega, n.d.), si bien existe una gran variedad de este tipo de dispositivos. Los controladores están diseñados para la fácil manipulación y el buen despliegue de datos.



Figura 1.6. Control de tiempo y temperatura

Fuente: Bulletin E-90-OCN: Series CN7200, CN7600, CN7800, CN7500 Microprocessor Based Temperature Process Control. https://es.omega.com/pptst/CN7200_SERIES.html

Todo controlador necesita un sensor que permita conocer el valor de la variable a controlar, un sensor típico para temperatura es el termopar, como el que se muestra en la *Figura 1.7*. (Tei ingeniería, n.d.).

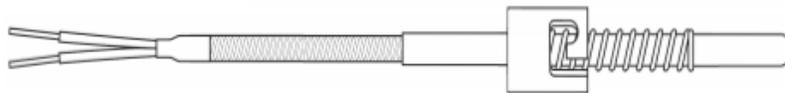


Figura 1.7. Termopar

Fuente: Ficha técnica termopares tipo bayoneta. Tei ingeniería.
<http://www.teii.com.mx/Termopares/TermoparesConexionBayonetaTB-Series.pdf>

1.1.5. Sistemas de control automático con almacenamiento de información

En este tipo de sistemas se combinan las capacidades de sensado, control y almacenamiento de la información.

Como ejemplo analizaremos la nave espacial CST-100 Starliner de Boeing, la cual se lanzó desde la Estación Espacial Internacional en la Estación de la Fuerza Aérea de Cabo Cañaveral y se muestra en la *Figura1.8*. Este lanzamiento realizó un vuelo de prueba orbital sin tripulación de la NASA, ello con miras hacia los vuelos orbitales tripulados.

En la noticia de su lanzamiento, la NASA reporta que:

La prueba de vuelo sin tripulación, programada para lanzarse el 17 de diciembre de 2019, proporcionará datos valiosos sobre el rendimiento de extremo a extremo del cohete Atlas V, la nave espacial Starliner y los sistemas terrestres, así como las operaciones en órbita, atraque y aterrizaje. Los datos se utilizarán como parte del proceso de la NASA para certificar el sistema de transporte de la tripulación de Boeing para transportar astronautas hacia y desde la Estación Espacial.¹

En este proyecto se hace necesario almacenar la información recolectada por los sensores, todo ello para poder hacer operaciones de control de vuelo en órbita, atraque y aterrizaje de la nave espacial. Así como este proyecto, muchos sistemas de la industria requieren que se haga un proceso de almacenamiento de la información para llevarle una hoja de vida a las máquinas y así poder hacer un control del proceso y de futuros mantenimientos.



Figura1.8. Nave espacial CST-100

Fuente: Nasa Kenedy <https://www.flickr.com/photos/nasakennedy>

¹ La nave espacial CST-100 Starliner de Boeing fue instalada sobre un Atlas V.
<https://www.lanasa.net/noticias/spaceflight/la-nave-espacial-cst-100-starliner-de-boeing-fue-instalada-sobre-un-atlas-v>

La plataforma Starliner fue asegurada encima de un cohete Atlas V de United Launch Alliance para la prueba de vuelo a la Estación Espacial como se muestra en la *Figura 1.9*.



Figura 1.9. Plataforma Starliner con Cohete Atlas V
Fuente: <https://www.flickr.com/photos/nasakennedy>

1.1.6. Sistemas IoT

Internet de las Cosas o IoT (por sus siglas en inglés *Internet of Things*) se define como un dominio que integra diferentes tecnologías y campos sociales. Son sistemas que pueden ser de pequeña escala hasta escala global (Tsiatsis et al., 2018). El IoT habilita tecnologías desde el bajo hasta el alto nivel, donde generalmente se tienen unas interfaces de programación o APIs llamadas *middleware*.

Puede definirse IoT como la interconexión de diferentes dispositivos y objetos por medio de una red privada o internet, de manera que pueden interactuar y ser manejados desde un servidor. Los dispositivos van desde sensores y elementos mecánicos, hasta objetos cotidianos como pueden ser la nevera o la ropa. Las cosas interactúan sin necesidad de la intervención humana, en lo que se conoce como interacción de máquina a máquina o M2M (*machine to machine*).

Si bien el IoT es un tema relativamente nuevo en algunos contextos, en Colombia se viene trabajando ya hace años y una muestra de esto es que existen empresas constituidas que trabajan en el tema. Algunas empresas que trabajan en IoT se muestran en la *Tabla 1.1*.

Tabla 1.1. Algunas de las empresas de IoT en Colombia*

Empresa	Características
Ubidots https://ubidots.com/ Medellín, Colombia	IoT en agricultura, edificios, salud, el hogar, manufactura, <i>smart cities</i>
Bismark http://www.bismark.net.co/iot Bogotá, Colombia	Integra IoT con analítica de datos
Telemetrik https://telemetrik.co/ Medellín, Colombia	Medición de acueductos municipales, medición planta concretera, medición de nivel y temperatura en tanques con aceite crudo de palma, medición de temperatura y humedad en tiempo real para la Cruz Roja de Colombia

Fuente: elaboración propia.

*En adelante, y a menos que se indique lo contrario, todas las tablas son de elaboración propia.

1.2. Sistemas de adquisición de datos comerciales

Estos sistemas se basan principalmente en tarjetas de adquisición de datos (DAQ), las cuales consisten básicamente en un dispositivo diseñado de forma específica para la recepción y digitalización de señales provenientes de sensores y su comunicación con dispositivos de despliegue, almacenamiento o control. Así, usualmente una tarjeta de adquisición de datos cuenta con una serie de entradas (tanto analógicas como digitales) y un medio de comunicación, ya sea mediante protocolo PCI, PXI, Ethernet, USB, u otro. Estas tarjetas o módulos pueden ser para montaje en panel industrial, externas y portables.

Para una mejor ilustración, en esta sección mostraremos dos tarjetas de adquisición de datos comerciales: la NI-USB 6002 y la E820-DTU. Sin embargo, cabe aclarar que existe una amplia variedad de dispositivos de este tipo en el mercado.

1.2.1. NI-USB 6002

Es una tarjeta de adquisición con conexión USB de entradas/salidas multifunción, 8 canales analógicos de entrada 16 Bits a 50 kS/s, 2 canales de salida analógicos de 5 kS/s/canal, 13 canales de entrada/salida digital, también tiene un contador de 32 bits. La *Figura 1.10.* muestra la tarjeta (National Instruments, n.d.).



Figura 1.10. Tarjeta DAQ NI-USB 6002
Fuente: NI USB-6001/6002/6003 Quick Start.
<https://www.ni.com/pdf/manuals/374376a.pdf>

1.2.2. E820-DTU(212-433L)

La tarjeta de adquisición E820-DTU tiene protocolos de comunicación Modbus de largo alcance a 433 MHz. Es un dispositivo de control remoto que admite el seguimiento, control y recolección de cantidades analógicas. Bajo el modo de control y recolección, es compatible con el protocolo Modbus RTU. Puede realizar medición y control inalámbrico remoto a través de la banda de 433MHz. La tarjeta se muestra en la *Figura 1.11.* (Ebyte, n.d.).



Figura 1.11. DAQ E820-DTU(212-433L)
Fuente: E820-DTU User manual.
[http://es.ebyte-kr.net/uploads/201921823/E820-DTU\(212-433L\).pdf](http://es.ebyte-kr.net/uploads/201921823/E820-DTU(212-433L).pdf)

1.3. Algunos ejemplos de aplicación de sistemas de adquisición de datos

Una característica de los sistemas de adquisición de datos es que están presentes en contextos sumamente diversos, puesto que son aplicables en todas aquellas ocasiones en las que se desee obtener y registrar información de un proceso, lo cual es un elemento central de la mayoría los desarrollos tecnológicos actuales. En este orden de ideas, a continuación, mostramos algunos ejemplos de uso de adquisición de datos en contextos diversos: aplicaciones hospitalarias, monitoreo ambiental y prevención de desastres.

- **Monitoreo de señales biomédicas en unidades de cuidados intensivos:**
En las unidades de cuidados intensivos es sumamente importante que el registro de signos vitales y variables se haga en tiempo real y sea de fácil visualización para el personal médico, de manera que pueda reaccionar rápidamente ante algún evento crítico. En algunas unidades de cuidados intensivos, incluso, se encuentran estaciones de monitoreo en las que puede verse en forma simultánea la información de todos los pacientes atendidos. En Colombia ya se están utilizando este tipo de sistemas.²
- **Monitoreo de señales ambientales y prevención de desastres**
El uso de sistemas de adquisición de datos para monitoreo de variables ambientales está muy extendido en el mundo. En Medellín, como ya mencionamos antes, tenemos el Sistema de Alerta Temprana, SIATA. También, algunos sistemas se centran en variables relacionadas con posibles desastres, como el caso de la actividad sísmica y volcánica. Un ejemplo es el sitio <https://www.volcanodiscovery.com/>, en el cual pueden consultarse las actividades volcánica y sísmica de forma actualizada. Esta es una página del Dr. Tom Pfeiffer que busca contribuir como un sistema de alerta pública.

Es importante aclarar que estos son solo dos ejemplos de muchísimas posibles aplicaciones de la adquisición de datos.

² Hospital San Blas inaugura primera central de monitoreo de pacientes UCI. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/salud/inauguran-primera-central-de-monitoreo-de-pacientes-uci-en-bogota>

2. INTRODUCCIÓN A LOS SENSORES

Un sensor es un elemento o dispositivo capaz de reaccionar ante cambios en una determinada variable, usualmente, transformándolos en modificaciones sobre una segunda variable, la cual es más fácil de ser interpretada como un valor de medida.

Para entender mejor esta definición examinaremos un ejemplo: un termómetro de mercurio es un sensor que utiliza para su funcionamiento el hecho de que el mercurio se dilata con el aumento de temperatura. De esta forma, se tiene un sensor capaz de reaccionar ante los cambios en la temperatura, reflejándolos en variaciones en la altura que alcanza el mercurio en la columna en la cual está contenido. A través de esta segunda variable (altura) podemos «leer» o interpretar el valor de la temperatura en un momento dado. En la *Figura 2.1.* se puede ver un termómetro con una temperatura de, aproximadamente, 20° C.

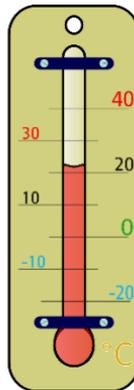


Figura 2.1. Termómetro de mercurio

Fuente: Pixabay.

<https://pixabay.com/es/vectors/term%C3%B3metro-celsius-clima-f%C3%ADsica-145891/>

Para el caso de este libro, en el que tratamos con sistemas de medida mediados por la electrónica, un sensor como el termómetro que acabamos de describir no es tan útil. En su lugar, nos interesan particularmente aquellos sensores en el que pueden «traducir» una determinada variable a medir en una variable de carácter eléctrico, como voltaje, resistencia o corriente, entre otros. Nos concentramos, por lo tanto, en sensores con estas características.

2.1. Tipos de sensores

Para explicar un poco más en detalle el funcionamiento de los sensores es de utilidad hacer alguna clasificación de estos. Sin embargo, es posible catalogar los sensores de acuerdo a diferentes criterios: la variable que miden (temperatura, presión, humedad, distancia, velocidad, etc.), la naturaleza de la variable de salida (digitales y analógicos) o el tipo de variable que se tiene a la salida (resistivos, capacitivos e inductivos) (Fraden, 2004). Este último criterio es de utilidad porque según la variable de salida varía la forma de uso del sensor y el acondicionamiento que él puede requerir. Por este motivo analizaremos esta última clasificación.

2.1.1. Sensores resistivos

Son aquellos en los que la variable a medir produce un cambio en la resistencia del elemento o material utilizado como sensor. Se basan en el hecho de que la resistencia de algunos materiales es fácilmente alterada por ciertos factores externos, como la temperatura, la cantidad de luz o la deformación a la que se expone el material. Vamos a analizar algunos de los principales tipos de sensores resistivos, tales como: potenciométricos, fotorresistencias, termistores, RDT y galgas extensiométricas.

El acondicionamiento de este tipo de sensores se estudiará más adelante en el *Capítulo 6*.

2.1.2. Sensores potenciométricos

Son aquellos en los que la resistencia del elemento varía con un movimiento físico. En la *Figura 2.2*. se ve un típico potenciómetro de rotación en el cual la resistencia entre la terminal central y las laterales varía según el ángulo de rotación de la perilla. Así, este elemento se podría utilizar como un sensor de ángulo de rotación.



Figura 2.2. Potenciómetro

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/Potentiometer#/media/File:Electronic-Component-Potentiometer.jpg>

Generalmente estos sensores están formados por una pista de un material resistivo sobre la cual se desliza un cursor como se ve en la *Figura 2.3*.

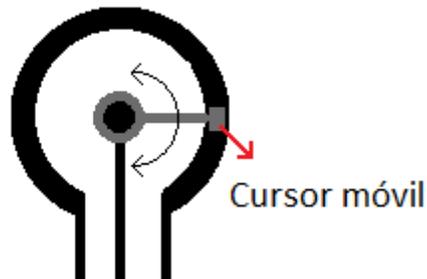


Figura 2.3. Estructura de un potenciómetro

Así, al mover el cursor, cambia la longitud de material entre la terminal del centro y cada una de las laterales y, por lo tanto, varía la resistencia. Esta construcción resulta en su mayor inconveniente: el rozamiento y movimiento mecánico los hace propensos al desgaste.

Un ejemplo del uso de este tipo de sensores es la medición de la posición de una válvula mariposa en un automóvil. Esta válvula es la que abre y cierra el paso de aire a los cilindros en un motor de combustión. Conocer su posición es importante para el control de la combustión y para determinarla se suele usar un sensor potenciométrico acoplado a ella, como el que se muestra en la *Figura 2.4*.



Figura 2.4. Válvula mariposa. En el extremo derecho se ve acoplado el sensor potenciométrico
Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Throttle_position_sensor#/media/File:Throttle_body.jpg

En la *Figura 2.5.* se ve la estructura interna de este sensor.



Figura 2.5. Izquierda: Sensor de posición de válvula mariposa
Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Throttle_position_sensor#/media/File:Throttle_position_sensor_-_2.jpg
Derecha: Pista de material resistivo y contacto deslizante.
Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Throttle_position_sensor#/media/File:Throttle_position_sensor_-_1.jpg

No todos los sensores potenciométricos son de rotación, porque también existen potenciómetros de movimiento lineal, como se ve en la *Figura 2.6.* con lo que puede medirse desplazamiento.