



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS
ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN
INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA**

Juan Diego Arias Rossa

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS
ELECTROMECÁNICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN
INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN DIEGO ARIAS ROSSA

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobar Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 24 de noviembre de 2017.

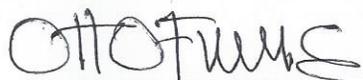


Juan Diego Arias Rossa

Guatemala 15 de mayo, 2019

Ingeniero Otto Fernando Andrino González
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente me permito informarle que he procedido a revisar el trabajo de graduación titulado **“ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”** elaborado por el estudiante Juan Diego Arias Rossa quien se identifica con el número de DPI 2848 82968 1802 y carnet 201403850. A su vez, quiero mencionar que el mismo cumple los objetivos trazados de acuerdo con el protocolo presentado, por lo que le doy por APROBADA. De tal manera, se solicita darle trámite correspondiente.



Atentamente

Ing. Otto Fernando Andrino González
Colegiado No.4038

Otto F. Andrino G.
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO # 4038



REF. EIME 25. 2019.

1 de MARZO 2019.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, del estudiante; Juan Diego Arias Rossa, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnica





REF. EIME 25. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de el estudiante: **JUAN DIEGO ARIAS ROSSA** titulado: **ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 20 DE MAYO 2019.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 323.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS TEMAS INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS, INSTRUMENTACIÓN Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, DEL CURSO INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **Juan Diego Arias Rossa,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la guía que estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas.
- Mi padre** Ángel Enrique Arias Recinos, quien a pesar de las adversidades me brindó en todo momento el apoyo necesario para seguir adelante.
- Mi madre** Ericka Julieta Rossa de Arias, quien, con sus consejos y paciencia, iluminó mi camino para llegar a cumplir una meta más.
- Mis hermanos** Luis Rodrigo y Ovidio Alejandro, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.
- Ustedes** Y a todas las personas que leerán solo está página de mi tesis preguntándose si se la dedique a ellos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la sabiduría y perseverancia necesaria para afrontar cualquier dificultad que se me presentara.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me acogió durante años y me dio las herramientas para pensar.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar donde mi carrera se hizo una realidad.
Mis padres	Ángel Enrique Arias y Ericka Julieta Rossa, por ser los promotores de que nunca me rinda y seguir adelante para cumplir mis objetivos.
Ing. Otto Andrino	Por compartir sus conocimientos sin ningún interés y prestarme su tiempo para lograr culminar este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XXI
GLOSARIO	XXIII
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXI
1. USO DE LAS TIC COMO HERRAMIENTAS DE VIRTUALIZACIÓN	1
1.1. Modelo constructivista	1
1.2. Características del aprendizaje constructivista	4
1.2.1. Construcción del conocimiento	5
1.2.2. Tareas auténticas	5
1.2.3. Entornos de aprendizaje	5
1.2.4. Fomento de la experiencia.....	5
1.2.5. Dependiente de la construcción.....	5
1.2.6. Construcción colaborativa	6
1.3. Implicaciones generales del constructivismo cognitivo.....	6
1.3.1. Proceso activo del aprendizaje	7
1.3.2. Proceso completo, auténtico y real.....	7
1.4. El modelo constructivista con las nuevas tecnologías.....	8
1.5. Características de las nuevas tecnologías	10
1.6. Integración del modelo constructivista con las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje	12

1.6.1.	Aplicaciones representativas de las nuevas tecnologías como herramientas del aprendizaje constructivista.....	14
1.6.1.1.	Aplicaciones dedicadas a información.....	14
1.6.1.2.	Blogs	17
1.6.1.2.1.	Responsabilidad y compromiso.....	17
1.6.1.2.2.	Comunicación	18
1.6.1.2.3.	Tecnología	18
1.6.1.2.4.	Mejora de habilidades de escritura	18
1.6.1.3.	Redes sociales	19
1.6.1.4.	Plataformas educativas virtuales.....	20
1.6.1.4.1.	Blackboard	20
1.6.1.4.2.	Moodle	21
1.6.1.4.3.	Edmodo.....	22
1.6.1.4.4.	Usumma.....	23
1.6.1.5.	MOOCS.....	24
1.6.1.5.1.	Miriada X	25
1.6.1.5.2.	Coursera	25
1.6.1.5.3.	EdX	26
1.6.1.5.4.	FutureLearn.....	26
1.7.	Fundamentos para un aprendizaje efectivo	27
1.8.	En resumen.....	28
2.	CONCEPTUALIZACIÓN DEL CURSO	31
2.1.	Introducción.....	31
2.2.	Instrumentos indicadores electromecánicos en CD	32

2.2.1.	Galvanómetro de suspensión	32
2.2.1.1.	Deflexión en estado estable.....	33
2.2.1.2.	Comportamiento dinámico	36
2.2.1.3.	Mecanismos de bobina-móvil e imán-permanente.....	37
2.2.1.3.1.	Movimiento de D'Arsonval	37
2.2.1.3.2.	Importancia de la construcción del núcleo-magnético	37
2.2.2.	Voltímetros de corriente directa	39
2.2.2.1.	Resistencia multiplicadora	39
2.2.2.2.	Voltímetro de rango múltiple	41
2.2.2.3.	Sensibilidad del voltímetro	42
2.2.2.3.1.	Régimen de ohms por volt.....	43
2.2.2.3.2.	Efecto de carga	43
2.2.3.	Amperímetros de corriente directa.....	45
2.2.3.1.	Resistor de derivación	45
2.2.3.2.	Derivación de Ayrton	48
2.2.4.	Óhmetro tipo serie	50
2.2.5.	Ohmímetro tipo derivación.....	54
2.2.6.	Vatímetro	57
2.2.7.	Factor de potencia	59
2.2.7.1.	Definición de potencia	59
2.2.7.2.	Tipos de potencia	60
2.2.7.2.1.	Potencia activa	60
2.2.7.2.2.	Potencia reactiva	61
2.2.7.2.3.	Potencia aparente	61

2.2.7.3.	Factor de potencia bajo	63
2.2.7.3.1.	Aumento en la corriente	64
2.2.7.3.2.	Aumento en la caída de tensión.....	64
2.2.7.4.	Conclusiones.....	66
2.3.	Instrumentación industrial básica y control de procesos	67
2.3.1.	Mediciones industriales con sensores	67
2.3.1.1.	Sensores moduladores.....	67
2.3.1.1.1.	Sensores resistivos	67
2.3.1.1.2.	Sensores capacitivos	71
2.3.1.1.3.	Sensores inductivos	76
2.3.1.1.4.	Sensores electromagnéticos	78
2.3.1.2.	Sensores generadores	79
2.3.1.2.1.	Termopar.....	79
2.3.1.2.2.	Tipos de termopar	80
2.3.1.2.3.	Sensores piezoeléctricos	85
2.3.1.2.4.	Sensores piroeléctricos	87
2.3.1.2.5.	Sensores fotovoltaicos	89
2.3.1.2.6.	Tipos de sensores fotovoltaicos	90
2.3.1.2.7.	Sensores electroquímicos	92
2.3.1.2.8.	Tipos de sensores electroquímicos	92

2.3.1.3.	Sensores digitales	94
2.3.1.3.1.	Tipos de sensores digitales	94
2.3.1.3.2.	Sensores ultrasónicos ..	95
2.3.1.3.3.	Funcionamiento de sensor ultrasónico	96
2.3.2.	Retroalimentación.....	97
2.3.2.1.	Cronología	98
2.3.2.2.	Realimentación en amplificadores	99
2.3.2.3.	Control por realimentación.....	99
2.3.2.4.	Ciclo del lazo	100
2.3.2.5.	Efectos.....	101
2.3.2.6.	Elementos.....	102
2.3.2.7.	Utilidad.....	104
2.3.2.8.	Tipos de sistemas.....	104
2.3.3.	Errores de calibración.....	105
2.3.3.1.	Instrumentos de medición y errores... ..	105
2.3.3.1.1.	Causas de errores de medición	106
2.3.3.1.2.	Errores debidos al instrumento de medida.....	106
2.3.3.1.3.	Errores debidos al operador	107
2.3.3.1.4.	Errores debidos a los factores ambientales ..	107
2.3.3.1.5.	Errores debidos a las tolerancias	

	geométricas de la propia pieza.....	108
2.3.3.2.	Clasificación de instrumentos de medición	109
2.3.3.2.1.	Instrumentos de medición directa	109
2.3.3.2.2.	Instrumentos analógicos	110
2.3.3.2.3.	Instrumentos digitales .	111
2.3.3.3.	Errores de paralaje	111
2.3.3.4.	Errores de escala	111
2.3.3.5.	Errores de proceso	111
2.3.3.6.	Errores de calibración	113
2.3.3.6.1.	Error por el uso de instrumentos no calibrados.....	114
2.3.4.	Servomotores	114
2.3.4.1.	El rol de un servo	114
2.3.4.2.	Tipos de servomotores	117
2.3.4.3.	Tipos de codificador	118
2.3.4.3.1.	Codificadores incrementales y codificadores absolutos.....	118
2.3.4.4.	Aplicaciones de los servomotores	119
2.3.4.4.1.	Control de transporte ..	120
2.3.4.4.2.	Aplicaciones de maquinaria de bobinado	121

	2.3.4.4.3.	Aplicaciones de productos alimentarios	123
	2.3.4.4.4.	Aplicaciones de ensamblaje de componentes electrónicos	124
	2.3.4.5.	Principios y estructuras de servo	125
	2.3.4.5.1.	Bucle de control de un servo.....	126
	2.3.4.5.2.	Modo de control de posición	127
	2.3.4.5.3.	Modo de control de velocidad	130
	2.3.4.5.4.	Modo de control de par de torsión.....	131
2.3.5.		Controladores lógicos programables (PLC)	132
	2.3.5.1.	Control de secuencia	132
	2.3.5.2.	Ventajas del control de secuencia	134
	2.3.5.3.	Control de secuencia básica.....	135
	2.3.5.3.1.	Control secuencial	135
	2.3.5.3.2.	Control de condiciones.....	136
	2.3.5.3.3.	Control de límite de tiempo y control de conteo.....	137
	2.3.5.4.	Visión general del PLC	138
	2.3.5.5.	Operación de un relé de entrada	140
	2.3.5.6.	Programa del PLC	143

2.3.5.7.	Contacto b en programa del PLC	145
2.3.5.8.	Temporizadores y contadores	146
2.3.5.8.1.	Temporizador (notación Tx: x representa un número).....	146
2.3.5.8.2.	Contador (notación Cx: x representa un número).....	147
2.3.5.9.	Razones de uso de los dispositivos PLC	151
2.3.5.9.1.	Reacción en tiempo real	151
2.3.5.9.2.	Alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo	151
2.3.5.9.3.	Lenguaje adecuado para el campo de control	151
2.3.5.9.4.	Resistencia al entorno.	151
2.3.5.9.5.	Conectividad mutua	152
2.3.5.9.6.	Compatibilidad	152
2.3.5.9.7.	Sistema de soporte mejorado	152
2.3.5.9.8.	Capacidad de expansión.....	152
2.3.6.	Interfaz de máquina humana (HMI).....	153
2.3.6.1.	El rol de una HMI.....	153

	2.3.6.1.1.	Aplicación como un panel de visualización de control.....	154
	2.3.6.1.2.	Aplicación como una terminal de control de información de producción.....	155
	2.3.6.1.3.	Aplicación como una terminal de datos de información.....	156
2.3.6.2.		Ventajas del uso de HMI.....	157
	2.3.6.2.1.	Relación de costo de una HMI con un equipo de modelo anterior	157
	2.3.6.2.2.	Diagrama de conexión de una HMI a un PLC .	158
2.3.7.		Red industrial.....	160
	2.3.7.1.	Transmisión de información.....	160
	2.3.7.2.	Red de información.....	160
	2.3.7.2.1.	Características de una red de información.....	161
	2.3.7.3.	Conceptualización de una red industrial	163
	2.3.7.3.1.	Intercambio de información dentro de una red industrial.....	164
	2.3.7.3.2.	Características de una red industrial	164

2.3.7.4.	Comparación entre una red de información y una red industrial.....	165
2.3.7.5.	Conceptos básicos de la comunicación en una red industrial	166
2.3.7.5.1.	Red PLC.....	166
2.3.7.6.	Comprensión de la red PLC	167
2.3.7.6.1.	Red que conecta los PLC de las maquinas individuales	167
2.3.7.6.2.	Características de una red PLC a PLC	168
2.3.7.6.3.	Transferencia de las señales de E/S de PLC con equipos remotos	169
2.3.7.6.4.	Red de señal de E/S de PLC.....	171
2.3.7.6.5.	Características de una red E/S remota	171
2.3.7.7.	Tendencias futuras en las redes industriales	171
2.3.7.7.1.	Fusión de la red industrial y de información.....	172
2.3.8.	Robots industriales.....	173
2.3.8.1.	El rol de un robot industrial.....	173
2.3.8.1.1.	Definición de un robot industrial.....	173

	2.3.8.1.2.	Ventajas del uso de robots industriales	174
	2.3.8.1.3.	Seguridad del robot industrial	175
2.3.8.2.		Tipos y utilización de métodos para robots industriales.....	176
	2.3.8.2.1.	Tipos de robots industriales	176
	2.3.8.2.2.	Modelos generales de robots industriales	177
2.3.8.3.		Estructura mecánica de un robot industrial	179
2.3.8.4.		Operación/programación	181
	2.3.8.4.1.	Configuración del robot industrial.....	181
	2.3.8.4.2.	Operación manual y operación mediante una consola de programación.....	182
	2.3.8.4.3.	Operaciones con base en lenguaje del robot..	183
	2.3.8.4.4.	Ejemplo de condiciones de programación para un robot de paletización ..	183
2.3.8.5.		Ejemplos de aplicaciones prácticas para robots industriales	186
	2.3.8.5.1.	Aplicación de paletización.....	187

	2.3.8.5.2.	Aplicación de entrega..	188
	2.3.8.5.3.	Aplicación de <i>tracking</i> de línea visual	189
	2.3.8.5.4.	Aplicación de vigilancia de la máquina	190
	2.3.8.5.5.	Aplicación de sala limpia.....	191
3.	EJEMPLIFICACIONES VIRTUALES		193
3.1.	Voltímetros en CD		193
3.2.	Amperímetros en DC.....		200
	3.2.1.	Ejemplo 2.2	203
3.3.	Ohmímetro		205
3.4.	Factor de potencia.....		209
3.5.	Corrección de factor de potencia		212
4.	AUTOEVALUACIONES		219
4.1.	Voltímetros en CD		219
4.2.	Amperímetros en DC.....		221
	4.2.1.	Autoevaluación 2.2	221
4.3.	Ohmímetro		222
4.4.	Factor de potencia.....		223
4.5.	Corrección de factor de potencia		223
	4.5.1.	Autoevaluación 5.2.....	224
CONCLUSIONES.....			225
RECOMENDACIONES			227
BIBLIOGRAFÍA.....			229

APÉNDICES	233
ANEXO	235

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Imagen ilustrativa de construcción colaborativa	6
2.	Modelo constructivista en conjunto con las nuevas tecnologías	9
3.	Redes sociales de gran impacto actualmente	27
4.	Detalles del proceso de construcción de un galvanómetro	33
5.	Detalles de la bobina móvil para un galvanómetro PMMC, se muestran los resortes de control y el indicador (aguja)	38
6.	Detalles de construcción de un mecanismo tipo bobina móvil de imán magnético	39
7.	Circuito de voltímetro básico de corriente directa	40
8.	Voltímetro multirango	41
9.	Modelo práctico de resistencias multiplicadoras en un voltímetro multirango	42
10.	Efecto de la carga en un voltímetro	45
11.	Circuito de un amperímetro básico de corriente directa	46
12.	Resistencia de derivador de alta corriente para instrumentos de tablero	47
13.	Diagrama esquemático de un amperímetro multirango simple	48
14.	Derivación universal o derivación de Ayrton	49
15.	Óhmetro tipo serie	50
16.	Ohmímetro tipo derivación	55
17.	Representación vectorial, para cargas; resistiva, inductiva y capacitiva	60
18.	Triangulo de potencias	62

19.	Diagrama de vectores.....	63
20.	Representación y correspondencia práctica de las potencias	65
21.	Sensor capacitivo con variación del área entre placas paralelas.....	73
22.	Sensor capacitivo con variación de la distancia entre placas paralelas	74
23.	Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas	74
24.	Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas	75
25.	Ilustración de un termopar	80
26.	Ilustración del procedimiento de construcción	83
27.	Funcionamiento de un sensor piezoeléctrico de presión	85
28.	Cambio en un sensor piroeléctrico al detectar movimiento.....	88
29.	Funcionamiento de la cámara de un sensor electroquímico.....	94
30.	Diagrama de funcionamiento de un sensor ultrasónico	97
31.	Ejemplificación de un control de retroalimentación	103
32.	Diagramas de calibración	113
33.	Ejemplificación de los tipos de control de un servomotor	115
34.	Proceso de funcionamiento de un servomotor.....	116
35.	Tipos de motores de servos.....	117
36.	Comparación de codificadores	119
37.	Ejemplos de uso de servomotores en el control de transporte	121
38.	Diagrama de un mecanismo típico de bobinado.....	122
39.	Ejemplos de mecanismos con servomotores en aplicaciones de bobinado	122
40.	Líneas de aplicación de servos en productos alimentarios.....	123
41.	Ejemplificación del uso de servos para ensamblaje.....	124
42.	Diagrama del funcionamiento de un servo.....	125

43.	Ejemplificación de la posición del objetivo para el control de posicionamiento	128
44.	Diagrama de las bases del control de posición	129
45.	Diagrama de aceleración y desaceleración de un servo	130
46.	Ejemplificación del modo de control de par de torsión	132
47.	Ejemplificación de un control de secuencia.....	133
48.	Diagrama de un control secuencial	136
49.	Diagrama de un control de condiciones	137
50.	Diagrama del control de límite de tiempo	138
51.	Diagrama de operación de relé de entrada	140
52.	Operación de relé de entrada: importación de operación de entrada	141
53.	Operación de relé de salida: ejecución de programa, salida externa.	142
54.	Expresión por diagrama en escalera del ejemplo 1	143
55.	Expresión por diagrama en escalera del ejemplo 2	144
56.	Expresión por diagrama en escalera de la combinación del programa del ejemplo 1 y 2.....	145
57.	Significado del contacto b en el programa de un PLC	146
58.	Ejemplificación del uso de un temporizador	147
59.	Ejemplificación del uso de un temporizador	148
60.	Iniciación de la auto retención.....	149
61.	Continuación de la auto retención.....	150
62.	Realización por el comando SET/RST	150
63.	Proceso de aplicación como un panel de visualización de control.....	154
64.	Diagrama de aplicación como una terminal de control de información de producción	155
65.	Diagrama de aplicación como una terminal de datos de información	156
66.	Relación de costo de una HMI con un equipo de modelo anterior	158
67.	Configuración del sistema durante el desarrollo del producto.....	159
68.	Apariencia de un software de diseño y simulación de una HMI	159

69.	Ejemplificación de una red de información	161
70.	Ejemplos de configuraciones de red de información.....	162
71.	Ejemplificación de una red industrial.....	163
72.	Ejemplificación de una configuración de red industrial	165
73.	Ejemplificación de configuración de una Red PLC	166
74.	Configuración simple de un PLC a una Red PLC conformada por tres máquinas	168
75.	Ejemplo de configuración de un sistema multired con dos redes	169
76.	Diagrama ejemplo de cableado de una multired con PLC	170
77.	Fusión de una red de información y una red industrial	172
78.	Ejemplificación de un robot articulado verticalmente y un robot articulado horizontalmente	177
79.	Ejemplo con operaciones de recogida y recolección	182
80.	Ejemplo de condiciones de programación de un robot para paletización	184
81.	Diagrama de diseño de un proceso de paletización	187
82.	Diagrama de utilización de robot articulado siendo utilizado en una aplicación de entrega.....	188
83.	Ejemplificación de aplicación de <i>tracking</i> de línea visual.....	189
84.	Ejemplificación de un robot industrial utilizado para la vigilancia de una máquina	190
85.	Utilización de un robot articulado verticalmente en una sala limpia	192
86.	Ejemplo 1 de galvanómetro	193
87.	Ejemplo 1.2 de galvanómetro	195
88.	Ejemplo 1.3 de galvanómetro	197
89.	Ejemplo 2.1 de galvanómetro	201
90.	Ejemplo de interruptor S	201
91.	distintas posibles escalas es el diseño de derivación de Ayrton	202
92.	Ejemplo 2.2 de galvanómetro	204

93.	Triángulo de potencia, ejemplo 4.1	209
94.	Triángulo de potencia, ejemplo 4.2	211
95.	Triángulo de potencia, ejemplo 5.1	212
96.	Triángulo de potencia, ejemplo 5.2	215
97.	Autoevaluación 1.1.....	219
98.	Autoevaluación 1.2.....	220
99.	Autoevaluación 1.3.....	220
100.	Autoevaluación 2.1.....	221
101.	Autoevaluación 2.2.....	222

TABLAS

I.	Clasificación de sensores resistivos según su variable.....	68
II.	Clasificación de sensores resistivos según su variable.....	95
III.	Clasificación de instrumentos de medición	110
IV.	Secciones de estructuración de los servomecanismos.....	116
V.	Clasificación de motores de servo	117
VI.	Información de los tres bucles de control de un servo	126
VII.	Bucles usados dependiendo del modo de control de un servo	127
VIII.	Ejemplos de uso de control de secuencia	134
IX.	Comparación con el tipo de relé.....	139
X.	Expresión por lenguaje de comandos del ejemplo 1	143
XI.	Expresión por lenguaje de comandos del ejemplo 2.....	144
XII.	Descripción de contenidos de un dispositivo de memoria de un PLC	148
XIII.	Listado de ventajas del uso de HMI	157
XIV.	Clasificación de los sistemas de transmisión de información.....	160
XV.	Tabla comparativa entre red de información y red industrial.....	165
XVI.	Tabla de ventajas de la utilización de robots industriales.....	174
XVII.	Tabla de modelos generales de robots industriales	178

XVIII.	Robot de coordenadas cartesianas	179
XIX.	Robot de coordenadas cilíndricas.....	179
XX.	Robot de coordenadas polares.....	180
XXI.	Robot articulado.....	180
XXII.	Comandos comunes de programación en el programa MELFA-BASIC	185

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
I	Corriente
Fp	Factor de potencia
g	Gramo
m	Metro
mA	Miliamperios
mV	Milivoltio
Ω	Ohm
P	Potencia
P	Potencia activa
S	Potencia aparente
Q	Potencia reactiva
%	Porcentaje
s	Segundos
σ	Varianza
V	Voltaje

GLOSARIO

Comportamiento dinámico	Lo que se entiende por comportamiento dinámico de un galvanómetro se sabe a partir de la observación mediante interrupciones repentinas de la corriente aplicada, por lo tanto, la bobina regresará de su posición deflactada a su posición cero.
Derivación de Ayrton	La derivación universal o de Ayrton elimina las posibilidades de tener el medidor sin ninguna derivación en el circuito. Dicha ventaja se obtiene de la necesidad de llegar a tener una resistencia total del medidor ligeramente mayor
Errores de calibración	El error de calibración se debe al que método de medición que es usado puede o no ser muy exacto, se debe tomar un instrumento de medición con mayor precisión para evitar este tipo de errores.
Errores de escala	Se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Es aquel error en donde se considera aceptable con una mínima +/- no excedida al valor de medición que se requiera obtener.

Errores de paralaje	El error de paralaje es un error sistemático personal que se debe cuando no se mira perpendicularmente la escala del instrumento que se está usando.
Modelo constructivista	El modelo constructivista proporciona la educación como una manera crítica y con respecto al ámbito docente como un profesional autodidacta con la capacidad de autocapacitarse investigando y reflexionando sobre la marcha en la práctica.
Resistencia multiplicadora	La resistencia multiplicadora es una limitante para la corriente a través del movimiento, de forma que no sobrepase el valor de la corriente de deflexión a plena escala.
Retroalimentación	Por control automático o control por realimentación (o retroalimentación) se entiende que el dispositivo alcanza de forma automática los valores establecidos para sus variables de estado (output) de forma muy precisa, a pesar de las variaciones que puedan producirse en la entrada (input) del dispositivo.
Sensibilidad	La sensibilidad S es esencialmente el recíproco de la corriente de deflexión a plena escala del movimiento básico.
Sensores digitales	Los sensores digitales son aquellos que frente a

un estímulo pueden cambiar de estado ya sea de cero a uno o de uno a cero, en este caso no existen estados intermedios y los valores de tensión que se obtienen son únicamente dos.

Sensores generadores

Son aquellos que a partir de la magnitud que miden generan una señal eléctrica, sin necesidad de una alimentación eléctrica. Están basados en efecto reversible y además están relacionados con diversos accionadores o aplicaciones inversas en general, es decir, se pueden emplear para acciones no eléctricas a partir de señales eléctricas.

Sensores modulares

Son aquellos en donde la energía de la señal de salida procede, en su mayor parte de una fuente de energía auxiliar. Estos sensores están basados en la variación de la resistencia eléctrica de un dispositivo son probablemente los más abundantes.

RESUMEN

Este trabajo de investigación trata temas correspondientes al curso de Instrumentación Eléctrica en conjunto con el modelo constructivista. El objetivo principal de este trabajo de investigación es crear un nuevo sistema de educación el cual sea capaz de optimizar la productividad, eficiencia y eficacia del estudiante y del catedrático.

En el trabajo de investigación se presentan conceptos y teoría, ejercicios en los cuales se aplican los conceptos explicados en la primera parte y, por último, se realizan evaluaciones las cuales son capaces de brindar al estudiante estadísticas del nivel de sus conocimientos adquiridos en el transcurso del curso.

La característica principal de este trabajo de investigación es la virtualización de lo propuesto, por lo tanto, se diseñaron videos los cuales están divididos en las tres áreas mencionadas anteriormente. Las herramientas utilizadas en este trabajo de investigación ofrecen diversas opciones para conseguir que el proceso de enseñanza tradicional sea transformado en una nueva forma de vida que los seres humanos puedan llevar en paralelo a su vida cotidiana; todo esto de la mano de actividades innovadoras las cuales promueven áreas en el ser humano como la motivación, la responsabilidad, entre otras.

El formato de los videos es el siguiente: introducción utilizada solo por la Escuela de Mecánica Eléctrica, objetivos; video, desarrollo del tema, conclusiones y por último los créditos correspondientes del video. La creación

de los videos se realizó mediante VideoScribe, WonderShare, Adobe After Effects y Adobe Premier Pro.

OBJETIVOS

General

Diseñar una estructura virtual del curso de Instrumentación Eléctrica, bajo el modelo constructivista, en la Escuela de Mecánica Eléctrica perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Crear videos conceptuales vinculados al curso de instrumentación eléctrica.
2. Crear videos de aplicaciones sobre la teoría y los conceptos contenidos en el curso de instrumentación eléctrica con el fin de apoyar el ámbito conceptual y teórico.
3. Diseñar métodos de evaluación en los cuales se apliquen los conceptos y la teoría prevista en el transcurso del curso.
4. Proveer de material virtual didáctico al estudiante por medio del modelo constructivista para promover la productividad y responsabilidad.

INTRODUCCIÓN

El tema de instrumentación eléctrica en el ámbito de los avances tecnológicos y la industria ha sido uno de los temas de mayor relevancia en nuestra época. Dicho tema desempeña un papel muy importante en diversas áreas de aplicación. La importancia de estas áreas de aplicación a las cuales conllevan los temas de instrumentación eléctrica es bastante alta, ya que están siendo aplicadas en el ámbito laboral actual. Debido a la importancia de dichas áreas en el desarrollo de las carreras universitarias como ingeniería eléctrica, electrónica y mecánica eléctrica, se decide dividir la metodología del curso de instrumentación eléctrica en tres ámbitos principales: concepto, ejemplo y práctica.

El desarrollo de este trabajo de investigación se basa en utilizar los ámbitos previamente mencionados como pilares en la estructura de la metodología constructivista para así transmitir el contenido propuesto de una forma más eficiente al estudiante. Teniendo en cuenta de que se apoyará el curso con un proceso virtualizado el cual se llevará en forma paralela al curso presencial, se obtendrán resultados inmediatos los cuales serán reflejados tanto en el desempeño del estudiante durante el curso, como el desempeño de ese futuro ingeniero en el ámbito laboral.

1. USO DE LAS TIC COMO HERRAMIENTAS DE VIRTUALIZACIÓN

1.1. Modelo constructivista

En la actualidad, la faceta de enseñanza y aprendizaje ido en decadencia con respecto a los protocolos de enseñanza; esto ha ido generando lo que normalmente se conoce como monotonía. Dicha monotonía ha ido suscitando brechas las cuales han llevado al deterioro de la responsabilidad, motivación e interés de los estudiantes con lo que a estudios respecta. A continuación, se presentan, a grandes rasgos, las ideas principales del modelo constructivista.

Según Stefany Hernández Requena (profesora investigadora del Instituto Tecnológico de las Américas) el modelo constructivista proporciona la educación como una manera crítica y con respecto al ámbito docente como un profesional autodidacta con la capacidad de autocapacitarse investigando y reflexionando sobre la marcha en la práctica; si hay algo que difiera este modelo con los otros existentes es la forma en la que se percibe al error, ya que no un error en este modelo no es considerado como algo malo, sino como un indicador y analizador de los procesos intelectuales.

Para el constructivismo aprender es arriesgarse a errar, muchos de los errores cometidos en situaciones didácticas deben considerarse como momentos creativos, por lo tanto, es un modelo que aprovecha la humanidad de las personas para proporcionales beneficios a base de sus errores día a día.

Stefany Hernández también menciona que el contexto visto desde el ámbito de la pedagogía, el constructivismo se denomina como una corriente que afirma que el conocimiento conceptual es un proceso que va de la mano del individuo, ya que se considera un proceso mental, el resultado de un desarrollo de construcción o reconstrucción de la realidad como se conoce, tiene origen en la interacción entre los individuos mismos que están realizando el proceso y el mundo.

Por lo tanto, se podría afirmar que es el modelo que se mantiene en desarrollo por la persona misma que lo está utilizando. Si se consideran los aspectos cognitivos, sociales y afectivos del comportamiento, se podría concluir que el modelo no es mantenido por un simple producto del ambiente ni un resultado de sus disposiciones internas, sino que es mantenido por una construcción propia que se va desarrollando día a día como consecuencia de la interacción entre los dos factores mencionados.

El conocimiento no es una copia de la realidad, ya que si se pudiera asumir que es una copia de la realidad misma se conocería todo, es decir, las dudas dejarían de generarse y el hecho de realizar un estudio no tendría validez lógica ya que no habría motivos razonables para realizarlo. Sabiendo lo anterior se puede aclarar con más fundamento que el conocimiento es una construcción del ser humano provista con los esquemas que la persona ya posee y son los que realiza día a día y en la mayoría de contextos ubicados en el progreso de su vida.

El conocimiento depende de la representación inicial cuando se tiene el contacto con una nueva información y de la actividad interna o externa que se lleva a cabo con respecto a dicho primer contacto. Sin embargo, en el desarrollo de este proceso no es solo el nuevo conocimiento que se ha obtenido, sino,

sobre toda eventualidad de construirlo y que sea proporcionada una nueva competencia que le permitirá generalizar, esto quiere decir, aplicar lo ya aprendido en una situación nueva.

Como se ha observado en lo anteriormente descrito del modelo constructivista, se puede deducir por los rasgos que presenta una faceta que comprende diversas ciencias, entre ellas la filosofía, psicología, sociología y la más importante para objetivos de nuestro estudio, la ciencia de la educación. El verbo construir proviene del latín *struere*, que posee un significado de arreglar o dar estructura. El funcionamiento principalmente en el que se basa esta teoría tiene origen básicamente en su significado.

La idea central es básicamente que el aprendizaje se construye desde los cimientos, por otro lado, también posee una ideología acerca de que la mente de las personas trabaja en base a la elaboración de nuevos conocimientos a partir de la base de enseñanzas anteriores. La relación de aprendizaje que conllevan los estudiantes en su vida educativa debe ser activa, deben participar en actividades en lugar de permanecer pasivamente como espectador de las explicaciones.

Han existido varios percances a lo largo de las vías del tiempo que recorre el ferrocarril del constructivismo, ya que este modelo difiere con otros puntos de vista, en los cuales el aprendizaje es transmitido a través del traslado de información entre seres humanos, esto hace referencia a la relación maestro-alumno, esto quiere decir que la construcción no posee la importancia que el modelo constructivista propone.

En el caso del constructivismo como ya se ha mencionado, el aprendizaje debe tomar una faceta activa y no pasiva, esto permite asumir básicamente que

el ser humano aprende cuando puede controlar su propio aprendizaje y están conscientes del control que poseen. La teoría del constructivismo se basa en el aprendizaje no en la enseñanza, los alumnos construyen por sí mismos, cada alumno a su ritmo a medida que va digiriendo el conocimiento.

El mayor problema presentado ante el constructivismo es la mente cerrada de las personas que se les hace difícil entender las ventajas que el constructivismo conlleva, dichas personas muchas veces también se rehúsan a utilizar de manera inmediata la información proporcionada hacia ellas. Por otro lado, la mayor ventaja que se ha presentado en la misma historia del constructivismo es el individuo sediento de la necesidad de construir su propio conocimiento, dicho conocimiento es construido a medida que el tiempo transcurre gracias a la experiencia.

La experiencia conlleva a la producción de esquemas. Los esquemas son figuras mentales que habitan en la mente del ser humano. Dichos esquemas van evolucionando, creciendo y transformándose en esquemas aún más complejos gracias a desarrollos complementarios de ámbitos tales como la asimilación y el almacenamiento.

1.2. Características del aprendizaje constructivista

El entorno en el que se desenvuelve el aprendizaje constructivista conlleva varias características con él. En las características descritas a continuación se podrá lograr comprender más el enfoque que posee el modelo constructivista desde un punto de vista educativo.

1.2.1. Construcción del conocimiento

El enfoque que el constructivismo le provee al aprendizaje es enfocado en construir el conocimiento en base a la reproducción del mismo.

1.2.2. Tareas auténticas

El aprendizaje basado en el modelo constructivista se encarga de resaltar tareas auténticas de una manera enfatizada en el ambiente que se desarrolla para evitar instrucciones abstractas fuera de contexto.

1.2.3. Entornos de aprendizaje

El modelo constructivista provee entornos en base al aprendizaje los cuales son pensados para acoplarse a la vida cotidiana de las personas, así como también experiencias basadas en el aprendizaje en sustitución a una secuencia predeterminada y monótona de instrucciones.

1.2.4. Fomento de la experiencia

Uno de los puntos clave del modelo que está siendo estudiado es el fomento de la reflexión en la experiencia, ya que el modelo se basa en la construcción del aprendizaje en base al conocimiento ya obtenido.

1.2.5. Dependiente de la construcción

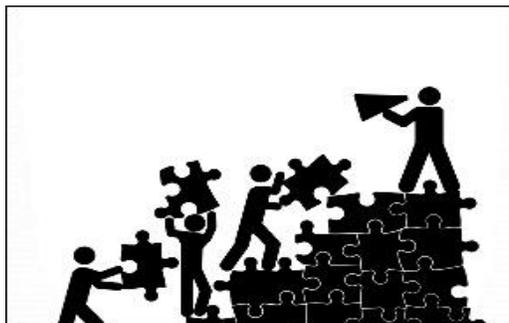
Es decir, no se puede aplicar el modelo constructivista si no existe una construcción. Los ámbitos de aprendizaje constructivista permiten que el

contexto y el contenido dependan plenamente de la construcción y no de algún otro factor externo.

1.2.6. Construcción colaborativa

Los entornos de aprendizaje se caracterizan por presentar un apoyo hacia la construcción colaborativa de dicho aprendizaje. Este proceso es llevado a cabo a través de la negociación social y evita completamente la competición entre los mismos estudiantes para obtener apreciación y conocimiento.

Figura 1. **Imagen ilustrativa de construcción colaborativa**



Fuente: *Ilustración de construcción colaborativa.*

https://www.google.com.gt/search?q=Imagen+ilustrativa+de+construcci%C3%B3n+colaborativa&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiC2dOck8LiAhUkpnEKHcLxBaAgQ_AUIDigB.

Consulta: 3 de enero de 2018.

1.3. Implicaciones generales del constructivismo cognitivo

Tomando como referencia la teoría constructivista expuesta por Piaget, se conocen dos pilares principales en el proceso con conlleva una relación enseñanza-aprendizaje: el aprendizaje como un proceso activo y el aprendizaje como un proceso completo, auténtico y real en toda su plenitud.

1.3.1. Proceso activo del aprendizaje

En el desarrollo en el que se almacena y se procesa toda la información, resultan esenciales factores como la experiencia directa, los errores cometidos y la resolución de problemas. La forma más eficiente en la que se presenta la información es de una importancia relativamente alta. En ocasiones cuando la información es desarrollada como una solución a una problemática, se dice que dicha información está funcionando como herramienta y no como un factor arbitrario y solitario.

1.3.2. Proceso completo, auténtico y real

Según Stefany Hernández la teoría de este proceso se basa en la manera en la que el ser humano se relaciona de forma significativa con el entorno en el que se desenvuelve. Esto por otro lado quiere decir que se debe dar menor importancia a los ejercicios de habilidades solitarias las cuales intentan enseñar una lección. La mayoría de estudiantes actualmente llevan una vida monótona la cual está diseñada con el método tradicional de aprender.

De acuerdo con esta teoría a los estudiantes se les debe hacer énfasis en las actividades completas y así ir eliminando poco a poco los ejercicios de actividades individuales. El proceso completo propone actividades auténticas y originales que se tornen interesantes ante los ojos y mentalidad del estudiante y con esto llegar a conseguir avances significativos en la motivación del mismo. Todo el proceso completo camina de la mano de actividades reales que provean resultados que le den un valor agregado que sea más importante que la nota obtenida en un examen.

1.4. El modelo constructivista con las nuevas tecnologías

El ámbito tecnológico actualmente es uno de los motores que mueve al mundo. Decisiones inteligentes y rápidas son posibles gracias a la tecnología, por eso mismo la tecnología se considera fundamental hoy en día, ha pasado de convertirse de un lujo en nuestro diario vivir a una necesidad. Necesidad en la que se abordan muchos de los ámbitos más importantes en la vida del ser humano, entre dichos ámbitos los que más resaltan de grupo son: laboral y educativo.

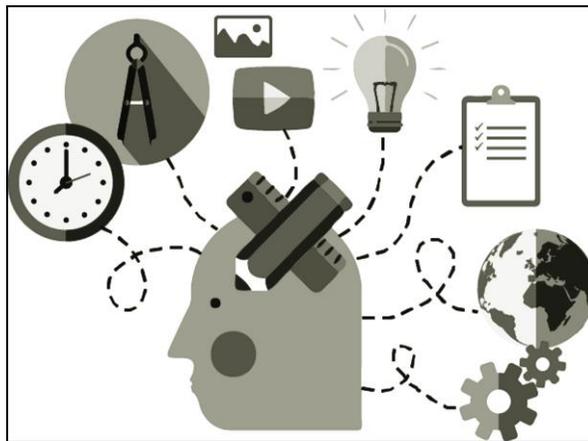
La tecnología siempre ha causado un gran impacto en el ámbito educativo, se puede recorrer la línea del tiempo y arribar en la época que permitió la impresión de textos que pronto se convirtieron en libros los cuales evolucionaron aún más y fueron utilizados como herramientas de aprendizaje; luego, está la suplencia de pizarras y marcadores por lápiz y papel que permitieron a la humanidad preservar la cultura de la escritura. Hoy en día están los esquemas se encuentran evolucionando de nuevo, las tecnologías que abordan están causando un gran impacto en los métodos de aprendizaje del estudiantado, lo cual permite ser testigos de nuevas evoluciones en la metodología de enseñanza.

Se está actualmente en una época en la cual los estudiantes poseen la oportunidad de ampliar sus experiencias en lo que aprendizaje respecta, todo esto gracias a las nuevas tecnologías que están siendo implementadas hoy en día, dichas tecnologías orientadas gracias al modelo provisto por el modelo de aprendizaje constructivista. Las herramientas las cuales son utilizadas gracias a dicha tecnología ofrecen diversas opciones para conseguir que el proceso de enseñanza tradicional sea transformado en una nueva forma de vida que los seres humanos puedan llevar en paralelo a su vida cotidiana, todo esto de la

mano de actividades innovadoras las cuales promueven áreas en el ser humano tales como la motivación, responsabilidad, entre otras.

Cabe resaltar que las actividades mencionadas anteriormente son funcionales gracias a su carácter creativo el cual es utilizado para captar de una forma más directa la atención del estudiante, esto les permite afianzar lo que aprenden al mismo tiempo que evitan una tediosa y aburrida monotonía en el ámbito educativo. Estas características proveen como resultado final que el propio alumno sea capaz por sí mismo de construir su conocimiento y poco a poco ir tomando caminos que tengan un destino autodidacta, todo esto gracias a la libertad que se le otorga gracias al ambiente tecnológico en el que se empieza a desenvolver.

Figura 2. **Modelo constructivista en conjunto con las nuevas tecnologías**



Fuente: *Modelo constructivista en conjunto con las nuevas tecnologías.*

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=BzjvXLrfH4rylwSphIbgCQ&q=Modelo+constructivista+en+conjunto+con+las+nuevas+tecnolog%25>. Consulta: 3 de enero de 2018.

1.5. Características de las nuevas tecnologías

La nueva era posee avances tecnológicos que muchas veces quedan fuera de la comprensión de un ser humano común y corriente. Se ha llegado a la era en la que lo imposible se vuelve posible, gracias a esto se han ido desarrollando nuevas tecnologías las cuales poseen características que hacen que estas se conviertan en herramientas las cuales juegan un papel esencial en el proceso de aprendizaje del presente y del futuro. Interactividad, inmaterialidad, virtualización, imagen y sonido son unos cuantos de los factores que son parte de esta innovación.

La inmaterialidad que estas nuevas tecnologías poseen proporciona información y posibilidad de desarrollar programas sin vínculos externos. Ofrecer a los estudiantes oportunidades es uno de los principales objetivos que estas tecnologías tienen, esto también permite a los estudiantes construir un entorno de conocimientos sin limitaciones. Las nuevas tecnologías son capaces de generar interacción entre los estudiantes y no necesariamente interacción en el mismo espacio físico, también genera la oportunidad de generar interacción a distancia, lo cual resulta conveniente a la hora de el hecho de compartir conocimientos y experiencias.

Otro factor agregado es que los estudiantes pueden decidir la secuencia de información a seguir, establecer ellos mismos su propio ritmo, cantidad y ser capaces de elegir el tema en el que están dispuestos a profundizar. Todo esto genera una gama amplia de oportunidades ya que en el área profesional tendríamos expertos que se han vuelto profesionales en áreas en las que ellos mismos eligieron, esto por supuesto incrementa el desempeño de la persona a niveles bastante significativos.

El diseño que integra factores como el nivel de imagen y sonido no está enfatizado solamente en manejar información de manera más rápida y transportarla a lugares lejanos, sino que también que la calidad y veracidad de la información sea lo más elevada posible. Los factores sonido e imágenes son herramientas que se encargan de fomentar la creatividad en los usuarios que las utilizan, en este caso los estudiantes, desarrollando el área del aprendizaje desde el momento que se crea u observa algún tipo de material audiovisual. Gracias al uso de estas herramientas que existen hoy en día se puede confirmar que la información es recibida por el receptor en las mejores condiciones técnicas posibles y en el menor tiempo, muchas veces hasta en tiempo real.

El tema de digitalización trata de las transformaciones de la información codificada analógicamente a códigos numéricos, estos códigos permiten la manipulación y la distribución en una manera mucho más sencilla y factible. La digitalización permite a los estudiantes tener acceso al material de los cursos e incontables obras y libros, esto no conlleva la necesidad de cargar con ellos físicamente. Gracias a la forma virtual mediante la cual esto está siendo implementado el estudiante puede encontrar cualquier tipo de material de apoyo que necesite.

El tema de la digitalización camina de la mano junto con la interconexión, la unión de estos dos factores permite crear una nueva red de comunicación la cual permite que los dos factores que la componen se refuercen mutuamente y eso conlleva a un impacto mucho mayor en comparación que algún tipo de tecnología utilizada individualmente. Dicha red creada permite la conexión constante en la relación estudiante-profesor, creando así una red colaborativa en la cual no existen barreras como falta de tiempo o problemas de ubicación que distancie a los individuos.

La diversidad es considerada como una de las mejores características de las nuevas tecnologías las cuales deben ser vistas desde dos puntos de vista: en primer lugar, se tiene el punto de vista de las tecnologías unitarias, estas son tecnologías que giran en torno a ciertas características que solo ellas poseen. Por otro lado, está la diversidad de funciones que las tecnologías ofrecen, considerando desde las que transmiten datos de forma exclusiva, hasta las tecnologías que permiten interacción entre los usuarios, como una videoconferencia. El uso de estas tecnologías junto con las telecomunicaciones es conocido como convergencia digital. La convergencia digital ha sido uno de los temas de mayor relevancia en nuestra época, debido a que permite el uso simultáneo de herramientas de voz, textos, datos e imágenes, mediante canales electrónicos, los cuales terminan convergiendo en un mismo canal, a través de diferentes tecnologías.

El hecho de empezar a considerar estas tecnologías como un componente de innovación no es algo nuevo. Básicamente cualquier tecnología nueva tiene como objetivo presentar un avance de alguna tecnología anterior y, por ende, las funciones que dicha tecnología realizaba.

1.6. Integración del modelo constructivista con las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje

Actualmente, una gran cantidad de desarrolladores e investigadores se han adentrado a las posibilidades de las funciones que puede llegar a realizar la tecnología en el aprendizaje constructivista, esto ha demostrado que los computadores proporcionan un canal muy eficiente en lo que al medio creativo respecta, esto permite que los estudiantes se expresen y demuestren por si mismos que han adquirido nuevos conocimientos. Colaboraciones en línea tales como proyectos y publicaciones web también han ido evolucionando para que

los profesores generen una responsabilidad y compromiso a sus estudiantes en el proceso del aprendizaje gracias a la integración del modelo constructivista.

Ciertas investigaciones han ido demostrando con el paso del tiempo que los profesores que ya poseen una mentalidad constructivista, a diferencia de los profesores con una mentalidad tradicional, transmiten a sus alumnos la importancia del uso de ordenadores para facilitar el aprendizaje y las actividades escolares. Mientras que los profesores tradicionales promueven el típico sistema de aprendizaje el cual se basa en situarse frente de los alumnos e impartir la clase, cabe resaltar que esto genera limitaciones para que los alumnos tengan la oportunidad de pensar libremente y poner en uso su creatividad.

La relación constructivismo-ordenador es uno de los pilares que son fundamentales en esta forma de aprendizaje, posiblemente gracias al hecho de que la tecnología ha brindado al estudiante un acceso ilimitado a la información que necesitan para investigar. Facilitar la comunicación también permite que el estudiante exprese sus opiniones y experiencias a una audiencia mucho más amplia. Un factor muy importante es que a pesar de poder compartir experiencias y opiniones a una audiencia más amplia es que dicha audiencia también posee gustos parecidos e intereses similares a quien los está compartiendo, esto promueve el entusiasmo y la motivación para seguir leyendo y escribiendo, creando así un ambiente ideal en ambas vías.

Otros desarrollos de investigación sugieren que la disponibilidad de informática a bajo coste en la sociedad actual debería de cambiar los principios con los que se trabaja; es decir, el contenido del conocimiento debería ser tallado solamente en base a la educación que se recibe, y como ya se sabe el conocimiento debe ser generado con base en educación y experiencias, no se

puede esperar aprender si no se atreve a errar en el camino. Se debe fomentar el hecho que la tecnología debe ir un paso más allá para poder modificar y mejorar la forma en la que se enseña actualmente. Estas mismas investigaciones argumentan que la enseñanza se ha visto envuelta en unos límites condicionales por las herramientas educativas tales como lápiz, papel y pizarrón. Los sistemas informáticos presentan un poder mucho más grande que los materiales tradicionales que solo pueden ser utilizados para transmitir conocimiento de la forma tradicional.

1.6.1. Aplicaciones representativas de las nuevas tecnologías como herramientas del aprendizaje constructivista

Actualmente, existe una enorme cantidad de aplicaciones las cuales pueden ser aplicadas hacia las nuevas tecnologías en base al modelo constructivista, tales como redes sociales, blogs y aplicaciones dedicadas a información. El potencial que estas aplicaciones presentan es bastante significativo para el aprendizaje hoy en día.

1.6.1.1. Aplicaciones dedicadas a información

Existen muchas aplicaciones dedicadas a información hoy en día y todas ellas tiene un factor en común, son llamadas también webs colaborativas, son consideradas como una red social cooperativa entre una innumerable cantidad de personas. La utilización de este tipo de aplicaciones dedicadas a información es muy importante en el proceso de aprendizaje ya que colaboran con la aportación de nuevas herramientas y aplicaciones innovadoras para la construcción del conocimiento.

En el pasado, con el fin de conseguir información sobre algún tema específico el cual fue tratado en clase, se debía recurrir a libros o enciclopedias, en los cuales se encontraba la información requerida y en algunos casos dependiendo del libro, se podían encontrar ejemplificaciones ilustrativas para una mejor comprensión del tema. Con el paso del tiempo se difundieron los softwares enciclopédicos, tales como la famosa Encarta, cuya principal diferencia era que el contenido que antes se encontraba impreso en un libro, ahora se podía encontrar en la pantalla de un computador, brindando así una mejor aportación en ejemplificaciones ilustrativas, videos, entre otras aplicaciones que presentaba el software.

Hoy en día con la revolución de las aplicaciones dedicadas a la información tales como las wikis, se presenta un cambio drástico en la línea del tiempo de las herramientas de aprendizaje. Con estas aplicaciones o páginas web, los estudiantes pasan a jugar un papel de observadores y esto les permite así trabajar de una forma más pasiva, esto es un beneficio muy claro ya que pueden estar involucrados más directa y activamente en la construcción de su conocimiento. Gracias a estas nuevas herramientas se puede promover la costumbre de escuchar en clase e investigar fuera de ella. Herramientas como google permiten la fácil búsqueda de información para luego adquirirla leyendo u observando ejemplificaciones, para después poder redactar artículos en estas páginas o aplicaciones que reflejen sus investigaciones y así poder ayudar a otros tal y como ellos fueron ayudados.

El factor colaboración entre los integrantes de un curso les transmite a los estudiantes un valor agregado el cual los hace sentirse parte de un equipo, brindándoles una identidad social que les permite motivarse aún más, logrando que tengan ganas de aprender y realizar actividades cooperativas. A diferencia de las redes sociales, que uno como persona las explora por sí mismo sin la

ayuda de un tercero, una aplicación colaborativa es recomendada que sea introducida por un educador para que los estudiantes comprendan perfectamente el uso de estas, siempre dejándoles un espacio para que por sí mismos los estudiantes empiecen a comprender su uso a través de la herramienta de una manera libre.

En el tipo de herramientas de antes, los estudiantes encontraban imágenes ilustrativas para una mejor comprensión del tema el cual se está investigando, las herramientas de aplicaciones dedicadas a información también poseen la opción que permite introducir ciertas imágenes, pero lo más importante aún, es que pueden crearse enlaces que redirijan a los lectores a otras páginas en las cuales se puede encontrar información aún más detallada o de otro tipo, como información gráfica o animada, que refuerce la información brindada en el sitio de origen.

Este tipo de aplicaciones o páginas funcionan como una pizarra o cuadernos virtuales, en los cuales los estudiantes pueden acceder, leer lo que sus compañeros de cursos han escrito, realizar ediciones de dichas ideas para corregir errores, si existiera alguno, y también poder transmitir sus propios conceptos aprendidos. Estas herramientas también proporcionan la opción de poder crear espacios cerrados en donde los únicos integrantes que pueda acceder a ella sean el catedrático y sus alumnos de curso, estas y muchas cosas más son gracias a las aplicaciones o páginas dedicadas a información de hoy en día, y el principio en el que se basan es que no solo sirven para obtener conocimientos, sino que también se pueda escribir y construir sobre ella.

1.6.1.2. Blogs

Los blogs son considerados como un medio de comunicación colectivo que tienen como base principal promover la creación y obtención de información original. Estas herramientas también llamadas blogs, brindan un espacio para que los usuarios tengan una oportunidad de expresar sus opiniones e ideas sobre cualquier tema que sea de su interés. Esta herramienta ofrece oportunidades tales como incluir imágenes y videos en adición al texto. Los usuarios que ingresan a los blogs pueden realizar comentarios sobre los temas y así poder crear una colección de opiniones, consiguiendo un dialogo entre los usuarios que ingresan a un blog específico y el creador del mismo.

Los blogs al igual que las páginas y aplicaciones de información, promueve la escritura, brindando así herramientas para el desarrollo de la ortografía y a la vez una mejora en la gramática de los usuarios, por otro lado, también proporciona a los estudiantes beneficios en su proceso de aprendizaje. Entre algunos de los beneficios proporcionados a los estudiantes están:

1.6.1.2.1. Responsabilidad y compromiso

Esto debido a que los usuarios de los blogs deben estar pendientes de estos, se deben tomar en cuenta factores tales como fechas específicas de publicaciones nuevas, estarlo actualizando constantemente, estar publicando novedades, ideas o artículos empieza a fomentar disciplina y responsabilidad en los alumnos que sean encargados de sus propios blogs.

1.6.1.2.2. Comunicación

Los blogs tienen la capacidad de incrementar la comunicación entre compañeros de curso, catedráticos y también con terceras personas que no conocemos del entorno diario. Dichos blogs poseen una gran faceta de herramienta que permite a personas conocidas y desconocidas conectarse y tener un fin común.

1.6.1.2.3. Tecnología

La tecnología desempeña un papel muy importante en todas y cada una de las actividades que realizan actualmente los estudiantes. Los blogs promueven el uso de las nuevas tecnologías para utilizarlas en construcciones de conocimiento, involucrando así al modelo constructivista.

1.6.1.2.4. Mejora de habilidades de escritura

El hecho de saber que los blogs son leídos por personas, tanto conocidas como desconocidas, crea una motivación a esforzarse por presentar el mejor trabajo posible y esto involucra las áreas de escritura, gramática y ortografía.

Los blogs cumplen perfectamente la función como bitácoras virtuales, en las cuales los estudiantes poseen libertad de expresión, dicha libertad promueve expresar sus pensamientos y también los motiva a abrirse a nuevos conceptos que pueden aprender mientras redactan y leen blogs de otros usuarios. Los blogs son considerados un espacio personal, los cuales también pueden ser utilizados por los catedráticos para supervisar cómo va el proceso de aprendizaje de sus alumnos.

1.6.1.3. Redes sociales

Se podría decir que las redes sociales son un conjunto de personas unidas por distintos motivos, familiares, laborales, intereses en común o simplemente pasatiempos. Una red social está básicamente compuesta por nodos que se encuentran unidos entre si por algún tipo de relación como valores, ideas, amistades, gustos en común, entre otros.

Las nuevas tecnologías de las que hemos estado tratando han dado como resultado un cambio revolucionario en las personas, todo esto mediante la influencia de otras personas. Las personas influyen sobre los demás sin tener que encontrarse en la misma ubicación geográfica, es decir no tiene que existir un contacto físico ni visual, todo es por medio de la pantalla de un ordenador o un móvil. Gracias a las redes sociales las personas han podido compartir sus ideas con familiares, amigos, y muchas más personas.

Si se observa el impacto de las redes sociales sobre el ámbito académico, estas han permitido compartir ideas con otros compañeros y catedráticos, todo esto en horarios ya fuera del aula. Este tipo de contacto sigue dependiendo del tiempo de las personas, pero ya no depende de la localidad de estas mismas. Las redes sociales como herramientas constructivistas son utilizadas como una comunicación fuera del aula, pero orientada al ámbito virtual, esto amplía la magnitud de la relación de los estudiantes y el catedrático, permitiendo el continuo contacto con los que sean integrantes en dicha relación.

Las redes sociales desempeñan un papel muy importante en el mundo de las nuevas tecnologías, esto es gracias a sus características de interacción, y las muchas opciones de imagen, video y sonido que presentan.

1.6.1.4. Plataformas educativas virtuales

Desde el inicio de la Web 2.0, se incorporaron a la red diferentes plataformas educativas que brindan a los usuarios una experiencia diferente en lo que a educación se refiere; la principal característica de las plataformas educativas virtuales es proveer al usuario la capacidad de organizar su tiempo y acoplar los cursos a su horario conforme a él le convenga y por supuesto, no olvidemos una de las mejores ventajas que es el aprendizaje a distancia. A continuación, se presenta un listado de algunas de las plataformas educativas de mayor relevancia en nuestra época.

1.6.1.4.1. Blackboard

Blackboard es la plataforma para estudios *online* utilizada por las más prestigiosas instituciones académicas en la actualidad. En esta nota te contaremos un poco más de esta herramienta y los grandes beneficios que puede brindar en tu proceso de aprendizaje.

Blackboard Inc fue fundada en 1997 en Washington DC, Estados Unidos. Desde sus inicios estuvo enfocada al desarrollo y comercialización de productos para el aprendizaje en línea, licenciando (-a la fecha-) miles de aplicaciones a instituciones educativas en más de 60 países del mundo.

Algunas de las características de Blackboard son:

- Clases en directo con pizarra interactiva
- Videoconferencias
- Evaluaciones en línea
- Encuestas a alumnos

- Tablón de anuncios y mensajes entre alumnos y alumnos y profesores
- Publicación de calificaciones
- Espacios para gestión de grupos de trabajo
- Foros de discusión
- Ficheros de documentos y materiales académicos
- Chat
- Perfil social por alumno
- Secretaría virtual para trámites administrativos, entre otros

1.6.1.4.2. Moodle

Moodle es una herramienta de gestión de aprendizaje (LMS), o más concretamente de Learning Content Management (LCMS), de distribución libre, escrita en PHP. Está concebida para ayudar a los educadores a crear comunidades de aprendizaje en línea, Moodle es usada en *blended learning*, educación a distancia, clase invertida y diversos proyectos de *e-learning* en escuelas, universidades, oficinas y otros sectores. La versión más reciente es la 3.4.

Moodle fue creado por Martin Dougiamas, quien fue administrador de WebCT en la Universidad Tecnológica de Curtin. Basó su diseño en las ideas del constructivismo en pedagogía que afirman que el conocimiento se construye en la mente del estudiante en lugar de ser transmitido sin cambios a partir de libros o enseñanzas, y en el aprendizaje cooperativo. Un profesor que opera desde este punto de vista crea un ambiente centrado en el estudiante que le ayuda a construir ese conocimiento con base en sus habilidades y conocimientos propios en lugar de simplemente publicar y transmitir la información que se considera que los estudiantes deben conocer.

Algunas de las características de Moodle son:

- Facilidad de uso
- Permite la gestión de perfiles de usuario
- Facilidad para acceder en cualquier momento
- Facilidad de administración
- Permite realizar exámenes en línea
- Permite presentar contenido digital
- Permite la gestión de tareas
- Implementa aulas virtuales

1.6.1.4.3. Edmodo

Edmodo está íntimamente integrado con Google Apps para Educación y Microsoft One Note y Office. Ya no se necesita recordar múltiples contraseñas o salir de Edmodo para acceder a Google Drive o colaborar en Documentos de Google. Tanto si se usa Microsoft o Google, soportan ambos.

Con características intuitivas y almacenamiento ilimitado, podrás crear rápidamente grupos, asignar tareas, programar su envío, gestionar el progreso y mucho más. Todo en una sola plataforma, Edmodo ha sido diseñado para dotarte de control completo sobre tu clase virtual.

Algunas características de Edmodo:

- Comunicación sincrónica y asincrónica.
- Flexibilidad de horarios.
- Aprendizaje colaborativo.
- Construcción del conocimiento constante, dinámica y compartida.

- Roles activos de docentes y alumnos.
- Desarrollo de habilidades interpersonales: comunicación clara, apoyo mutuo, resolución constructiva de conflictos.

1.6.1.4.4. Usumma

Usumma es una plataforma que sirve como canal de comunicación entre los catedráticos y los alumnos para que estos últimos puedan tener a la vista su rendimiento académico, y la vez se podrá tener en la misma plataforma documentos y contenido virtual que apoya la docencia.

En la plataforma encontrará las notas de investigaciones, tareas, exámenes cortos, exámenes parciales, exámenes parciales, contenido de documentos digitales y videos académicos.

Algunas características que brinda Usumma al usuario son:

- Flexibilidad de horarios
- Permite realizar exámenes en línea
- Permite presentar contenido digital
- Permite la gestión de tareas
- Implementa aulas virtuales
- Facilidad de uso
- Permite la gestión de perfiles de usuario

En general, existen diversas plataformas virtuales educativas, cada una de ellas con sus respectivas características; es difícil considerar a una mejor que otra, ya que algunas pueden ofrecer más opciones para los usuarios, pero poseen desventajas al ser de paga y no gratuitas como otras; por lo tanto, se

podría decir que existen plataformas diseñadas de acuerdo a las necesidades y posibilidades de cada institución que desee implementarlas.

1.6.1.5. MOOCS

Los MOOCs (*acrónimo en inglés de massive open on-line course*) o COMA en español (curso *online* masivo en abierto) son cursos en línea dirigidos a un número ilimitado de participantes a través de Internet según el principio de educación abierta y masiva. Más de 700 universidades de todo el mundo ofrecen miles de cursos en línea gratuitos.

Estos se definen como cursos porque plantean una estructura enfocada a la enseñanza y a la superación de pruebas. Son abiertos porque sus contenidos están generalmente a libre disposición del estudiante, que puede compartirlos e incluso modificarlos. Son en línea porque se realizan o se accede a ellos a través de Internet y fomentan el autoaprendizaje. Son masivos porque están enfocados a una demanda de millones de personas.

Algunas características de los MOOCS son:

- Acceso masivo de estudiantes de todo el mundo interesados en un tema específico y con la motivación de aprender y compartir sus conocimientos.
- Acceso libre, abierto y fácil, pues no requiere una prueba de conocimientos previos ni ser alumno de la institución que ofrece el MOOC.

- Acceso gratuito, ya que no requiere pago por el acceso a los contenidos y a la plataforma que realiza el curso. No obstante, podría estar sujeto a un coste por el acceso a tutorías, evaluaciones, recursos bibliográficos o acreditaciones.

A continuación, se presenta una lista de los mejores MOOCS que se rigen actualmente en nuestra sociedad.

1.6.1.5.1. Miriada X

Miriada X es una plataforma de formación que ofrece cursos en línea de manera abierta sobre una gran variedad de disciplinas. Esta plataforma cuenta con casi 600 cursos, todos ellos gratuitos y en castellano, que se estructuran en módulos, en los que se incluyen distintos tipos de actividades.

Esta plataforma surgió mediante una colaboración entre Banco Santander y Telefónica a través de la plataforma Universidad para aunar el conocimiento de universidades e instituciones iberoamericanas, por lo que su principal idioma es el español. En 2014 esta plataforma ya contaba con la participación de 45 universidades de 9 países.

1.6.1.5.2. Coursera

Coursera es una plataforma de educativa con más de 2 000 cursos tanto gratuitos como de pago, de los cuales casi 800 se encuentran en castellano. Cada curso es como un libro de texto interactivo que contiene videos cuestionarios y proyectos; además, permite conectar con un gran número de estudiantes con los que debatir sobre las ideas y materiales del curso.

Esta plataforma fue creada y desarrollada en 2011 por académicos de la Universidad de Stanford con el objetivo de ofrecer una educación masiva y de calidad a la población. Esta plataforma cuenta en la actualidad con millones de estudiantes de todo el mundo y con la participación de universidades de relevancia.

1.6.1.5.3. EdX

EdX es una plataforma de cursos abiertos en línea disponible en varios idiomas, de sus más de 1 500 cursos, gratuitos y de pago, aproximadamente 150 se encuentran en castellano. Los cursos consisten en módulos semanales compuestos por vídeos, materiales interactivos y ejercicios prácticos.

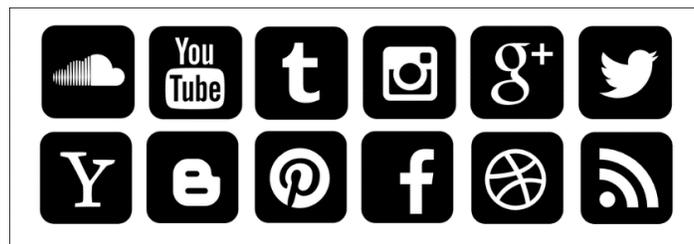
Esta plataforma fue fundada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Harvard en 2012 para impartir por todo el mundo cursos en línea de nivel universitario y de una gran variedad de disciplinas para propiciar así la investigación y el aprendizaje. EdX cuenta con más de 2 millones de estudiantes y actualmente hay más de 50 instituciones, corporaciones y organizaciones internacionales que ofrecen o planean ofrecer cursos en esta plataforma.

1.6.1.5.4. FutureLearn

FutureLearn es una plataforma de aprendizaje en línea abierta y masiva que dispone de más de 300 cursos gratuitos de una gran variedad de temáticas, pero no de idiomas, ya que todos los cursos se encuentran en inglés. Los cursos se organizan en ciclos y ofrecen una gran variedad de recursos para su estudio.

Esta plataforma, creada por la Universidad Milton Keynes, es la primera plataforma MOOC dirigida por Reino Unido. En esta plataforma colaboran más de 80 socios universitarios y no universitarios, ya que a diferencia de otras plataformas similares, incluye entre sus colaboradores socios no universitarios, como British Museum, British Library y la Escuela Nacional de Cine y Televisión entre otros.

Figura 3. **Redes sociales de gran impacto actualmente**



Fuente: *Redes sociales.*

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=qDjvXPX2C4eKauO1iqAG&q=Redes+sociales+de+gran+impacto+actualmente&oq=Redes+sociales+de+gran+impacto+actualmente&>

Consulta: 20 de enero de 2018.

1.7. Fundamentos para un aprendizaje efectivo

El pilar en el que se basa el constructivismo trajo consigo el desarrollo y también resultados de los conceptos acerca de los procesos cognitivos en las personas. La interacción que existe entre el aprendizaje y la tecnología no es algo que se considere coincidencia hoy en día. El estilo de educación tradicional es el resultado de muchos casos pobres para el soporte y apoyo en la enseñanza, por el contrario, gracias a las nuevas tecnologías siendo utilizadas de manera adecuada, crean un nuevo papel en el que se está escribiendo actualmente la historia de la revolución en la educación.

Gracias a la relación en la que se encuentran los estudiantes y las nuevas tecnologías, se pueden poner en práctica los resultados obtenidos de diversas investigaciones, las cuales se han basado principalmente en el desarrollo cognitivo y el constructivismo. Por medio de estas mismas investigaciones se ha llegado a la conclusión de que el aprendizaje es más efectivo cuando se reúnen cuatro factores fundamentales, los cuales son: compromiso, participación en grupo, interacción constante y retroalimentación.

1.8. En resumen

La huella que están dejando las nuevas tecnologías en nuestra era es inmensa, éstas han aportado aplicaciones que desarrollan métodos de aprendizaje, lo cual ha ido creando un nuevo sistema de enseñanza.

Uno de los pilares principales de las nuevas tecnologías son las redes sociales, las cuales actualmente funcionan como un contacto entre compañeros y catedráticos luego del curso al que se asiste presencialmente. Las aplicaciones colaborativas y páginas dedicadas a información, como por ejemplo Wikipedia, aportan una nueva manera de obtener información la cual también encontramos en libros y enciclopedias. Estas también son llamadas enciclopedias virtuales que no solo son utilizadas como medio de obtener información, sino que también para compartirla, cada persona puede ser protagonista y transmitir ideas y conocimientos por medio de ellas.

Por otro lado, están los blogs, los cuales como ya se dijo funcionan como bitácoras virtuales, en donde los estudiantes pueden tener su espacio propio dedicado a contener artículos, ideas y experiencias. Esto facilita la interacción del estudiante con sus compañeros y el catedrático, brindándole también al

catedrático una forma de supervisión para llevar un control del proceso de aprendizaje de sus alumnos.

Hoy en día existen diversos sitios que permiten a los estudiantes integrar sus artículos, imágenes, videos que funcionen como material de apoyo del tema que se está exponiendo, en estos sitios se pueden encontrar a Flickr y a Youtube, los cuales cumplen con las características anteriormente mencionadas. Cabe resaltar de que cuando el estudiante este utilizando estos sitios no debe limitar su contenido por miedo a repetir contenido existente, sino que debe tener una mentalidad libre y publicar su contenido sin miedo a factores como esos, ya que contenidos repetidos muchas veces sirven como material de apoyo, es decir, se pueden ver tres videos del mismo tema y llegar a conclusiones propias con base en lo aprendido en dichos videos.

Actividades tales como elaborar videos e imágenes ilustrativas para luego publicarlas se utiliza como motivación para promover la creatividad de los usuarios, esto es importante ya que los creadores empiezan a sentirse inspirados y disfrutar dicha labor, así se convierte un trabajo tedioso y largo en algo divertido y con la capacidad de captar más la atención de los lectores. Esto da como resultado una experiencia de aprendizaje diferente a lo tradicional la cual promueve la construcción del conocimiento.

Las nuevas tecnologías, cuando empiezan a ser utilizadas como herramientas constructivistas, permiten crear una experiencia diferente en el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes, vinculándolos entre ellos para poder aprender mejor, de una forma colaborativa y generando muchas más opciones que funcionan como pilares de gran importancia en la construcción de su propio conocimiento.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL CURSO

2.1. Introducción

La conceptualización y teoría son factores indispensables en cualquier aplicación. Actualmente desenvolvemos en una sociedad que está regida por la monotonía, las empresas e industrias con sus capacitaciones de corto tiempo han ido transformando al ser humano en una máquina de repetir. Hoy en día la mayoría de áreas laborales se basan básicamente en un proceso repetitivo, gracias a esto el ser humano se ha mentalizado en sobrevivir simplemente realizando procesos los cuales no entiende la mayoría de veces, pero actualmente eso es lo que genera ingresos, el hecho de hacer y no entender.

Un ejemplo muy claro es la instalación de una máquina de cualquier tipo en cualquier área de la industria, ya que al encargado de dicha instalación le van a pagar por instalar la máquina, no por comprender como funciona dicha máquina. Y con esto no se quiere dar a entender que este sistema este del todo mal, de cierta manera es bueno ya que de nada serviría que dicho empleado entendiera por completo como funciona dicha máquina, eso sería lo que se conoce como pérdida de tiempo, pero, por otro lado, es indispensable que el empleado tenga los conceptos generales del funcionamiento de máquinas de ese estilo, ya que dichos conceptos son gracias a los que él puede realizar una instalación de ese tipo.

En esta parte del trabajo de investigación se brinda al estudiante los conceptos de temas relacionados al curso de instrumentación eléctrica, para que dicho estudiante sea capaz de aplicarlos en un futuro en el área laboral.

Teniendo en cuenta de que se transmitirá la teoría y los conceptos generales de los temas por medio de un proceso virtualizado el cual se llevará en forma paralela al curso presencial, se obtendrán resultados inmediatos los cuales serán reflejados tanto en el desempeño del estudiante durante el curso, como el desempeño de ese futuro ingeniero en el ámbito laboral.

2.2. Instrumentos indicadores electromecánicos en CD

Los instrumentos indicadores electromecánicos son parte de los equipos básicos de medición en laboratorios de diversos tipos en los que influyen factores tales como calibración, mediciones y diferentes procesos de tomas de datos.

2.2.1. Galvanómetro de suspensión

Con el paso de la línea del tiempo que envuelve lo relacionado con instrumentación, se han ido desarrollando instrumentos de diferentes tipos y funciones. Tiempo atrás cuando se desarrollaban los primeros medidores de corriente directa, se hacía uso de un galvanómetro de corriente de suspensión. Este fue el pionero de los instrumentos de bobina móvil. En su tiempo de desarrollo era esencial para la mayor parte de indicadores de corriente directa utilizados.

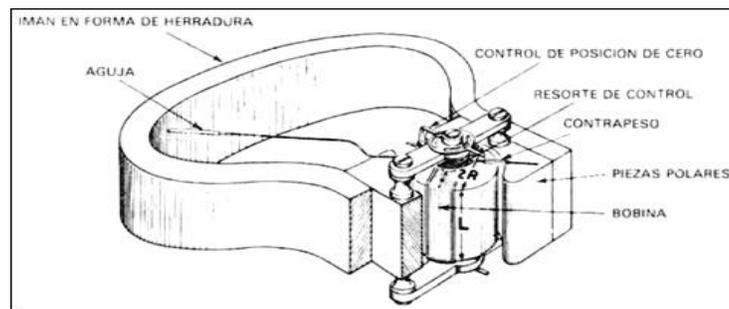
Cuando una bobina de alambre fino permanece suspendida en un campo magnético produce un imán permanente. Analizando mediante las leyes fundamentales de las fuerzas electromagnéticas, esta bobina permanecerá girando dentro del campo magnético cuando en ella circule una corriente eléctrica. La suspensión de la bobina está compuesta por medio de un filamento fino, dicho filamento la alimenta de corriente, por otro lado, gracias a la

elasticidad del filamento, se ejerce un par moderado en sentido contrario a la rotación de la bobina. La bobina continuará sufriendo una deflexión hasta que el par electromagnético equilibre el contrapar mecánico de la suspensión. Entonces se puede considerar a la deflexión de la bobina como una medida de magnitud de la corriente que circula por la misma bobina. Un galvanómetro de suspensión crea un efecto óptico similar al de una aguja de gran longitud y masa cero, esto se crea mediante un espejo el cual está sujeto a la bobina y dicho espejo realiza una deflexión de un rayo de luz, el cual emite un punto luminoso amplificado que se mueve en una escala a cierta distancia del instrumento.

2.2.1.1. Deflexión en estado estable

El galvanómetro no es un instrumento que presente características prácticas ni portátiles y a pesar de esto los principios utilizados en dicho instrumento aún son aplicados en equipos de versiones mucho más modernas.

Figura 4. **Detalles del proceso de construcción de un galvanómetro**



Fuente: Weston Instrumets, Inc. *Detalles del proceso de construcción de un galvanómetro.*
https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=1jnvXKi4JK2s5wKa74bYBw&q=Weston+Instrumets%2C+Inc.&oq=Weston+Instrumets%2C+Inc.&gs_l=img.3...173366.173366..174467...0.0..0.88.88.1.....0.....2j1..gws-wiz-img.shc4od8Pogc. Consulta: 22 de enero de 2018.

La figura 4 muestra la construcción de un galvanómetro de suspensión, junto con las partes del instrumento señalizadas al lado de la figura. Como se observa en la figura previa, se tiene la bobina, suspendida en un campo magnético producido por un imán permite con forma de herradura. La bobina permanece suspendida de manera que le otorga la libertad de girar en el campo magnético. Mientras la corriente fluye por la bobina, se empieza a desarrollar un par electromagnético y la bobina gira gracias a ello.

El par electromagnético es contrastado a la vez por el par mecánico de los resortes de control que se encuentran sostenidos a la bobina móvil. Cuando se llega a un estado de equilibrio de ambos pares, la posición angular que se produce en la bobina es indicada por una aguja con respecto a una referencia la cual es fija, a esta referencia se le llama escala.

A continuación, se presenta la ecuación del par desarrollado, el cual es derivado de las leyes básicas para el par electromagnético.

$$T = B \times A \times I \times N$$

Donde:

- T : par [newton-metro (N-m)]
- B : densidad de flujo en el entrehierro [webers/metro cuadrado (tesla)]
- A : área efectiva de la bobina [m^2]
- I : corriente en la bobina móvil [ampere (A)]
- N : número de vueltas de alambre en la bobina

La ecuación previa indica que el par desarrollado es directamente proporcional a la densidad de flujo del campo en el cual la bobina se encuentra

girando, la corriente que se encuentra en la bobina y las constantes de la bobina, es decir, el área y el número de vueltas del alambre. Gracias a que la densidad del par desarrollado es una indicación directa con respecto a la corriente que se encuentra en la bobina. El par tiene la función de hacer que la bobina deflexione hasta una posición que se llama estado estable, en la cual se encuentra en equilibrio por la oposición del par de los resortes de control.

En la ecuación previa también podemos darnos cuenta que el diseñador puede variar solamente el valor del par de control y el número de vueltas del alambre en la bobina para medir una determinada corriente a cierta escala. El área conocida como área práctica de la bobina, generalmente varía de 0,5 a 2,5 cm^2 , aproximadamente. Las densidades correspondientes al flujo de los instrumentos más modernos varían de 1 500 a 5 000 *gauss*, esto es aproximadamente de 0,15 a 0,5 *teslas*. Gracias a este método, hay una gran variedad de mecanismos disponibles para satisfacer diversas aplicaciones de medición.

Con el fin de brindarle al lector datos verídicos del ámbito laboral, se presenta como ejemplo de unos de los galvanómetros más típicos son los PMMC, el cual es un tablero, con un gabinete de $3\frac{1}{2}$ pulgadas, un intervalo de medición de 1 mA y una deflexión a escala completa de 100 grados de arco, dicho instrumento posee las siguientes características:

- $A: 1,75 \text{ cm}^2$
- $B: 2\ 000 \text{ G (0,2 tesla)}$
- $N: 84 \text{ vueltas}$
- $T: 2,92 \times 10^{-6} \text{ N} - m$
- Resistencia de la bobina : 88 *Ohms*
- Disipación de potencia : 88 μW

2.2.1.2. Comportamiento dinámico

Por el momento se ha considerado el galvanómetro como un instrumento indicador como cualquier otro, en el cual la deflexión de la aguja es directamente proporcional a la magnitud de la corriente aplicada a la bobina. Esto es de utilidad cuando se está trabajando en condiciones de estado estable, en las cuales se requiere obtener una lectura confiable de una corriente directa. Pero, en ciertas aplicaciones el comportamiento dinámico del galvanómetro es importante, como, por ejemplo, en ocasiones cuando se aplica una corriente alterna o variante a un galvanómetro registrador, el registro gráfico que se produce a través del movimiento de la bobina móvil incluye características de respuestas del elemento móvil, debido a esto, es importante considerar el comportamiento dinámico.

Lo que se entiende por comportamiento dinámico de un galvanómetro lo sabemos a partir de la observación mediante interrupciones repentinas de la corriente aplicada, por lo tanto, la bobina regresará de su posición deflactada a su posición cero. Esto se reconoce como resultado de la inercia del sistema móvil, la aguja del galvanómetro pasa por la marca cero en dirección opuesta, y después se mantendrá oscilando alrededor de cero. Dichas oscilaciones se verán reducidas de una manera gradual gracias al amortiguamiento del elemento móvil y finalmente la aguja llegará a su estado de reposo ubicado en cero.

Existen tres cantidades que caracterizan el movimiento de la bobina móvil en el campo magnético:

- El momento de inercia (J) de la bobina móvil sobre el eje de rotación
- El par opuesto (S) desarrollado por la suspensión de la bobina

- La constante de amortiguamiento (D)

La relación de estos tres factores es expresada por una ecuación diferencial, la cual tiene tres posibles soluciones y cada una describe el comportamiento dinámico de la bobina con parámetros dados en función del ángulo de deflexión θ .

2.2.1.3. Mecanismos de bobina-móvil e imán-permanente

A continuación, abordaremos temas de gran importancia para un mecanismo de bobina móvil.

2.2.1.3.1. Movimiento de D'Arsonval

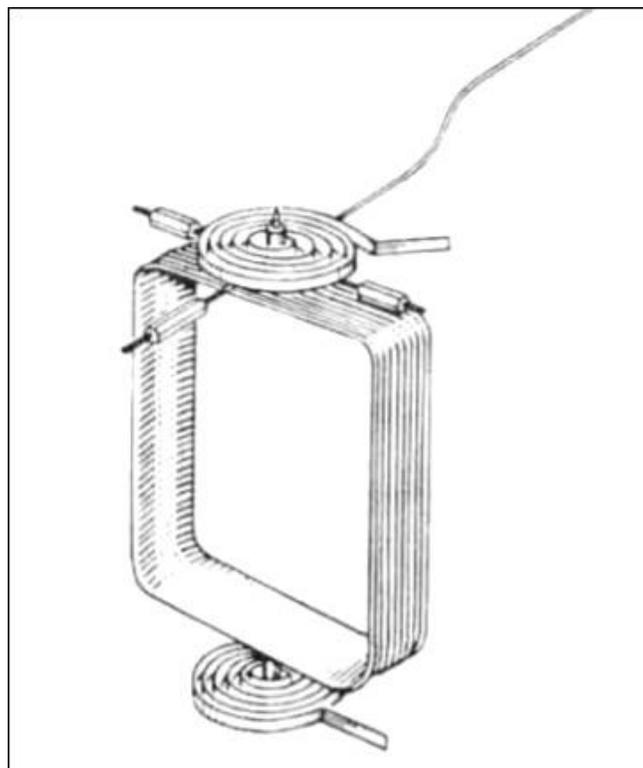
El movimiento del PMMC básico se conoce como movimiento D'Arsonval, en honor que se le concede a su inventor. Este diseño ofrece beneficios como el imán más grande en un espacio dado y se utiliza cuando se requiere flujo máximo en el entrehierro. Dicho instrumento posee muy bajo consumo de potencia y requiere de baja corriente para la deflexión que se da en el galvanómetro.

2.2.1.3.2. Importancia de la construcción del núcleo-magnético

Con el paso del tiempo, con el desarrollo del Alnico y otros materiales magnéticos mejorados, se ha creado la posibilidad del diseño de sistemas magnéticos en los cuales el imán sirve como núcleo. Dichos imanes tienen

ventajas como por ejemplo ser relativamente inertes a campos magnéticos externos, eliminando los efectos de interferencia magnética en la construcción de paneles magnéticos, en donde la operación simultánea y próxima de varios medidores afecta la lectura de uno u otro. La necesidad de blindaje magnético, en la forma de cajas de hierro, también se elimina mediante la construcción tipo núcleo de imán.

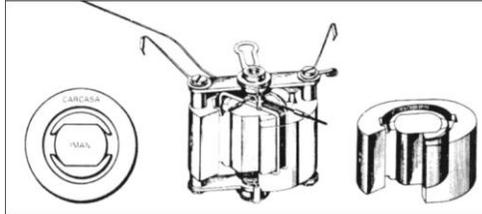
Figura 5. **Detalles de la bobina móvil para un galvanómetro PMMC, se muestran los resortes de control y el indicador (aguja)**



Fuente: Weston Instruments. *Instrumentos indicadores electromecánicos*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=hjrvXLiHNM-J5wLV1LzoDg&q=Weston+Instruments.+Instrumentos+indicadores+electrome3%A1nicos>. Consulta: 22 de enero de 2018.

Figura 6. **Detalles de construcción de un mecanismo tipo bobina móvil de imán magnético**



Fuente: Weston Instruments. *Instrumentos indicadores electromecánicos*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=hjrvXLiHNM-J5wLV1LzoDg&q=Weston+Instruments.+Instrumentos+indicadores+electrome3%A1nicos>. Consulta: 22 de enero de 2018.

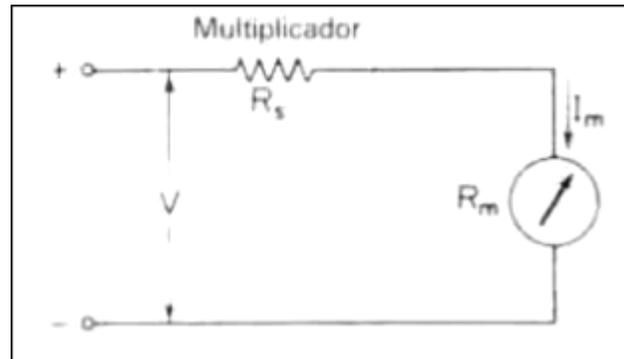
2.2.2. Voltímetros de corriente directa

En la figura 7 se puede observar un circuito de un voltímetro a un nivel muy básico, el cual es capaz de medir corriente directa. El valor de la resistencia multiplicadora necesaria para la escala del voltaje se calcula con base en la figura 7.

2.2.2.1. Resistencia multiplicadora

La resistencia multiplicadora es una limitante para la corriente a través del movimiento, de forma que no sobrepase el valor de la corriente de deflexión a plena escala. Un voltímetro de corriente directa se encarga de medir la diferencia de potencia entre dos puntos en un circuito de corriente directa y, por lo tanto, se debe conectar a través de una fuente fem o de un componente del circuito. Las terminales utilizadas en el medidor generalmente están marcadas con + y -, ya que gracias a esto se puede observar la polaridad.

Figura 7. **Circuito de voltímetro básico de corriente directa**



Fuente: Weston Instruments. *Instrumentos indicadores electromecánicos*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=hjrvXLiHNM-J5wLV1LzoDg&q=Weston+Instruments.+Instrumentos+indicadores+electrome3%A1nicos>. Consulta: 22 de enero de 2018.

Donde:

- I_m : corriente de deflexión a plena escala del movimiento
- R_m : resistencia interna del movimiento
- R_s : resistencia multiplicadora
- V : voltaje a plena escala del instrumento

Por medio de una simple deducción se obtiene que para el circuito de la figura 7.

$$V = I_m(R_s + R_m)$$

Al despejar R , se obtiene:

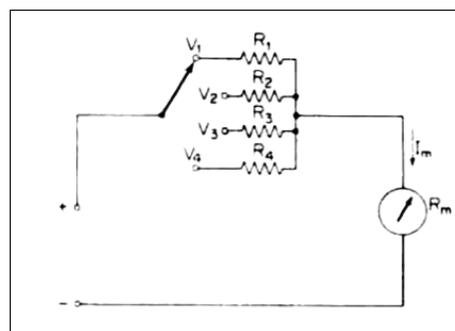
$$R_s = \frac{V - I_m R_m}{I_m} = \frac{V}{I_m} - R_m$$

Normalmente la resistencia multiplicadora se acopla dentro de la caja del voltímetro para escalas de hasta 500 V. Para voltajes que exceden dicho valor, la resistencia multiplicadora se puede instalar fuera del voltímetro sobre un par de postes blindados con el fin de evitar el calor excesivo en el interior del mismo.

2.2.2.2. Voltímetro de rango múltiple

El voltímetro de rango múltiple no es más que la suma de varias resistencias multiplicadoras, junto con un interruptor de rango, este le proporciona al instrumento varias escalas con las cuales poder trabajar. La figura 8 muestra un voltímetro multirango con un interruptor de cuatro posiciones y cuatro resistencias multiplicadoras, las cuales son R_1, R_2, R_3 y R_4 para escalas de voltaje V_1, V_2, V_3 y V_4 respectivamente. Los valores de las resistencias a utilizar son calculados con el método de sensibilidad.

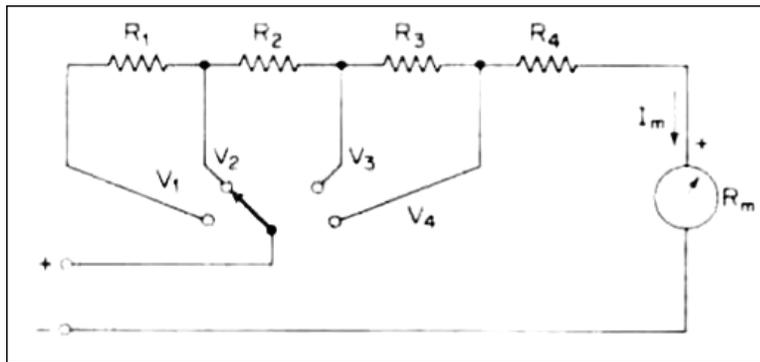
Figura 8. Voltímetro multirango



Fuente: Weston Instruments. *Instrumentos indicadores electromecánicos.*

https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvVXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=voltimetro+de+cd&oq=voltimetro+de+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915...1.0..0.185.2354.7j1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i8i30j0i24j0i10i24.Ww3n7Sm4XtQ. Consulta: 25 de enero de 2018.

Figura 9. **Modelo práctico de resistencias multiplicadoras en un voltímetro multirango**



Fuente: Weston Instruments. *Voltímetro multirango*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=hjrvXLiHNM-J5wLV1LzoDg&q=Weston+Instruments.+Instrumentos+indicadores+electrom3%A1nicos>. Consulta: 26 de enero de 2018.

Una importante diferencia entre las figura 8 y 9 es el hecho de que las resistencias multiplicadoras están conectadas en serie y el selector de escala conmuta la cantidad apropiada de resistencia en serie con el movimiento. Este sistema presenta la ventaja de que todos los resistores multiplicadores, a excepción del primero, tienen resistencias normalizadas y se gracias a ellos se pueden obtener comercialmente con tolerancias de precisión. Solo el resistor multiplicador de la escala baja, R_4 , se debe construir para que cumpla todos los requisitos del circuito.

2.2.2.3. Sensibilidad del voltímetro

La sensibilidad S de un voltímetro es una ventaja en el método de sensibilidad para el cálculo de la resistencia multiplicadora en un voltímetro de corriente directa. Considerando el circuito de la figura 9, donde:

2.2.2.3.1. Régimen de ohms por volt

La sensibilidad S es esencialmente el recíproco de la corriente de deflexión a plena escala del movimiento básico.

$$S = \frac{1}{I_{fsd}} \left[\frac{\text{Ohms}}{\text{Volt}} \right]$$

- S : sensibilidad del voltímetro $\left(\frac{\text{Ohms}}{\text{Volt}} \right)$
- V : escala de voltaje, seleccionado con el interruptor de rango
- R_m : resistencia interna del movimiento (más la resistencia de rango en serie)
- R_s : resistencia multiplicadora

Por lo tanto, para el circuito de la figura 9, se obtiene:

$$R_T = S \times V$$

Y:

$$R_s = (S \times V) - R_m$$

La utilización del método de sensibilidad se ilustra en la sección de voltímetro en el capítulo 3 del trabajo de investigación.

2.2.2.3.2. Efecto de carga

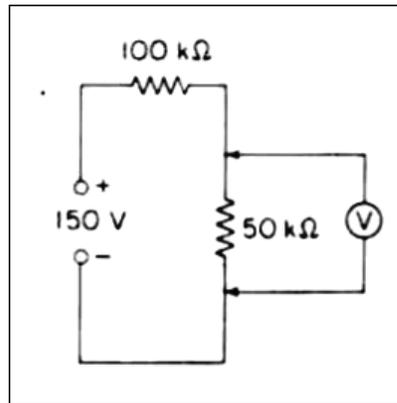
La sensibilidad de un voltímetro de corriente directa es un factor de suma importancia a la hora de seleccionar un medidor para determinadas mediciones de voltaje. Un medidor de baja sensibilidad puede dar lecturas correctas cuando

se miden voltajes en circuitos de baja resistencia, pero podría producir lecturas erróneas en circuitos de alta resistencia. Cuando se conecta un voltímetro, por medio de dos puntos en un circuito altamente resistivo, actúa como un derivador para dicha parte del circuito y en consecuencia a ello reduce la resistencia equivalente en esa parte del circuito. El medidor indicara un voltaje menor del que realmente existe antes de conectar el medidor. A este efecto se le conoce como efecto de carga del instrumento y es causado principalmente por instrumentos de baja sensibilidad.

La confiabilidad y exactitud de los resultados de una prueba representan un punto interesante. Cuando se da el caso de que un voltímetro de corriente directa es poco sensible y sin embargo de alta exactitud, se coloca a través de las terminales de una resistencia alta, al instante el medidor reflejara con exactitud las condiciones de voltaje producidas por el efecto de carga. El error es humano o error grave, ya que no se seleccionó el instrumento adecuado para cierta labor.

El medidor altera el circuito, lo idea en la instrumentación debe ser siempre medir una condición o situación sin afectarla de ninguna forma. El investigador tiene la responsabilidad de estar capacitado para seleccionar un instrumento preciso, confiable y de suficiente sensibilidad para que no afecte lo que está siendo medido. La falla no está en el instrumento altamente exacto sino en el investigador que lo está utilizando de forma errónea. De hecho, un usuario que sea capacitado adecuadamente y se considere un experto en el uso de instrumentos complejos podría calcular el verdadero voltaje, utilizando un medidor poco sensible pero exacto. Por lo tanto, la exactitud siempre se requiere en los instrumentos, la sensibilidad solo se necesita en aplicaciones especiales en las cuales el efecto de carga modifica lo que se está midiendo en dicho momento.

Figura 10. **Efecto de la carga en un voltímetro**



Fuente: Instrumentos indicadores electromecánicos. *Voltímetros de CD.*

https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvVXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=voltimetro+de+cd&oq=voltimetro+de+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915...1.0..0.185.2354.7j1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i8i30j0i24j0i10i24.Ww3n7Sm4XtQ. Consulta: 25 de enero de 2018.

2.2.3. **Amperímetros de corriente directa**

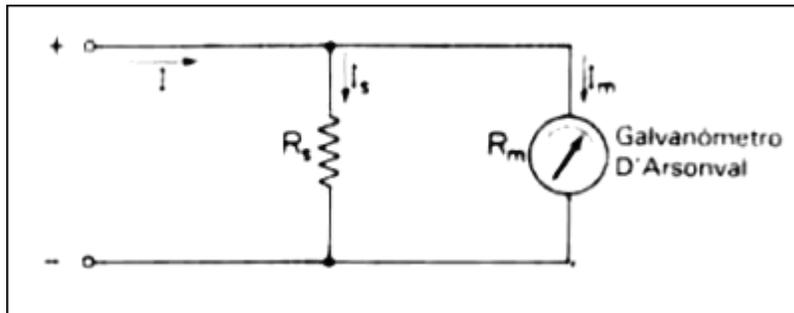
El movimiento básico en lo que a un amperímetro de corriente directa se refiere es un galvanómetro PMMC.

2.2.3.1. **Resistor de derivación**

Debido a que el devanado de la bobina del movimiento básico es pequeño y ligero, solo es capaz de conducir corrientes de pequeña escala. Cuando se miden corrientes elevadas es necesario el desvío de la mayor parte de la corriente por una resistencia, llamada resistencia de derivación.

La resistencia de derivación es calculada por medio de la aplicación de un análisis convencional al siguiente circuito que se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Circuito de un amperímetro básico de corriente directa**



Fuente: Instrumentos indicadores electromecánicos. *Voltímetros de CD.*

https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=voltimetro+de+cd&oq=voltimetro+de+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915...1.0..0.185.2354.7j1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i8i30j0i24j0i10i24.Ww3n7Sm4XtQ. Consulta: 25 de enero de 2018.

Donde:

- R_m : resistencia interna del movimiento (la bobina)
- R_s : resistencia de derivación
- I_m : corriente de deflexión a plena escala del movimiento
- I_s : corriente de derivación
- I : corriente a plena escala del amperímetro incluyendo la de derivación

Debido a que la resistencia de derivación está en paralelo con el movimiento del medidor, el voltaje que se produce a través de la resistencia y el movimiento deben ser iguales, por lo tanto, se puede escribir:

$$V_{\text{derivación}} = V_{\text{movimiento}}$$

$$I_s R_s = I_m R_m \quad y \quad R_s = \frac{I_m R_m}{I_s}$$

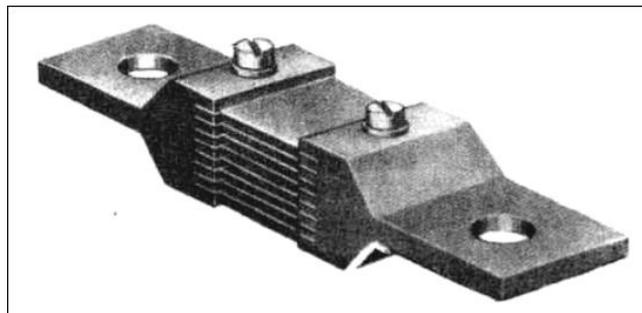
Se sabe que $I_s = I - I_m$, entonces:

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I - I_m}$$

Por lo tanto, para cada valor de corriente necesaria a escala completa del medidor, se puede calcular el valor de la resistencia de derivación requerida.

La utilización de la resistencia de derivación con el movimiento básico puede consistir de un alambre de resistencia de temperatura constante en la caja del instrumento o bien podría ser una derivación externa con una resistencia extremadamente baja.

Figura 12. **Resistencia de derivador de alta corriente para instrumentos de tablero**



Fuente: Weston Instruments. *Instrumentos indicadores electromecánicos*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=hjrvXLiHNM-J5wLV1LzoDg&q=Weston+Instruments.+Instrumentos+indicadores+electrome3%A1nicos>. Consulta: 2 de febrero de 2018.

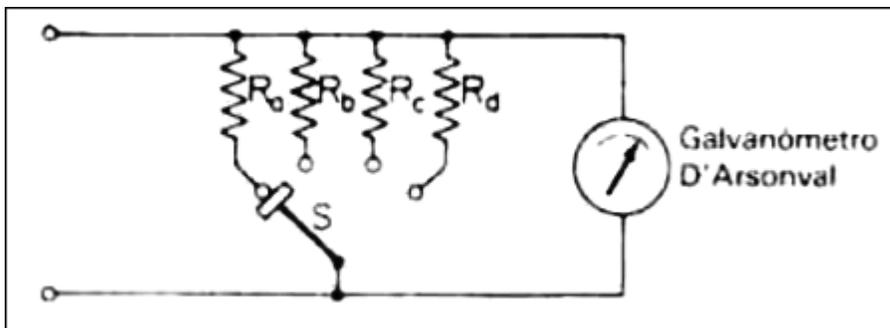
La figura 12 muestra una resistencia en derivación externa. Esta se basa principalmente en hojas de material resistivo igualmente espaciadas soldadas a un bloque pesado de cobre en cada uno de los extremos de las hojas. El material resistivo tiene coeficiente de temperatura extremadamente bajo y

gracias a ello existe un efecto termoeléctrico bajo entre el material resistivo y el cobre. Normalmente se utilizan derivadores externos de este tipo para medir corrientes muy grandes.

2.2.3.2. Derivación de Ayrton

La escala de corriente del amperímetro de corriente directa se puede extender mediante varias resistencias de derivaciones, seleccionadas por un interruptor de rango. Dicho medidor se conoce como un amperímetro multirango.

Figura 13. Diagrama esquemático de un amperímetro multirango simple

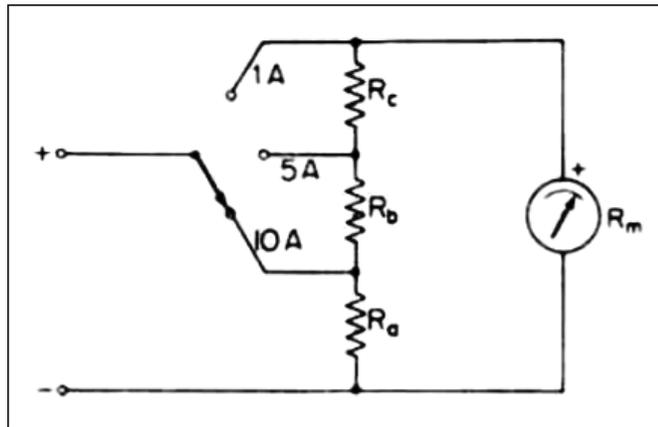


Fuente: Instrumentos indicadores electromecánicos. *Voltímetros de CD*.
https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=voltimetro+de+cd&oq=voltimetro+de+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915...1.0..0.185.2354.7j1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i8i30j0i24j0i10i24.Ww3n7Sm4XtQ. Consulta: 25 de enero de 2018.

Al igual que el voltímetro multirango estudiado previamente, este amperímetro multirango posee cuatro derivaciones R_a , R_b , R_c y R_d las cuales se pueden colocar en paralelo con el movimiento para dar cuatro escalas de corrientes diferentes. El interruptor S de multiposición, del tipo que hace

conexión antes de desconectar, de manera que el movimiento no se vea afectado cuando el circuito se queda sin protección, sin derivación, al cambio de rango.

Figura 14. Derivación universal o derivación de Ayrton



Fuente: Instrumentos indicadores electromecánicos. *Derivación universal o derivación de Ayrton*. https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvVXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=Ayrton+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915. Consulta: 5 de marzo de 2018.

La derivación universal o de Ayrton mostrada en la figura 14 elimina las posibilidades de tener el medidor sin ninguna derivación en el circuito. Dicha ventaja se obtiene de la necesidad de llegar a tener una resistencia total del medidor ligeramente mayor. La derivación de Ayrton da una excelente oportunidad para aplicar la teoría de los circuitos básicos a circuitos prácticos.

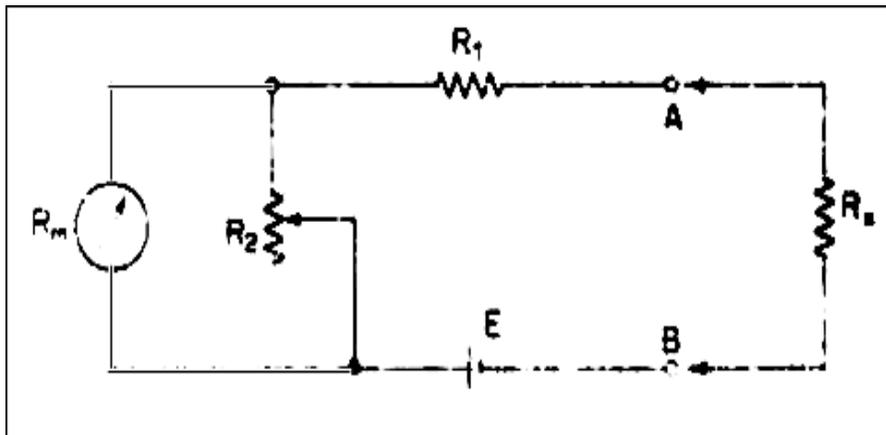
Los amperímetros de corriente directa que existen actualmente en el comercio brindan una variedad de rangos de $20 \mu A$ a $50 A$ a plena escala para medidores autosuficientes y hasta $500 A$ para medidores de derivación externa. Los amperímetros de precisión de laboratorio cuentan con una carta de

calibración, de manera que el usuario puede darse la labor de corregir las lecturas para cualquier error de escala.

2.2.4. Óhmetro tipo serie

El ohmímetro u óhmetro del tipo serie está constituido por un galvanómetro conectado en serie con una resistencia y una batería, en adición a un par de terminales a las cuales se conecta la resistencia desconocida. La corriente que se encuentra en circulación a través del galvanómetro depende de la magnitud de dicha resistencia desconocida y la indicación del medidor es proporcional a su valor, siempre y cuando se estén tomando en cuenta los famosos problemas de calibración de los cuales se hablará más adelante en este mismo trabajo de investigación.

Figura 15. Óhmetro tipo serie



Fuente: Instrumentos indicadores electromecánicos. *Ohmímetros*.

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=dD3vXJ-YMuzm5gLd36aoAg&q=%C3%93hmetro+tipo+serie&oq=%C3%93hmetro+tipo+serie&gsbw>. Consulta: 4 de abril de 2018.

Los elementos que componen un óhmetro como lo muestra la figura 15 son los siguientes:

- R_1 : resistencia limitadora de corriente
- R_2 : resistor de ajuste a cero
- E : batería interna
- R_m : resistencia interna del galvanómetro d'Arsonval
- R : resistor desconocido a ser medido

Cuando se da el caso de que la resistencia desconocida $R = 0$, es decir, que las terminales A y B se encuentren en corto circuito, la corriente que circula en el circuito sería la corriente máxima. En dichas condiciones, la resistencia de derivación se ajustará hasta que el galvanómetro indique la corriente a escala completa.

De la misma forma, cuando $R = \infty$, es decir que las terminales A y B se encuentran abiertas, la corriente en el circuito sería cero, por lo cual marcaría el valor más grande en la escala del galvanómetro o se podría colocar una marca de ∞ en la escala. Se colocarían las marcas intermedias en la escala conectando valores conocidos de resistencia R , en las terminales del instrumento. La exactitud de dichas marcas es dependiente de la exactitud repetitiva del galvanómetro y también de las tolerancias de las resistencias de calibración.

Se debe tomar en cuenta de que aun cuando el óhmetro tipo serie es un diseño popular y se utiliza en diversas áreas de los instrumentos portátiles para diferentes tipos de servicios, tiene ciertas desventajas. La de mayor relevancia se relaciona con la disminución del voltaje de la batería interna con el uso y el

tiempo que se utilice dicho óhmetro, de tal forma que la corriente a escala completa disminuye y el medidor no lee 0 cuando A y B están en cortocircuito.

La resistencia de derivación provee un ajuste para contrarrestar el efecto de la descarga de la batería. Es posible ajustar la aguja a escala completa con R_1 eliminando R_2 , pero con eso cambiaría la calibración en toda la escala. El ajuste de R_2 es una mejor solución ya que la resistencia equivalente del paralelo de R_2 siempre es baja comparada con R_1 , por lo tanto, el cambio requerido en R_2 para el ajuste no cambia mucho la calibración. El circuito de la figura 15 no compensa por completo el envejecimiento de la batería, pero se realiza un buen trabajo dentro de los límites esperados de exactitud del instrumento.

Una cantidad conveniente al uso en el diseño de un óhmetro tipo serie es el valor que se le otorga a R , que produce media deflexión en el medidor. A dicha posición, la resistencia a través de los terminales A y B se define como la resistencia de media escala R_h . El circuito es analizable a partir de que la corriente a escala completa y la resistencia interna del galvanómetro R_m , el voltaje de la batería E y el valor deseado de la resistencia de media escala R_h , si se tiene eso se pueden calcular los valores de R_1 y R_2 .

El diseño se puede analizar ya que al introducir R_h se da una reducción en la corriente de magnitud $\frac{1}{2}$ y la resistencia desconocida debe ser igual a la resistencia interna total del óhmetro.

$$R_h = R_1 + \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$$

La resistencia total que se presenta a la batería es igual a $2R_h$ y la corriente necesaria para la deflexión a media escala es:

$$I_h = \frac{E}{2R_h}$$

Para producir la deflexión a plena escala, la corriente por la batería se debe duplicar, o sea:

$$I_f = 2I_h = \frac{E}{R_h}$$

La corriente de derivación a través de R_2 es:

$$I_2 = I_1 - I_{fsd}$$

El voltaje en la resistencia de la derivación es igual al voltaje en el galvanómetro:

$$E_{sh} = E_m \quad \text{o} \quad I_2 R_2 = I_{fsd} R_m$$

Y:

$$R_2 = \frac{I_{fsd} R_m}{R_2 + R_m}$$

Al sustituir se obtiene:

$$R_1 = R_h - \frac{I_{fsd} R_m R_h}{E}$$

Un cálculo típico de un óhmetro tipo serie se explica en la sección de ejemplos de óhmetros en el capítulo 3 de este trabajo de investigación.

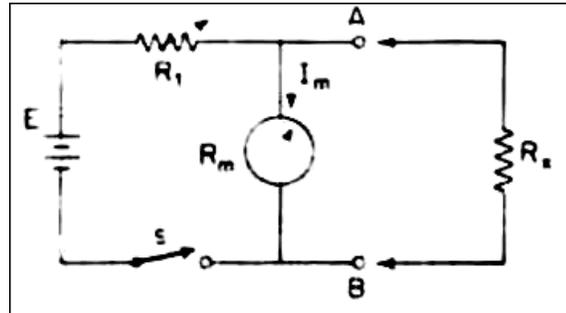
2.2.5. Ohmímetro tipo derivación

El diagrama del circuito de un ohmímetro tipo derivación consiste de una batería en serie con una resistencia de ajuste R_1 y un galvanómetro D'Arsonval. La resistencia desconocida se conecta a través de las terminales A y B , en paralelo con el medidor. Para este circuito es necesario tener un interruptor que desconecte la batería cuando no se use el instrumento. Cuando la resistencia desconocida $R_1 = 0 \text{ Ohms}$ (A y B están en corto circuito), la corriente del medidor es cero.

Si la resistencia desconocida $R_1 = \infty$ (A y B están abiertas), la corriente circulará únicamente a través del medidor y con la apropiada selección del valor de R_1 , se puede hacer que la aguja marque escala completa. De esta forma, el ohmímetro tiene la marca cero en el lado izquierdo de la escala (no circula corriente) y la marca infinita en el lado derecho de la escala (corriente de deflexión a plena escala).

El ohmímetro tipo derivación es adecuado para medir valores bajos de resistencia, no se suelen emplear en los instrumentos de prueba, pero se encuentra en los laboratorios o para aplicaciones especiales de medición de resistencia baja.

Figura 16. Ohmímetro tipo derivación



Fuente: *Ohmímetro tipo derivación.*

<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=dD3vXJ-YMuzm5gLd36aoAg&q=%C3%93hmetro+tipo+serie&oq=%C3%93hmetro+tipo+serie&gsbw>. Consulta: 7 de abril de 2018.

La corriente a escala completa del medidor es:

$$I_{fsd} = \frac{E}{R_1 + R_m}$$

Donde:

- E : voltaje de la batería interna
- R_1 : resistor limitador de corriente
- R_m : resistencia interna del galvanómetro

Al despejar R_1 se obtiene:

$$R_1 = \frac{E}{I_{fsd}} - R_m$$

Para cualquier valor de R_1 conectado a través de las terminales del medidor, la corriente por el medidor decrece y está dada por:

$$I_m = \frac{E}{R_1 + [R_m R_x / (R_m + R_x)]} \times \frac{R_x}{R_m + R_x}$$

O:

$$I_m = \frac{E R_x}{R_1 R_m + R_x / (R_1 + R_m)}$$

La corriente del medidor para cualquier valor de R_x , expresada como una fracción de la corriente a escala completa es:

$$s = \frac{I_m}{I_{fsd}} = \frac{R_x (R_1 + R_m)}{R_1 (R_m + R_x) + R_m R_x}$$

O:

$$s = \frac{R_x (R_1 + R_m)}{R_x (R_1 + R_m) + R_1 R_m}$$

Definiendo:

$$\frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m} = R_p$$

Y sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$s = \frac{R_x}{R_x + R_p}$$

Si se utiliza esta expresión, en el medidor se calibra calculando s en términos de R_x y R_p . Para la lectura de media escala del medidor ($I_m = 0,5I_{fsd}$), la ecuación se reduce a:

$$0.5I_{fsd} = \frac{ER_h}{R_1R_m + R_h(R_1 + R_m)}$$

Donde

- R_h : resistencia externa que produce media deflexión

2.2.6. Vatímetro

El vatímetro es un instrumento capaz de medir la potencia promedio consumida en un circuito. Según la definición de potencia, un vatímetro debe ser un instrumento que realice el producto de dos señales eléctricas, ya que $P = V * I$. El vatímetro tiene su bobina fija dispuesta de forma que toda la corriente del circuito la atraviese, mientras que la bobina móvil se conecta en serie con una resistencia grande y solo deja pasar una parte proporcional del voltaje de la fuente.

El principio en el cual el instrumento funciona es como sigue: supóngase cualquier circuito, tal como un motor eléctrico, una lámpara o un transformador, está recibiendo la corriente eléctrica; entonces, la energía dada a ese circuito contado en vatios es medida por el producto de la corriente que atraviesa el circuito en amperios y la diferencia potencial de los extremos de ese circuito en voltios, multiplicados por cierto factor llamado el factor de la energía en esos casos en los cuales el circuito sea inductivo y el alternarse actual.

Hay dos tipos de vatímetros: los análogos y los digitales. Los análogos la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida. Una corriente que circule por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. La bobina móvil tiene, por regla general, una resistencia grande conectada en serie para reducir la corriente que circula por ella.

El resultado de esta disposición es que en un circuito de corriente continua, la deflexión de la aguja es proporcional tanto a la corriente como al voltaje, conforme a la ecuación $W = VA$ o $P = EI$. En un circuito de corriente alterna la deflexión es proporcional al producto instantáneo medio del voltaje y la corriente, midiendo pues la potencia real y posiblemente (dependiendo de las características de carga) mostrando una lectura diferente a la obtenida multiplicando simplemente las lecturas arrojadas por un voltímetro y un amperímetro independientes en el mismo circuito.

Los vatímetros electrónicos se usan para medidas de potencia directa y pequeña o para medidas de potencia a frecuencias por encima del rango de los instrumentos de tipo electrodinamómetro. Los tríodos acoplados se operan en la porción no lineal de sus curvas características al voltaje de red y la corriente de placa. El rango de frecuencia de un vatímetro electrónico puede extenderse hasta los 20 megahercios usando tubos de pentodos en lugar de tríodos. Las condiciones de operación de un pentodo se ajustan de forma que la corriente de placa sea proporcional al producto de una función lineal del voltaje de placa y a una función exponencial del voltaje de red.

2.2.7. Factor de potencia

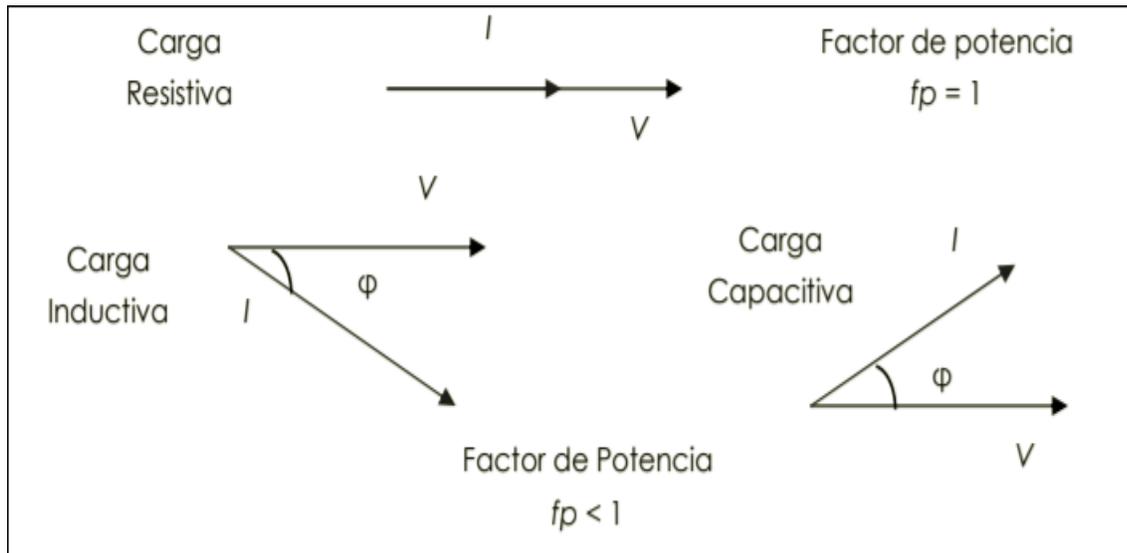
El factor de potencia es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. También, el factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. Como el factor de potencia cambia de acuerdo al consumo y tipo de carga, repasaremos algunos conceptos para expresar matemáticamente el factor de potencia.

2.2.7.1. Definición de potencia

La medición de potencia en corriente alterna es más complicada que la de corriente continua debido al efecto de los inductores y capacitores. Por lo que en cualquier circuito de corriente alterna existen estos tres parámetros de inductancia, capacitancia y resistencia en una variedad de combinaciones. En circuitos puramente resistivos la tensión (V) está en fase con la corriente (i), siendo algunos de estos artefactos como lámparas incandescentes, planchas, estufas eléctricas entre otros.

Toda la energía la transforma en energía lumínica o energía calorífica. Mientras que en un circuito inductivo o capacitivo la tensión y la corriente están desfasadas 90° una respecto a la otra. En un circuito puramente inductivo la corriente está atrasada 90° respecto de la tensión. Y en un circuito puramente capacitivo la corriente va adelantada 90° respecto de la tensión.

Figura 17. **Representación vectorial, para cargas; resistiva, inductiva y capacitiva**



Fuente: La Guía MetAs - MetAs & Metrólogos Asociados. *Representación vectorial, para cargas; resistiva, inductiva y capacitiva.* https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=nD_vXNSaG4a55gLt2IL4CQ&q=Representaci%C3%B3n+vectorial%2C+para+cargas%3B+resistiva%2C+inductiva+y+capacitiva&oq=. Consulta: 11 de junio de 2018.

2.2.7.2. Tipos de potencia

La potencia se puede definir como la capacidad para efectuar un trabajo, en otras palabras, como la razón de transformación, variación o transferencia de energía por unidad de tiempo.

2.2.7.2.1. Potencia activa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Los diferentes dispositivos eléctricos convierten energía eléctrica en otras formas de energía como: mecánica, lumínica, térmica, química, entre otras. Esta energía corresponde a la energía útil o potencia activa o simplemente potencia, similar a la consumida por una resistencia. Expresada en watts.

2.2.7.2.2. Potencia reactiva

$$Q = V \cdot I \cdot \text{Sen } \phi$$

Los motores, transformadores y en general todos los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva es utilizada para la generación del campo magnético, almacenaje de campo eléctrico que, en sí, no produce ningún trabajo. La potencia reactiva está 90 ° desfasada de la potencia activa. Esta potencia es expresada en volts-ampères reactivos. (VAR)

2.2.7.2.3. Potencia aparente

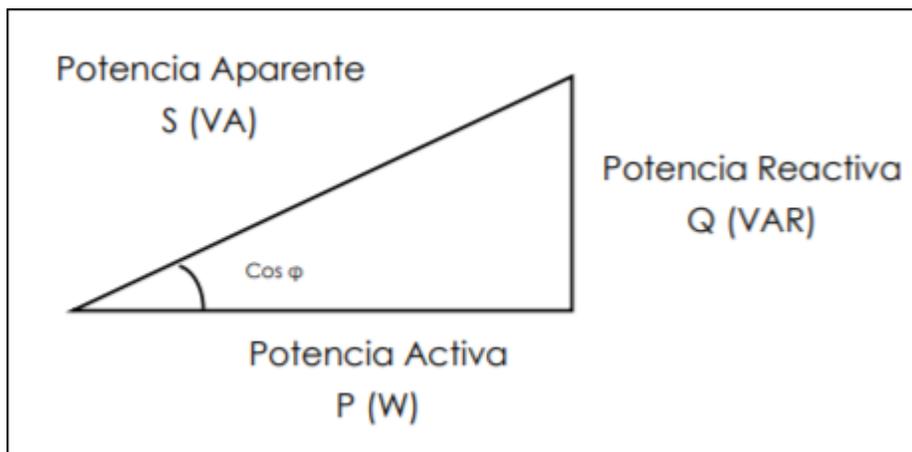
$$S = V \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} < \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$$

Es la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo de la corriente que éste demanda. Es también la resultante de la suma de los vectores de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia es expresada en volts-ampères. (VA)

El factor de potencia (fp) es la relación entre las potencias activa (P) y aparente (S) si las corrientes y tensiones son señales sinusoidales. Si estas son

señales perfectamente sinusoidales el factor de potencia será igual al $\cos \varphi$, o bien el coseno del ángulo que forman los fasores de la corriente y la tensión, designándose en este caso como $\cos \varphi$ el valor de dicho ángulo.

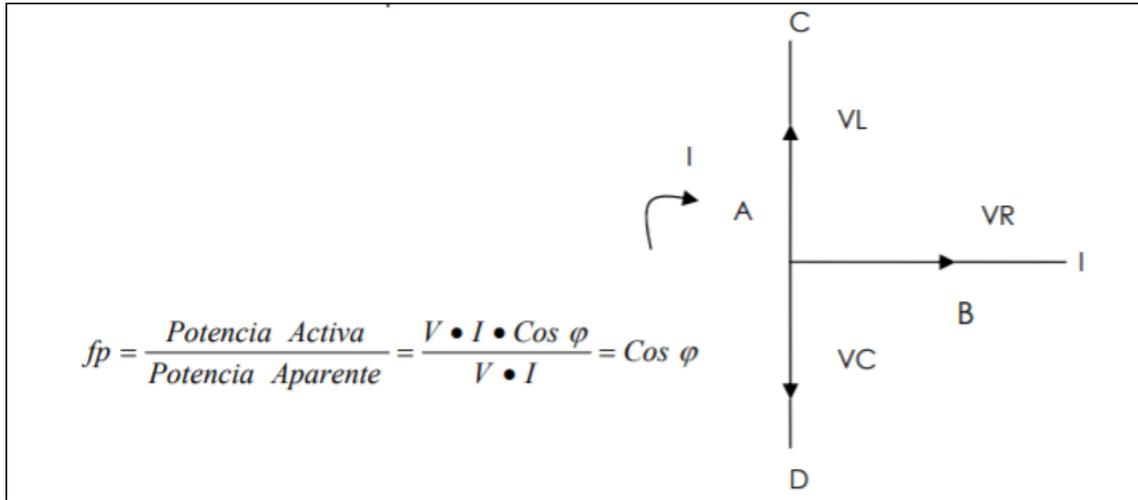
Figura 18. **Triángulo de potencias**



Fuente: La Guía MetAs - MetAs & Metrólogos Asociados. *Triángulo de potencias*
https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=nD_vXNSaG4a55gLt2IL4CQ&q=Representaci%C3%B3n+vectorial%2C+para+cargas%3B+resistiva%2C+inductiva+y+capacitiva&oq=. Consulta: 11 de junio de 2018.

En el triángulo de potencias que se observa gráficamente en la figura 18 es el factor de potencia o $\cos \varphi$ y su relación entre las potencias en un circuito de corriente alterna. El diagrama vectorial de la figura 19 se muestra para un circuito inductivo se observa que la corriente está atrasada a la tensión; existen dos componentes y uno de ellos es el vector AB , en fase con la tensión y es una potencia activa vista en la carga; la otra: componente AC la cual está atrasada 90° representa la potencia reactiva, por lo tanto, la relación entre la potencia activa y aparente es llamado factor de potencia.

Figura 19. **Diagrama de vectores**



Fuente: La Guía MetAs - MetAs & Metrólogos Asociados. *Diagrama de vectores.*

https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=nD_vXNSaG4a55gLt2IL4CQ&q=Representaci%C3%B3n+vectorial%2C+para+cargas%3B+resistiva%2C+inductiva+y+capacitiva&oq= Consulta: 11 de junio de 2018.

2.2.7.3. **Factor de potencia bajo**

La potencia reactiva es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración, entre otros. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia.

Entre las principales consecuencias de un bajo factor de potencia están los siguientes:

2.2.7.3.1. Aumento en la corriente

Incrementan las pérdidas por efecto Joule las cuales son una función del cuadrado de la corriente, ejemplo:

- Los cables entre el medidor y el usuario
- Los embobinados de los transformadores de distribución
- Dispositivos de operación y protección

2.2.7.3.2. Aumento en la caída de tensión

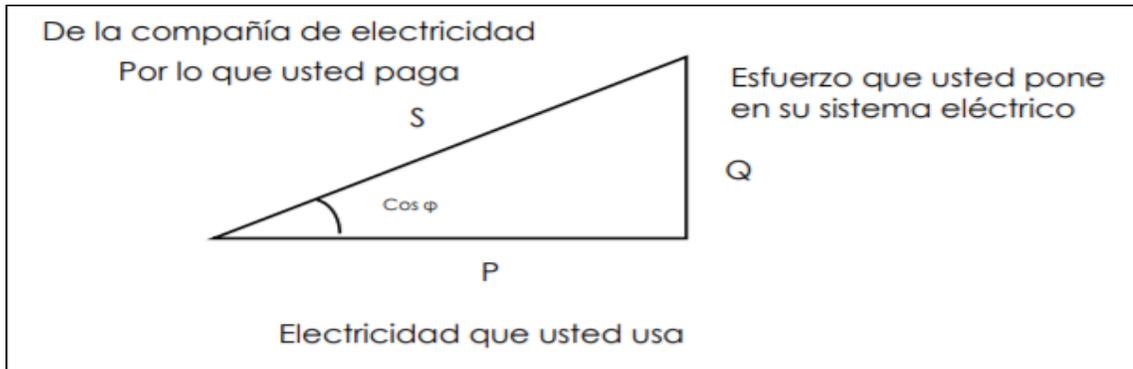
Aumento en la caída de tensión resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas, éstas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de tensión afecta a:

- Embobinados de transformadores de distribución
- Cables de alimentación
- Sistema de protección y control

Estas desventajas también afectan al productor y al distribuidor de energía eléctrica. El productor penaliza al usuario con factor de potencia bajo haciendo que pague más por su electricidad.

Una manera de visualizar las componentes que intervienen en ese incremento del costo de la energía se puede mostrar haciendo referencia al triángulo de potencias de la figura 20.

Figura 20. Representación y correspondencia práctica de las potencias



Fuente: La Guía MetAs - MetAs & Metrólogos Asociados. *Representación y correspondencia práctica de las potencias*. https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=nD_vXNSaG4a55gLt2IL4CQ&q=Representaci%C3%B3n+vectorial%2C+para+cargas%3B+resistiva%2C+inductiva+y+capacitiva&oq=. Consulta: 11 de junio de 2018.

La figura 20 es la mejor forma de comprender de forma gráfica que es el $\cos \phi$ y la estrecha relación con las restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna. Como se observa en el triángulo de la ilustración el $\cos \phi$ representa gráficamente la potencia activa (P) y la potencia aparente (S); es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna. Se puede representar matemáticamente por medio de la siguiente fórmula:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia es la relación entre las potencias activa (P) y aparente (S), si la señal es sinusoidal. Si la onda no fuese perfecta la potencia aparente (S) no estaría únicamente compuesta por la potencia activa (P) y la

potencia reactiva (Q), sino que aparecería una tercera componente suma de todas las potencias que genera la distorsión D . Si se supone que en la instalación hay una tasa de distorsión armónica (THD) alta y debido a que hay corrientes armónicas junto con la tensión a la que está sometido el conductor por el fluyen como resultado una potencia, que si fuese ésta la única distorsión en la instalación, su valor correspondería con el total de las distorsiones D .

2.2.7.4. Conclusiones

- El valor del factor de potencia es determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación. De acuerdo a su definición el factor de potencia es adimensional y puede tomar valores entre 0 y 1.
- En un circuito resistivo puro: $\varphi = 0$.
- Por otro lado, en un circuito reactivo puro, la corriente y la tensión están en cuadratura: $\varphi = 90^\circ$, siendo el factor de potencia igual a cero.
- Cuando en un circuito sea de carácter inductivo se hablará de un factor de potencia en retraso (corriente retrasada respecto a la tensión), mientras que se dice en adelanto cuando es de carácter capacitivo (corriente adelantada respecto a la tensión).
- $\cos \varphi$ solo depende de las potencias activa (P) y reactiva (Q).
- f_p Depende de las potencias activa (P), reactiva (Q) y de las distorsiones (D).
- En el caso que $D = 0$ ambos coincidirán.

2.3. Instrumentación industrial básica y control de procesos

A continuación se presenta la instrumentación industrial básica y el control de procesos.

2.3.1. Mediciones industriales con sensores

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida traducible en función de la variable medida.

El número de sensores disponibles para las distintas magnitudes físicas es tan elevado que no se puede proceder racionalmente a su estudio sin clasificarlos previamente de acuerdo con algún criterio. Según el aporte de energía, los sensores se pueden dividir en:

2.3.1.1. Sensores moduladores

Son aquellos en donde la energía de la señal de salida procede, en su mayor parte de una fuente de energía auxiliar. Estos sensores están basados en la variación de la resistencia eléctrica de un dispositivo son probablemente los más abundantes. La entrada solo controla la salida. Para la clasificación de diversos sensores de esta clase se toma como criterio el tipo de magnitud física a medida. El orden seguido es el de variables mecánicas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas.

2.3.1.1.1. Sensores resistivos

Son aquellos que varían una resistencia en función de la variable a medir. Los sensores basados en la variación de la resistencia eléctrica de un

dispositivo son probablemente los más abundantes. Esto se debe a que son muchas las magnitudes físicas que afectan al valor de la resistencia eléctrica de un material. En consecuencia, ofrecen una solución válida para numerosos problemas de medida. Para la clasificación de diversos sensores de esta clase se toma como criterio el tipo de magnitud física a medida. El orden seguido es el de variables mecánicas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas.

De acuerdo a la variable a medir se clasifican en:

Tabla I. **Clasificación de sensores resistivos según su variable**

Variable	Tipo
Mecánicas	Potenciómetros y galgas extensiométricas
Térmicas	Termo resistencia y termistores
Magnéticas	Magnetoresistencia
Ópticas	Fotorresistencia
Químicas	Higrómetro resistivo

Fuente: elaboración propia.

- Potenciómetros (variables mecánicas)

Se usan para medir desplazamientos. Pueden ser de carbón o enrollados. Los primeros son de tipo analógico, mientras que los otros son discretos. El detalle de estos es que como siempre están en movimiento, se desgasta el material y con el tiempo se vuelve inutilizable.

- Galgas extensométricas (variables mecánicas)

Se usan para medir esfuerzos, fuerzas. Trabajan en la zona elástica de los materiales, las deformaciones que pueden medir están en el orden de los micrómetros. Son económicos y muy versátiles para muchos propósitos

industriales, pero se debe cuidar el margen elástico, el esfuerzo aplicado debe ser transversal a la galga y hay que tomar en cuenta que su valor se ve afectado por la temperatura pues es un resistor.

- Termorresistencias (variables térmicas)

La termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Las termorresistencias de uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados. El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubo metálico cerrado en un extremo que se llena con un polvo aislante y se sella con cemento para impedir que absorba humedad. La relación fundamental para el funcionamiento será así:

$$R_0 = R_t(1 + \alpha t)$$

Donde:

- R_0 : resistencia en ohmios a 0 grados Celsius
- R_t : resistencia a la temperatura t grados Celsius
- α : coeficiente de temperatura de la resistencia

Los materiales utilizados para los arrollamientos de termorresistencias son fundamentalmente de platino, níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno. El método de medición de la temperatura no es directo, ya que lo que se mide es una resistencia mediante un puente de Wheastone, luego se lee el valor de la temperatura correspondiente de tabla de comportamiento de la citada resistencia.

- Termistores (variables térmicas)

Los termistores también son resistencia que varían su magnitud con la temperatura. Se diferencian de las termorresistencia por que están basadas en semiconductores. Por tanto, su característica no es lineal, aunque dentro de un margen adecuado pueda ser considerada de esa manera.

- Magnetorresistencias (variables magnéticas)

La magnetorresistencias es una propiedad que tienen ciertos materiales de variar su resistencia cuando son sometidas a un campo magnético. En esto se basan los sensores de magnetorresistencias, miden variables magnéticas en función de la variación de resistencia que dicha variable ocasiona sobre la materia.

- Fotorresistencias (variable óptica)

Las fotorresistencias o LDR, es un dispositivo que cambia su resistencia por el nivel de incidencia de luz. Está formada por materiales semiconductores.

- Propiedades

- Solo componentes con terminales
- Sensores de diferentes tamaños
- Impermeables o sobre sustrato de cerámica
- Sensitivos en el espectro visible

- Aplicaciones
 - Control de iluminación
 - Retrovisor de automóvil automático

- Higrómetros resistivos (variables químicas)

El higrómetro se utiliza para medir humedad. Se basan en la variación de resistencia que experimentan los materiales por la humedad, como el vapor de agua en un gas o el agua absorbida en un líquido o sólido. Un material típico es el aislante eléctrico, el cual disminuye su resistencia al aumentar su contenido de humedad.

2.3.1.1.2. Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica.

Desde el punto de vista puramente teórico, se dice que el sensor está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno (parte del propio sensor) y otro externo (constituido por una pieza conectada a masa). El electrodo externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a censar, previamente conectado a masa; entonces la capacidad en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto. En cambio, en otras aplicaciones se coloca una masa fija y, entonces, el cuerpo a detectar se utiliza como

dieléctrico se introduce entre la masa y la placa activa, modificando así las características del condensador equivalente.

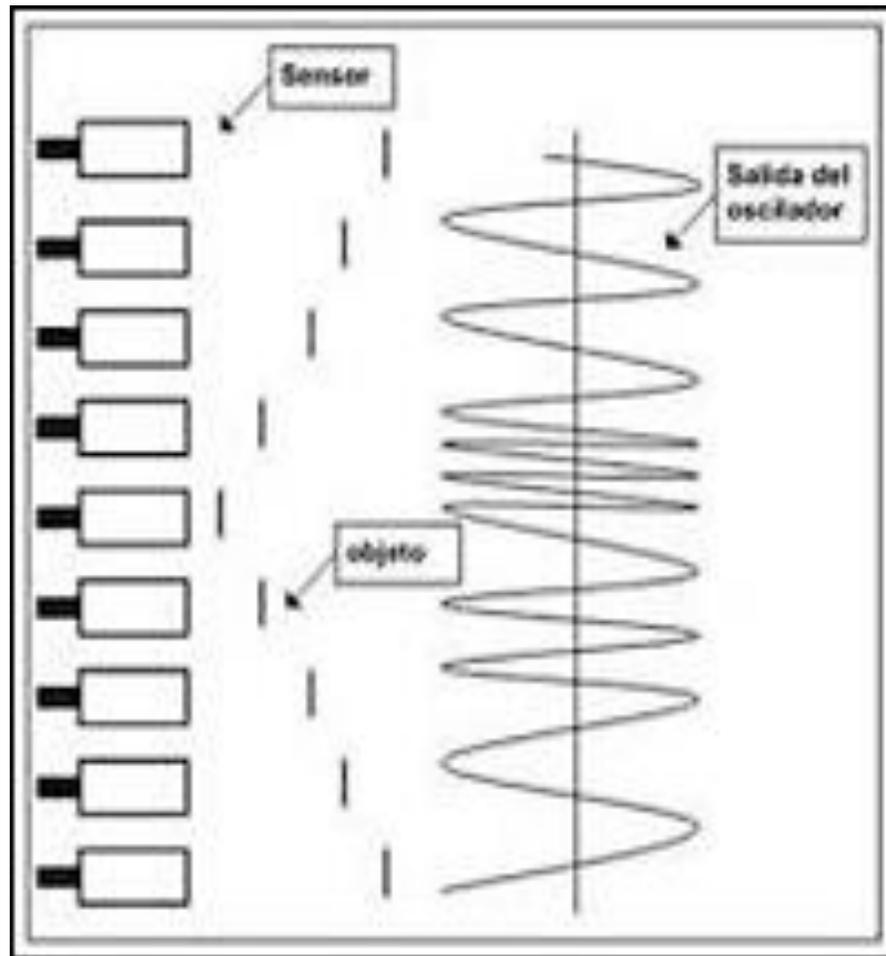
Hay varios métodos electrónicos para detectar proximidad, basados en cambios de la capacidad. Uno de los más simples incluye el condensador como parte de un circuito oscilador diseñado de modo que la oscilación se inicie solamente cuando la capacidad del sensor sea superior a un valor umbral preestablecido. La iniciación de la oscilación se traduce luego en una tensión de salida, que indica la presencia de un objeto. Este método proporciona una salida binaria, cuya sensibilidad de disparo dependerá del valor umbral. La capacidad varía como una función de la distancia para un sensor de proximidad basado en los conceptos anteriores.

Es de interés destacar que la sensibilidad disminuye significativamente cuando la distancia es superior a unos pocos milímetros y que la forma de la curva de respuesta depende del material objeto de detección. En condiciones normales, estos sensores son accionados en un modo binario, de modo que un cambio en la capacidad mayor que en un umbral preestablecido T indica la presencia de un objeto, mientras que los cambios por debajo del umbral indican la ausencia de un objeto con respecto a los límites de detección establecidos por el valor de T .

Forma de onda del circuito oscilador ante variaciones en la proximidad del objeto a detectar.

En las siguientes imágenes se pueden visualizar distintos tipos de sensores capacitivos.

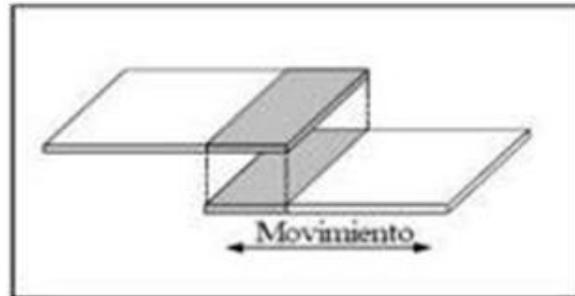
Figura 21. **Sensor capacitivo con variación del área entre placas paralelas**



Fuente: GONZÁLES, Dayana. *Mediciones industriales. Sensor capacitivo con variación del área entre placas paralelas*. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=0ELVxO fz KpGF1fAPqPu62AM&q=Mediciones+industriales++++Dayana+Gonzalez+G.&oq=Medicione+s+>

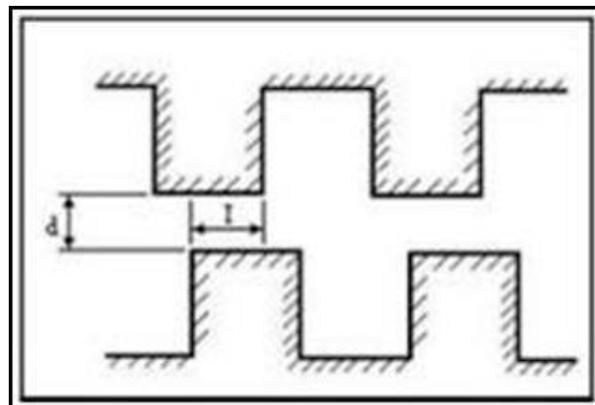
Consulta: 23 de junio de 2018.

Figura 22. **Sensor capacitivo con variación de la distancia entre placas paralelas**



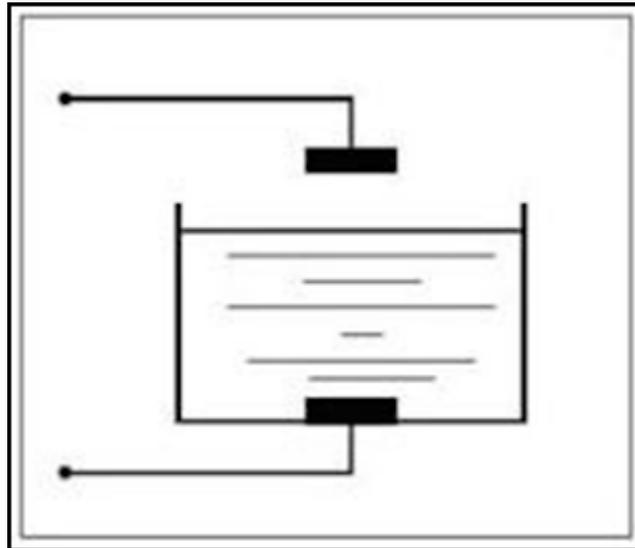
Fuente: GONZÁLES, Dayana. *Mediciones industriales. Sensor capacitivo con variación de la distancia entre placas paralelas*. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=0ELVxO fz K pGF1fAPqPu62AM&q=Mediciones+industriales+++Dayana+Gonzalez+G.&oq=Medicione s+> . Consulta: 23 de junio de 2018.

Figura 23. **Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas**



Fuente: GONZÁLES, Dayana. *Mediciones industriales. Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas*. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=0ELVxO fz K pGF1fAPqPu62AM&q=Mediciones+industriales+++Dayana+Gonzalez+G.&oq=Medicione s+> . Consulta: 25 de junio de 2018.

Figura 24. **Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas**



Fuente: GONZÁLES, Dayana. *Mediciones industriales. Sensor capacitivo con variación en el dieléctrico entre placas paralelas*. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=0ELVxO fz K pGF1fAPqPu62AM&q=Mediciones+industriales+Dayana+Gonzalez+G.&oeq=Mediciones+> . Consulta: 25 de junio de 2018.

- **Condensador variable**

Un condensador variable es aquel en el cual se pueda cambiar el valor de su capacidad. Para tener condensador variable hay que hacer que por lo menos una de las tres variables (constante dieléctrica, distancia entre placas y área de placas) cambie de valor. De este modo, se puede tener un condensador en el que una de las placas sea móvil, por lo tanto, varía la distancia y la capacidad dependerá de ese desplazamiento, lo cual podría ser utilizado, por ejemplo, como sensor de desplazamiento.

- Condensador diferencial

Con los capacitores diferenciales ocurre de forma similar a los anteriores pero en estos se trabaja más la acción provocada por capacitores de tres placas o tres contactos, al mover la placa central, se estará aumentando la capacidad de un lado mientras se disminuye del otro lado de los contactos, de esa forma se logra hacer mediciones de hasta 10^{-13} y de forma lineal, que es una de sus principales características.

2.3.1.1.3. Sensores inductivos

Los sensores inductivos son aquellos que producen una modificación de la inductancia o inductancia mutua por variaciones en un campo magnético. Estas variaciones pueden ser fruto de perturbaciones en el campo, o modificación de la distancia de influencia del campo. Solo hablaremos de dos tipos: la reluctancia variable y la inductancia mutua. Los sensores inductivos son aquellos que producen una modificación de la inductancia o inductancia mutua por variaciones en un campo magnético. Un sensor inductivo se caracteriza por detectar objetos de tipo metálico. Incorporan en su interior una bobina eléctrica que genera un campo magnético lo cual permite detectar metales conductores es, en definitiva, un detector de metales.

El principio básico consiste en conseguir el disparo de señal provocado en el comparador que detecta cambios entre la señal emitida por el oscilador y la señal detectada por el circuito de inducción al aproximarse a un cuerpo que provoque cambios en el campo magnético inicial generado por el oscilador. En realidad, al aproximar el campo magnético generado a un cuerpo metálico conductor, se generan a su vez una inducción eléctrica en dicho conductor.

Esa tensión provoca la aparición de corrientes internas de Foucault que a su vez generan un campo inducido de respuesta al generado por el detector. El campo resultante es detectado en el comparador y ante un cambio desencadena el proceso de detección. Excitando de esa manera la etapa de salida.

La etapa de salida consiste en una etapa transistorizada caracterizada por la activación de un transistor bipolar. Este transistor bipolar puede ser de dos tipos, PNP o NPN. Las tensiones de trabajo de este tipo de sensores son 24 voltios en corriente continua.

- Reluctancia variable

Estos sensores inductivos basan su funcionamiento en el cambio de la reluctancia total de un circuito magnético cuando se modifican las distancias de los entre hierros.

- Inductancia mutua (LVDT)

Este dispositivo cambia la inductancia mutua entre un primario y dos secundarios, pero su salida es un cambio de voltaje modulado, posee varias ventajas que lo hacen atractivo, resolución infinita, bajo roce lo que permite que dure más tiempo y tenga alta fiabilidad, ofrece aislamiento eléctrico entre el primario y los secundarios, alta linealidad entre otros. Es muy usado en la construcción de acelerómetros.

2.3.1.1.4. Sensores electromagnéticos

Los sensores electromagnéticos son aquellos en los que una magnitud física puede producir una alteración de un campo magnético o de un campo eléctrico, sin que se trate de un cambio de inductancia o de capacidad.

- Basados en la ley de Faraday

En un circuito o bobina con N espiras que abarque un flujo magnético, si este varía con el tiempo se induce en él una tensión o fuerza electromotriz, e .

El flujo puede ser variable de por sí (por ejemplo, cuando es debido a una corriente alterna), o bien puede ser que varíe la posición del circuito con respecto al flujo siendo éste constante. Los tacómetros de alterna son del primer tipo, mientras que los tacómetros de continua, los medidores de velocidad lineal y los caudalímetros electromagnéticos son del segundo tipo.

- Basados en el efecto Hall

Genera una tensión de salida dependiendo de la influencia de un campo magnético sobre él. Lo limitan la temperatura y la existencia de un error de cero que depende de inexactitudes físicas del sensor, más trae ventajas como inmunidad frente a condiciones ambientales y así como los basados en la ley de Faraday no requieren de contacto físico para realizar las mediciones.

Tiene como limitación:

- La temperatura cambia la resistencia del material
- Hay un error de cero debido a inexactitudes físicas

Tiene como ventajas:

- Salida independiente de la velocidad de variación del campo magnético.
- Inmune a las condiciones ambientales.
- Sin contacto. Se puede aplicar a la medida de campos magnéticos, medida de desplazamientos.

2.3.1.2. Sensores generadores

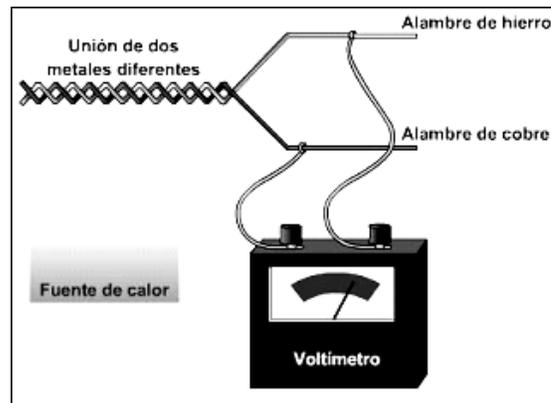
Son aquellos que a partir de la magnitud que miden generan una señal eléctrica, sin necesidad de una alimentación eléctrica. Están basados en efecto reversible y además están relacionados con diversos accionadores o aplicaciones inversas en general; es decir, se pueden emplear para acciones no eléctricas a partir de señales eléctricas.

Esto es una opción para medir muchas magnitudes ordinarias como, por ejemplo: temperatura, fuerza, presión y otras magnitudes afines.

2.3.1.2.1. Termopar

Es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. Están basados en el principio de la termoelectricidad y dependiendo del margen de temperatura y las condiciones ambientales se eligen los materiales para su construcción.

Figura 25. Ilustración de un termopar



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 30.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%A9dez,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

2.3.1.2.2. Tipos de termopar

Consideraciones en las uniones de un termopar:

- Resistencia elevada para no requerir mucha masa, lo que implica alta capacidad calorífica y respuesta lenta.
- Coeficiente de temperatura débil en la resistividad.
- Resistencia a la oxidación a altas temperaturas.
- Linealidad de la respuesta.

Estas propiedades se obtienen mediante las aleaciones se muestran a continuación:

- Tipo K - Chromel / aluminio (aleación de Ni-Al) Alumel): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una

variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1,372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox. Posee buena resistencia a la oxidación.

- Tipo E - (cromo /constantán (aleación de Cu-Ni)): no son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- Tipo J - (hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad de $\sim 52\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Es afectado por la corrosión.
- Tipo N - (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$). (Mediciones Industriales, Ing. Danilo Bermúdez)

- Tipo B - (platino (Pt)-Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a $1.800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los tipo B presentan el mismo

resultado a 0°C y 42°C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50°C .

- Tipo R - (platino (Pt)-Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta $1,300^{\circ}\text{C}$. Su baja sensibilidad ($10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo.
- Tipo S - (platino / Rodio): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los $1,300^{\circ}\text{C}$, pero su baja sensibilidad ($10\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43^{\circ}\text{C}$).

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el rango de temperaturas a determinar.

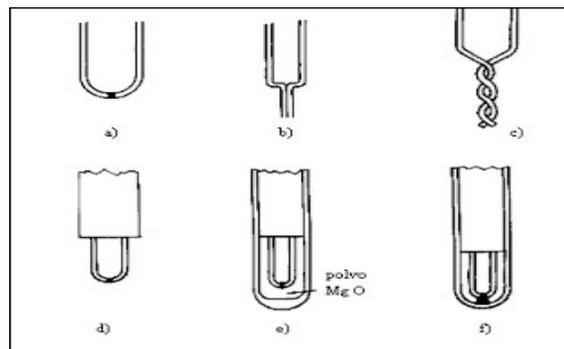
- Características
 - Baja sensibilidad
 - Respuesta no lineal
 - Pequeño tamaño: respuesta más rápida (*ms*)
 - Aceptable estabilidad a largo plazo
 - Aleaciones metálicas con designación normalizada: K, J, T.
 - Se debe mantener una unión a una temperatura de referencia
 - No se debe trabajar a temperaturas superiores a la temperatura de fusión
 - Margen de medida $-270^{\circ}\text{C} < T < 3\ 000^{\circ}\text{C}$
 - La corriente que circule por el termopar debe ser mínima

- *Errores* < 0,5°C
- No tienen problemas de auto calentamiento
- Construcción

Consta de la unión de 2 segmentos de metales de diferente aleación, en un sólo punto. Y los extremos restantes son los terminales donde se conecta el instrumento de medida. A continuación, se presentan las diferentes uniones para construir termopares en función de la aplicación que se sea para el mismo.

- Unión soldada en extremos
- Unión soldada en paralelo
- Hilo trenzado
- Termopar expuesto: respuesta rápida
- Termopar encapsulado: aislamiento eléctrico
- Termopar unido a la cubierta: Aislamiento ambiental

Figura 26. **Ilustración del procedimiento de construcción**



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 40.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

Los termopares actualmente tienen grandes e importantes aplicaciones industriales ya que casi todos los procesos en la industria requieren un estricto control de la temperatura y el uso de termopares ayuda a la automatización del control de la temperatura ya que se pueden implementar programas que ejecuten acciones específicas dependiendo de la temperatura que se tenga en un momento dado del proceso industrial.

Algunas aplicaciones de estos sensores son:

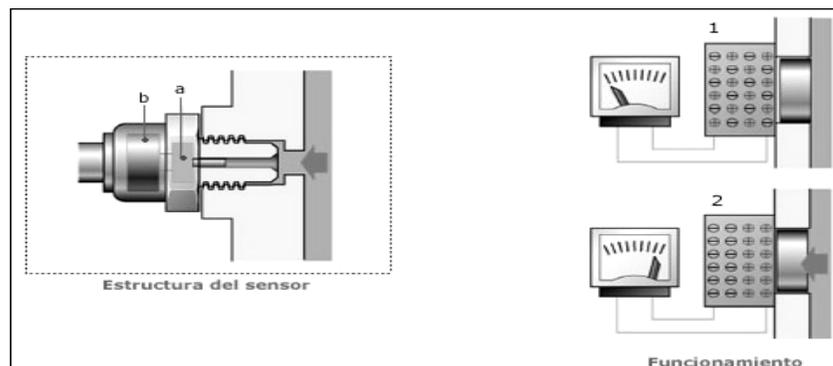
- Industria de la construcción: en el proceso de fabricación del cemento y procesamiento de asfalto.
- Industria metalúrgica: en la salida de los altos hornos
- Industria del plástico y del caucho, en las líneas de extrusión y temperatura de moldes e inyección.
- Industria alimentaria, para controlar la temperatura (mantener la cadena de frío) y en los procesos de fermentación.
- En criogenia (o criotécnica) donde es necesario controlar temperaturas inferiores a 200°.
- En medicina para medir temperaturas de la sangre en el interior del cuerpo humano usando mini elementos térmicos.
- En automoción, para la prueba de motores, de frenos y de neumáticos.

2.3.1.2.3. Sensores piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo. Solamente ocurre en ciertos materiales cristalinos y cerámicos que tienen como propiedad el presentar el efecto piezoeléctrico cuyo principio de funcionamiento consiste en la aparición de una polarización eléctrica bajo la acción de un esfuerzo.

Es un efecto reversible ya que, al aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre dos caras de un material piezoeléctrico, aparece una deformación. Cabe destacar que todos los materiales ferroeléctricos son piezoeléctricos. La propiedad piezoeléctrica está relacionada con la estructura cristalina. Estos efectos fueron descubiertos por Jacque y Pierre Currie en 1880-81, pero solo hasta 1950 con la invención de las válvulas de vacío tuvo una aplicación práctica como sensor, ya que los cristales contaban con una alta impedancia de salida.

Figura 27. **Funcionamiento de un sensor piezoeléctrico de presión**



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 45.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

En la figura 27 se observa el funcionamiento de un sensor piezoeléctrico de presión. En donde se muestra que, sin presión, las cargas del sensor, tienen un reparto uniforme, tal como se muestra en el ejemplo 1 y al actuar una presión, las cargas se desplazan espacialmente, produciéndose una tensión eléctrica mostrándose en el ejemplo 2. Si la presión es mayor, las cargas tienden a separarse, ya que la tensión aumenta. En el circuito electrónico incorporado se intensifica la tensión y se transmite como señal a la unidad de control. La magnitud de la tensión constituye de esa forma una medida directa de la presión reinante en el sistema a controlar.

- Materiales utilizados
 - Naturales más comunes: El cuarzo y la turmalina
 - Sintéticos: cerámicas

- Aplicaciones

Los sensores piezoeléctricos se consideran herramientas versátiles para la medición de distintos procesos, por ejemplo, en garantías de calidad, procesos de control o investigación y desarrollo en diferentes campos industriales. Aunque el efecto piezoeléctrico fue descubierto por Pierre Curie en 1880, no comenzó a ser implementado en las aéreas sensoriales de la industria hasta 1950. Desde entonces, el uso de este principio de medición se ha incrementado, debido a su fácil manejo y su alto nivel de fiabilidad.

Tiene aplicaciones en campos como la medicina, la industria aeroespacial y la instrumentación nuclear, así como en pantallas táctiles de teléfonos móviles. En la industria automovilística, los elementos piezoeléctricos se utilizan para monitorear la combustión durante el desarrollo de motores de combustión

interna, bien montados directamente en hoyos adicionales en la culata o en las bujías, que están equipadas con un sensor piezoeléctrico en miniatura.

- Limitaciones
 - No poseen respuesta en c.c.
 - Deben trabajar por debajo de la frecuencia de resonancia del material.
 - Los coeficientes piezoeléctricos son sensibles a la temperatura. (Cuarzo hasta 260 °C y la termalita 700 °C).
 - La impedancia de salida de los materiales piezoeléctricos es muy baja.
 - Algunos materiales piezoeléctricos son delicuescentes.

- Ventajas
 - Alta sensibilidad y bajo coste.
 - Alta rigidez mecánica (deformaciones experimentadas)

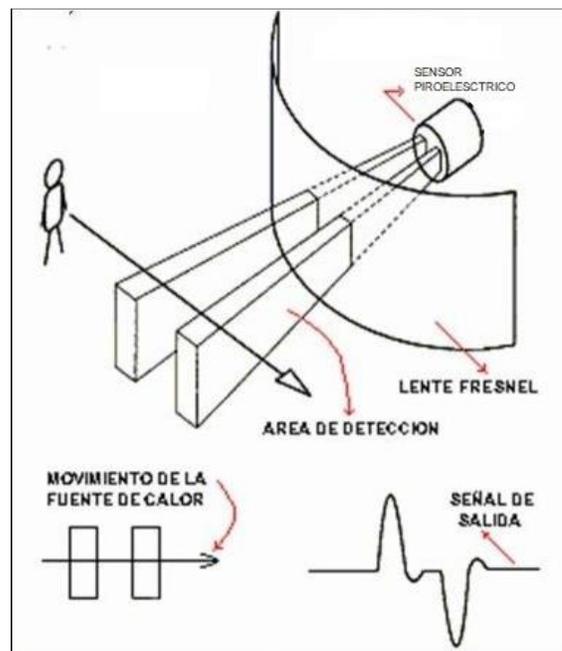
2.3.1.2.4. Sensores piroeléctricos

Los sensores piroelectricos están formados por materiales que tienen propiedad que sometidos a cambios de temperatura experimentan variaciones en la polarización eléctrica, por lo que dichos cambios de temperatura inducen un campo eléctrico en el interior del material, causado por movimiento de cargas positivas y negativas en los extremos opuestos de la superficie. Este tipo de fenómenos ocurre en materiales dieléctricos que tienen polarizaciones espontáneas producidas por dipolos orientados.

- **Funcionamiento del sensor piroeléctricos**

Los sensores piroeléctricos se construyen mediante un elemento semiconductor, en el cual se produce un desplazamiento de cargas cuando sobre él incide radiación infrarroja. Sin embargo, en poco tiempo el sensor vuelve a su condición de equilibrio. Por este motivo es sólo sensible a cambios en la intensidad de la radiación infrarroja. La utilización práctica se hace interrumpiendo el haz infrarrojo mediante un dispositivo mecánico o bien utilizando una fuente intermitente.

Figura 28. **Cambio en un sensor piroeléctrico al detectar movimiento**



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 67.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

- Aplicaciones

Las aplicaciones más comunes de estos sensores piroeléctricos son:

- Medición de temperatura a distancia en hornos, vidrio o metal fundidos).
- Sensores pasivos de infrarrojos
- Medición de radiación.
- Detección de llamas.
- Detección de pérdidas de calor en oficinas, residencias o edificios.
- Mediciones de potencias generadas por fuentes de radiación.
- Analizadores de IR (rayos infrarrojos).
- Detectores de CO₂ y de otros gases que absorben radiación.
- Detectores de IR (rayos infrarrojos) emitidos por el cuerpo humano, para detección de intrusos y de presencia.
- Sistemas de encendido automático de iluminación o de calefacción de viviendas, apertura de puertas.
- Detección de pulsos láser de alta potencia.
- Termómetros de alta resolución ($6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$).

2.3.1.2.5. Sensores fotovoltaicos

Es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida. El sensor de luz más común es el LDR (light dependant resistor o resistor dependiente de la luz). Un LDR es básicamente un resistor que cambia su resistencia cuando cambia la intensidad de la luz. Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos: los sensores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos.

2.3.1.2.6. Tipos de sensores fotovoltaicos

- Barrera de luz

Las barreras tipo emisor-receptor están compuestas de dos partes, un componente que emite el haz de luz, y otro componente que lo recibe. Se establece un área de detección donde el objeto a detectar es reconocido cuando el mismo interrumpe el haz de luz. Estos sensores operan de una manera precisa cuando el emisor y el receptor se encuentran alineados.

- Reflexión sobre espejo

Tienen el componente emisor y el componente receptor en un solo cuerpo, el haz de luz se establece mediante la utilización de un reflector catadióptrico. El objeto es detectado cuando el haz formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido. Debido a esto, la detección no es afectada por el color del mismo. La ventaja de las barreras réflex es que

el cableado es en un solo lado, a diferencia de las barreras emisor receptor que es en ambos lados.

- Reflexión sobre objeto

La luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra este y cambia de dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y el elemento sea censado, un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambios. Hay dos tipos de fotocélulas de reflexión sobre objeto, las de reflexión difusa y las de reflexión definida.

- Reflexión difusa

En las fotocélulas de reflexión difusa sobre el objeto el emisor lanza un haz de luz; los rayos del haz se pierden en el espacio si no hay objeto, pero cuando hay presencia de objeto, la superficie de éste produce una reflexión difusa de la luz, parte de la cual incide sobre el receptor y se cambia así la señal de salida de la fotocélula.

- Reflexión definida

La reflexión en la superficie del objeto a detectar por las fotocélulas de reflexión definida normalmente es de carácter difuso, como en los sensores de reflexión difusa, o sea que los rayos reflejados salen sin una trayectoria determinada.

Esto es muy importante, para no caer en la falsa idea de que la diferencia respecto a los sensores de reflexión difusa está en el tipo de reflexión; lo está en el tipo de óptica empleada. En las fotocélulas de reflexión definida la fuente

de luz está a una distancia mayor que la distancia focal, por lo que el haz converge a un punto del eje óptico.

- Aplicaciones

Las aplicaciones pueden ir desde encender un bombillo hasta suministrar energía a un conjunto residencial o ciudad.

2.3.1.2.7. Sensores electroquímicos

Los sensores electroquímicos adecuados para determinar el contenido de oxígeno y los constituyentes nocivos del gas tales como CO, SO₂ o NO_x, funcionan basándose en el principio de la valoración potenciométrica sensible a los iones.

Los sensores están rellenos con un electrolito acuoso, específico para la tarea, en el que están dispuestos dos o tres electrodos, igualmente combinados específicamente, entre los que hay un campo eléctrico. Los sensores están sellados del exterior mediante membranas permeables al gas.

El diseño específico y el funcionamiento de los sensores difieren según el componente del gas a medir.

2.3.1.2.8. Tipos de sensores electroquímicos

- Sensor de oxígeno (sensor de dos electrodos)

Los gases de combustión y las moléculas de oxígeno contenidas en ellos penetran a través de la membrana permeable al gas hasta el cátodo. Debido a su composición material, tiene lugar una reacción química en el cátodo con la formación de iones OH (los iones son partículas cargadas). Estos iones migran al ánodo a través del electrolito, creando un flujo de corriente proporcional a la concentración de O₂. La caída de tensión desarrollada en una resistencia situada en el circuito sirve luego como señal de medición que se utiliza para el procesado electrónico posterior.

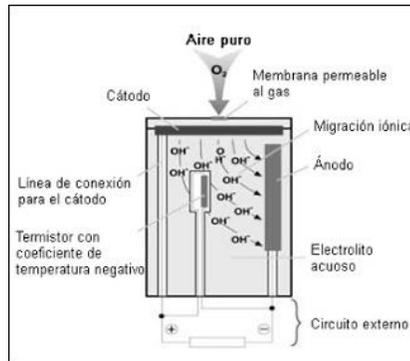
La resistencia incorporada con coeficiente de temperatura negativo (NTC), se usa para compensar los efectos de la temperatura, garantizando así que el sensor permanezca estable frente a los cambios de temperatura.

- Sensores para CO, SO₂ y NO_x (sensor de tres electrodos)

Para componentes del gas tales como CO, SO₂ o NO_x, se usan sensores con tres electrodos.

Las moléculas de monóxido de carbono (CO) pasan, a través de la membrana permeable al gas, al electrodo de trabajo donde se forman iones H⁺ como consecuencia de una reacción química. Estos migran en el campo eléctrico al contraelectrodo, donde se genera un flujo de corriente en el circuito externo mediante otra reacción química desencadenada por el oxígeno (O₂) del aire puro, también aportado. El tercer electrodo (electrodo de referencia) sirve para estabilizar la señal del sensor. (Mediciones Industriales, Ing. Danilo Bermúdez).

Figura 29. **Funcionamiento de la cámara de un sensor electroquímico**



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 70.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

2.3.1.3. **Sensores digitales**

Los sensores digitales son aquellos que frente a un estímulo pueden cambiar de estado ya sea de cero a uno o de uno a cero, en este caso no existen estados intermedios y los valores de tensión que se obtienen son únicamente dos.

2.3.1.3.1. **Tipos de sensores digitales**

Se distinguen dos tipos de sensores digitales, los primeros ofrecen directamente una señal digital a partir de una entrada analógica; este grupo lo forman los codificadores de posición. El segundo tipo es el de los sensores que se basan en un fenómeno físico de tipo oscilatorio, traducido posteriormente por un sensor modulador convencional. Los sensores de este grupo se denominan autor resonantes, de frecuencia variable, o casi digitales y necesitan un circuito electrónico posterior (un contador) para obtener la señal digital deseada.

A continuación, se muestran algunos de los diferentes tipos de sensores digitales que se encuentran:

Tabla II. **Clasificación de sensores resistivos según su variable**

Magnitud	Transductor
Posición lineal y angular	Encoder
	Sensor Hall
Desplazamiento y formación	Magnetoestrictivos
Velocidad lineal y angular	Encoder
	Detector inductivo
	Servo-inclinómetros
	Giroscopio
Fuerza y par	Triaxiales
Presión	Manómetros digitales
Proximidad	Final de carrera
	Sensor IR
Distancia	Ultrasónicos
Presencia y movimiento	Sensor PIR

Fuente: elaboración propia.

2.3.1.3.2. Sensores ultrasónicos

Un sensor de ultra sonidos es un dispositivo para medir distancias. Su funcionamiento se basa en el envío de un pulso de alta frecuencia, no audible por el ser humano. Este pulso rebota en los objetos cercanos y es reflejado hacia el sensor, que dispone de un micrófono adecuado para esa frecuencia.

Midiendo el tiempo entre pulsos, conociendo la velocidad del sonido, podemos estimar la distancia del objeto contra cuya superficie impacto el impulso de ultrasonidos.

2.3.1.3.3. Funcionamiento de sensor ultrasónico

El sensor se basa simplemente en medir el tiempo entre el envío y la recepción de un pulso sonoro. Se sabe que la velocidad del sonido es 343 m/s en condiciones de temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 50% de humedad, presión atmosférica a nivel del mar. Transformando unidades resulta:

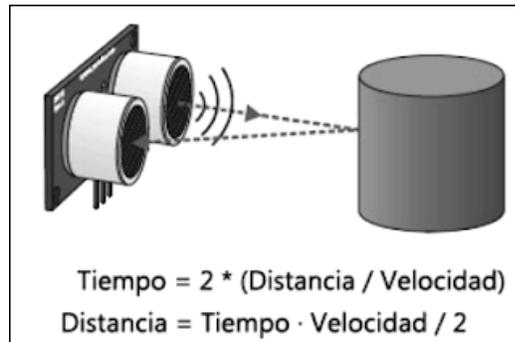
$$343 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \cdot \frac{1 \text{ s}}{1\,000\,000 \mu\text{s}} = \frac{1 \text{ cm}}{29,2 \mu\text{s}}$$

Es decir, el sonido tarda $29,2$ microsegundos en recorrer un centímetro. Por tanto, se puede obtener la distancia a partir del tiempo entre la emisión y recepción del pulso mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Distancia (cm)} = \frac{\text{Tiempo}(\mu\text{s})}{29,2 \cdot 2}$$

El motivo de dividir por dos el tiempo (además de la velocidad del sonido en las unidades apropiadas, que hemos calculado antes) es porque hemos medido el tiempo que tarda el pulso en ir y volver, por lo que la distancia recorrida por el pulso es el doble de la que se quiere medir.

Figura 30. **Diagrama de funcionamiento de un sensor ultrasónico**



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 25.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

2.3.2. Retroalimentación

Los sistemas de control pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado, según si la variable controlada no tiene un efecto retroactivo sobre el sistema que la está controlando, o si, por lo contrario, sí lo tiene.

En este artículo en particular trataremos el proceso de la realimentación en sus distintas formas teniendo en cuenta su utilidad, su clasificación, efectos elementos, entre otros.

En un sistema de control de la velocidad de un motor, por ejemplo, la modificación de la variable controlada (la velocidad) se realiza a través de una acción de algún tipo. Se comprende que esta acción ocurre gracias a un sistema de corrección de velocidad que es un sistema en lazo cerrado.

2.3.2.1. Cronología

El uso de la retroalimentación con el objeto de controlar un sistema ha tenido una historia fascinante:

Las primeras aplicaciones del control con retroalimentación se basan en los mecanismos regulados con flotador desarrollados en Grecia en el periodo 0 a 300 a.c. El reloj de agua de Ktesibios usaba un reloj con flotador. Una lámpara de aceite inventada por Pílon en el año 250 a.c., usaba un regulador con flotador para mantener un nivel constante de aceite.

El primer sistema con retroalimentación inventado en la Europa moderna, fue el regulador de temperatura de Cornelis Drebbel (1572-1633) de Holanda.

En 1681, Dennis Papin (1647-1712) inventó el primer regulador para calderas de vapor. El regulador de presión fue una especie de regulador semejante a la válvula de las ollas a presión.

El primer regulador con retroalimentación automática usado en un proceso industrial fue el regulador centrífugo de James Watt desarrollado en 1769 para controlar la velocidad de una máquina de vapor.

El regulador de nivel de agua a base de flotador que se dice fue inventado por I. Polzunov en 1765, es el primer sistema histórico dado a conocer por la unión soviética. El flotador detecta el nivel de agua y controla la válvula que tapa la entrada de la caldera.

2.3.2.2. Realimentación en amplificadores

La realimentación en amplificadores se emplea para modificar sus características de funcionamiento.

Una parte de la señal de salida se aplica a la entrada. En la mayoría de los casos se resta de la señal de entrada. Esto se denomina realimentación negativa o degenerativa. Sin embargo, se puede sumar a la señal de entrada, en cuyo caso la realimentación se denomina positiva o regenerativa. La realimentación negativa estabiliza la ganancia del amplificador, aumenta el ancho de banda y reduce el ruido de distorsión. Es característica importante de los amplificadores operacionales.

La realimentación positiva tiene justamente el efecto contrario. Se emplea raramente en amplificadores usándose principalmente en osciladores. La realimentación también afecta a las impedancias de entrada y salida de los amplificadores. La forma en que cambian estos dependen del tipo de realimentación.

2.3.2.3. Control por realimentación

Por control automático o control por realimentación (o retroalimentación) se entiende que el dispositivo alcanza de forma automática los valores establecidos para sus variables de estado (*output*) de forma muy precisa, a pesar de las variaciones que puedan producirse en la entrada (*input*) del dispositivo.

El control por realimentación se llama también control de ciclo cerrado, frente a los sistemas de control de ciclo abierto, donde no hay comparación de

las variables de estado con los valores deseados para las mismas. El sistema se realimenta a sí mismo, pues el control óptimo se obtiene como función del estado real del sistema. La misma variable que se desea regular retroalimenta el regulador o dispositivo de control. De esta forma, el control por *feedback* es autocorrectivo, por lo que, si en el sistema se produce una perturbación imprevista, el sistema es capaz de corregirla.

El *feedback* o control de realimentación es el mecanismo básico por el cual los sistemas, sean mecánicos, eléctricos, o biológicos, mantienen su equilibrio u homeóstasis. En las formas de vida superiores, las condiciones bajo las cuales la vida puede mantenerse son muy estrictas. Un cambio en la temperatura corporal de medio grado centígrado es normalmente un signo de enfermedad. La homeóstasis del cuerpo se mantiene gracias al uso del control por retroalimentación.

2.3.2.4. Ciclo del lazo

En un sistema de lazo cerrado, es de mucha importancia el tiempo que el sistema tarda en hacer una corrección, evaluar su efectividad, y volver a corregir. Este tiempo se conoce como ciclo del lazo.

Si el ciclo del lazo es lento, la variable controlada sufrirá fluctuaciones lentas. Si el ciclo del lazo es rápido las fluctuaciones serán rápidas. Según cual sea la variable controlada se debe determinar el tiempo del lazo, pero en todos los casos existirán fluctuaciones, lentas o rápidas, en un sistema de lazo cerrado.

En un sistema de lazo abierto no hay fluctuaciones, pero esto no significa que sea mejor que el de lazo cerrado.

2.3.2.5. Efectos

Ahora véanse los efectos de la realimentación en varios aspectos del desempeño de los sistemas:

- Efectos de la realimentación en la ganancia global: es decir, la realimentación puede incrementar la ganancia del sistema en un intervalo de frecuencias, pero reducirlas en otro.
- Efectos de la realimentación en la estabilidad: la estabilidad es la noción que describe si un sistema es capaz de seguir los comandos de la entrada, o en general si dicho sistema es útil. Por tanto, se debe establecer que la realimentación puede ocasionar que un sistema que es originalmente estable, se convierta en inestable; concluyendo se puede determinar que referente a la estabilidad, la realimentación puede ser un arma de doble filo, cuando no se usa adecuadamente, puede ser dañina.
- Efectos de la realimentación en la sensibilidad: para esto se debe saber que un buen sistema de control debe ser insensible a las variaciones de los parámetros (temperatura), pero sensible a los comandos de entrada. La sensibilidad de la ganancia de un sistema realimentado a la variación de los parámetros depende de donde estén localizados los parámetros.
- Efectos de la realimentación sobre perturbaciones externas o ruido: todos los sistemas están sujetos a algunos tipos de señales exógenas o ruido durante su operación, por tanto, el diseño para estos sistemas sea insensible a estas perturbaciones y sensibles a comandos de entrada; en general, no se pueden sacar muchas conclusiones, pero la

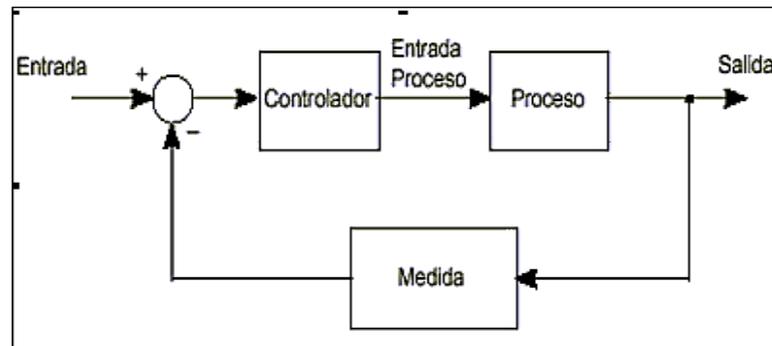
realimentación puede reducir los efectos del ruido y las perturbaciones en el desempeño del sistema.

2.3.2.6. Elementos

Los elementos esenciales que aparecen en un sistema de control por realimentación son:

- Primero, un elemento que mide las variables de estado (*output*).
- Segundo, un medio de comparar esa salida con el valor deseado para la misma.
- Tercero, un método de realimentar esta información a la entrada (variables de control) de tal forma que se minimiza la desviación de la salida respecto al nivel deseado.
- Los sistemas o procesos de control suelen ser representados de modo conveniente mediante diagramas funcionales en los que se visualiza el papel de cada uno de los órganos del sistema. Un ejemplo podría ser el de la figura siguiente.

Figura 31. Ejemplificación de un control de retroalimentación



Fuente: BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. p. 25.

<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p>

Consulta: 5 de marzo de 2019.

Se representa en la figura un proceso físico, mecánico, biológico, entre otros, con una entrada previsible dentro de ciertos límites, pero no exactamente, y una salida deseable q_D . El valor real de la salida q_0 es detectado por una unidad de medida que envía una señal a un elemento diferenciador. Este mide la diferencia o error $q_D - q_0$ y transmite una señal a la unidad controladora, la cual actúa sobre el proceso de forma adecuada a fin de anular dicho error.

Obviamente, la estabilidad es una cualidad deseable de cualquier sistema de control. Es necesario que la perturbación que se efectúa en los controles a fin de corregir el error de desviación en la salida no cause una alteración excesiva en sentido contrario al de dicha desviación. De ser así, el error del proceso pasaría alternativamente de un sentido al otro, desvirtuándose el sistema de control en su propia finalidad. Un sistema de control inestable puede ejemplificarse en la marcha de un aprendiz de ciclista. Un pequeño error inicial de dirección y equilibrio es corregido con intensidad creciente, acabando inexorablemente el recorrido con una caída.

2.3.2.7. Utilidad

El control por realimentación puede definirse como el uso de las propias variables de estado como medio de controlar el comportamiento del sistema. Un ejemplo de la vida diaria de un sistema de control por retroalimentación es el control de la velocidad de un automóvil, que usa la diferencia entre la velocidad real y la deseada para variar el flujo de combustible. Ya que la salida del sistema se usa para regular su entrada, tal dispositivo se dice que es un sistema de control de bucle cerrado.

Para los efectos de la realimentación sobre un sistema de control, es esencial examinar el fenómeno en el más amplio sentido. Cuando la realimentación es introducida en forma de liberada para propósitos de control, su existencia se identifica fácilmente. Sin embargo, existen numerosas situaciones en donde un sistema físico, que normalmente se reconocería como un sistema inherentemente no realimentado, se vuelve uno realimentado cuando se observa de cierta manera. En general, se establece que cuando una secuencia cerrada de relaciones causa-efecto existe entre las variables de un sistema, se dice que existe realimentación.

2.3.2.8. Tipos de sistemas

Los sistemas de control realimentados se pueden clasificar en diversas formas, dependiendo del propósito de la clasificación. Por ejemplo, de acuerdo con el método de análisis y diseño, los sistemas de control se clasifican en lineales y no lineales, variantes con el tiempo o invariables con el tiempo. De acuerdo con los tipos de señales usados en el sistema, se hace referencia a sistemas en tiempo continuo y en tiempo discreto, o sistemas modulados y no modulados. A menudo, los sistemas de control se clasifican de acuerdo con su

propósito principal. Por ejemplo, un sistema de control de posición y un sistema de velocidad controlan las variables de salida de acuerdo con la forma como su nombre lo indica.

2.3.3. Errores de calibración

El error de medición se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero.

2.3.3.1. Instrumentos de medición y errores

Afectan a cualquier instrumento de medición y pueden deberse a distintas causas. Las que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones y compensaciones, se denominan determinísticos o sistemáticos y se relacionan con la exactitud de las mediciones. Los que no se pueden prever, pues dependen de causas desconocidas, o estocásticas se denominan aleatorios y están relacionados con la precisión del instrumento.

- Error aleatorio. No se conocen las leyes o mecanismos que lo causan por su excesiva complejidad o por su pequeña influencia en el resultado final.
- Error sistemático. Permanecen constantes en valor absoluto y en el signo al medir, una magnitud en las mismas condiciones, y se conocen las leyes que lo causan.

2.3.3.1.1. Causas de errores de medición

Aunque es imposible conocer todas las causas del error es conveniente conocer todas las causas importantes y tener una idea que permita evaluar los errores más frecuentes. Las principales causas que producen errores se pueden clasificar en:

- Error debido al instrumento de medida
- Error debido al operador
- Error debido a los factores ambientales
- Error debido a las tolerancias geométricas de la propia pieza

2.3.3.1.2. Errores debidos al instrumento de medida

Cualquiera que sea la precisión del diseño y fabricación de un instrumento presentan siempre imperfecciones. A estas, con el paso del tiempo, se les tiene que sumar las imperfecciones por desgaste.

- Error de alineación.
- Error de diseño y fabricación.
- Error por desgaste del instrumento.

Debido a este tipo de errores se tienen que realizar verificaciones periódicas para comprobar si se mantiene dentro de unas especificaciones.

- Error por precisión y forma de los contactos.

2.3.3.1.3. Errores debidos al operador

El operador influye en los resultados de una medición por la imperfección de sus sentidos, así como por la habilidad que posee para efectuar las medidas. Las tendencias existentes para evitar estas causas de errores son la utilización de instrumentos de medida en los que elimina al máximo la intervención del operador.

Error de mal posicionamiento. Ocurre cuando no se coloca la pieza adecuadamente alineada con el instrumento de medida o cuando con pequeños instrumentos manuales se miden piezas grandes en relación de tamaño. Otro ejemplo es cuando se coloca el aparato de medida con un cierto ángulo respecto a la dimensión real que se desea medir.

Error de lectura y paralaje. Cuando los instrumentos de medida no tienen lectura digital se obtiene la medida mediante la comparación de escalas a diferentes planos. Este hecho puede inducir a lecturas con errores de apreciación, interpolación, coincidencia, entre otros. Por otra parte, si la mirada del operador no está situada totalmente perpendicular al plano de escala aparecen errores de paralaje.

- Errores que no admiten tratamiento matemático. Error por fatiga o cansancio.

2.3.3.1.4. Errores debidos a los factores ambientales

El más destacado y estudiado es el efecto de la temperatura en los metales dado que su influencia es muy fuerte.

- Error por variación de temperatura. Los objetos metálicos se dilatan cuando aumenta la temperatura y se contraen al enfriarse. Este hecho se modeliza de la siguiente forma.

Variación de longitud = coeficiente de dilatación específico x longitud de la pieza x variación temperatura ($\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$)

- Otros agentes exteriores. Influyen mínimamente como humedad, presión atmosférica, polvo y suciedad en general. También de origen mecánico, como las vibraciones del mundo. Al igual de la tierra.

2.3.3.1.5. Errores debidos a las tolerancias geométricas de la propia pieza

Las superficies geométricas reales de una pieza implicada en la medición de una cota deben presentar unas variaciones aceptables.

- Errores de deformación. La pieza puede estar sometida a fuerzas en el momento de la medición por debajo del límite elástico tomando cierta deformación que desaparece cuando cesa la fuerza.
- Errores de forma. Se puede estar midiendo un cilindro cuya forma aparentemente circular en su sección presente cierta forma oval.
- Errores de estabilización o envejecimiento. Estas deformaciones provienen del cambio en la estructura interna del material. El temple de aceros, es decir, su enfriamiento rápido, permite que la fase autentica se transforme a fase martensítica, estable a temperatura ambiente. Estos

cambios de geometría son muy poco conocidos, pero igualmente tienen un impacto importante.

2.3.3.2. Clasificación de instrumentos de medición

La mayoría de los instrumentos básicos de medición lineal o de propósitos generales están representados por la regla de acero, vernier, o el micrómetro.

2.3.3.2.1. Instrumentos de medición directa

Las reglas de acero se usan efectivamente como mecanismo de medición lineal; para medir una dimensión la regla se alinea con las graduaciones de la escala orientadas en la dirección de medida y la longitud se lee directamente. Las reglas de acero se pueden encontrar en reglas de profundidad, para medir profundidades de ranuras, hoyos, entre otros.

También se incorporan a los calibradores deslizables, adaptados para operaciones de mediciones lineales, a menudo más precisos y fáciles de aplicar que una regla de medición. Un tipo especial de regla de acero es el vernier o calibrador.

Tabla III. **Clasificación de instrumentos de medición**

Lineal	Directa	Con divisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Metro • Regla graduada • Calibres con vernier
		Con tornillo micrométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Micrómetros • Cabezas micrométricas
		Con dimensión fija	<ul style="list-style-type: none"> • Bloques patrón • Calibres de espesores • Calibres pasa – no pasa
	Indirecta	Comparativa	<ul style="list-style-type: none"> • Comparadores mecánicos • Comparadores ópticos • Comparadores Neumáticos • Comparadores electromecánicos
		Trigonométrica	<ul style="list-style-type: none"> • Esferas o cilindros • Máquinas de mediciones por coordenadas
		Relativa	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles • Reglas ópticas • Rugos metros
Angular	Directa	Con divisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Transportador simple • Goniómetro • Escuadra de combinación
		Con dimensión fija	<ul style="list-style-type: none"> • Escuadras • Patrones angulares • Calibres cónicos
	Indirecta	Trigonométrica	<ul style="list-style-type: none"> • Falsas escuadras • Regla de senos • Mesa de senos • Máquina de medición por coordenadas

Fuente: elaboración propia.

2.3.3.2.2. Instrumentos analógicos

El término: analógico se refiere a las magnitudes o valores que varían con el tiempo en forma continua como la distancia y la temperatura, la velocidad, que podrían variar muy lento o muy rápido como un sistema de audio.

2.3.3.2.3. Instrumentos digitales

El término: digital se refiere a cantidades discretas como la cantidad de personas en una sala, cantidad de libros en una biblioteca, cantidad de autos en una zona de estacionamiento, cantidad de productos en un supermercado, etc.

2.3.3.3. Errores de paralaje

El error de paralaje es un error sistemático personal que se debe cuando uno no mira perpendicularmente la escala del instrumento que se está usando. Es decir, por ejemplo, cuando uno lee la temperatura de un termómetro la escala debe estar perpendicular a nuestra visión (o sea de frente y a la altura de los ojos) para apreciar correctamente hasta que valor llega el mercurio; si se mira de forma oblicua, ya sea desde arriba o abajo, se leerá otra temperatura.

2.3.3.4. Errores de escala

Se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Es aquel error en donde se considera aceptable con una mínima $+/-$ no excedida al valor de medición que se requiera obtener.

2.3.3.5. Errores de proceso

Los errores del tipo humano pueden ser:

- Falta de conocimiento: se debe a una inexperiencia de parte del operador. Por lo general, cuando este, no sabe los pasos para llevar a cabo la medición o no conoce el funcionamiento del aparato.

- Estado de ánimo. Muchas veces el estrés, dolores de cabeza, enfado y otros factores de condición humana, hacen que el operador entre en un estado que impide una concentración absoluta a la hora de llevar a cabo la medición.
- Discapacidades físicas. Este problema, más que nada, es una discapacidad, tal como lo dice. Y es por ello que el operador no es apto o no puede realizar la medición.
- Error de paralaje. Cuando el operador no se encuentra en un plano paralelo al del aparato de medición como para poder observar bien, se produce este error, que más bien es una confusión.
- Errores de Medio ambiente: ruido, vibración, iluminación, presión atmosférica, dilatación térmica.
- Ruido. Muchas veces el ruido causa confusión, ya que evita que el operador se concentre en su medición.
- Vibración. Al estar sometido a una vibración, la medida es menos exacta ya que el aparato se mueve y, ni siquiera fijando el seguro, es posible hacer una lectura acertada.
- Iluminación. Cuando tenemos iluminación de más, muchos objetos suelen destellar o reflejar esta luz y eso representa una dificultad al momento de medir; por otro lado, cuando se carece de luz adecuada, el problema es el mismo, pero las condiciones son de menos visibilidad.

- Presión atmosférica. Cuando un aparato de medición que tiene componentes como líquidos.

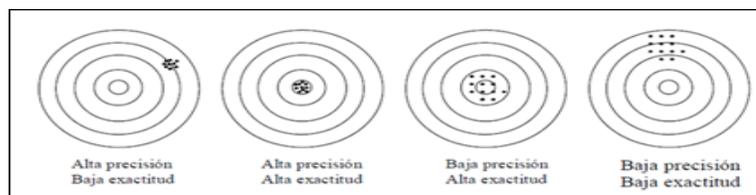
2.3.3.6. Errores de calibración

El error de calibración se debe al que método de medición que es usado puede o no ser muy exacto, se debe tomar un instrumento de medición con mayor precisión para evitar este tipo de errores.

Al hacer mediciones, las medidas que se obtienen nunca son exactamente iguales, aun cuando se efectuó por la misma persona, sobre misma pieza, con el mismo instrumento, el mismo método y el mismo ambiente, en sentido estricto, es imposible hacer una medición totalmente exacta por lo tanto siempre se presentan errores al hacer las mediciones. Los errores pueden ser despreciables o significativos dependiendo de las circunstancias en que se dé la medición.

La precisión y la exactitud no son términos intercambiables entre sí y los métodos estadísticos dan específicamente una medida de la precisión y no de la exactitud.

Figura 32. Diagramas de calibración



Fuente: Instrumentación y control. *Diagramas de calibración.*

<https://www.slideshare.net/cfgsisniegas/diagramas-p-id>. Consulta: 11 de septiembre de 2018.

2.3.3.6.1. Error por el uso de instrumentos no calibrados

Los instrumentos no calibrados o cuya fecha de calibración esta vencida, así como instrumentos sospechosos de presentar alguna anomalía en su funcionamiento no deben utilizar para realizar mediciones hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso. Para efectuar mediciones de gran exactitud es necesario corregir s lecturas obtenidas con un instrumento o equipo de medición, en función del error instrumental determinado mediante calibración.

2.3.4. Servomotores

La palabra servo es usada para la situación en que los objetos se mueven hacia la posición objetivo o siguen un objetivo en movimiento. La palabra servo viene de la palabra latina servos, que significa esclavo, y un servomecanismo (servo, para abreviar).

2.3.4.1. El rol de un servo

Servo es un sistema de control que controla una máquina con comandos emitidos. El servomecanismo habilita la posición, la velocidad, el control de par de torsión o las combinaciones de estos controles.

Figura 33. Ejemplificación de los tipos de control de un servomotor

Control de posición	Control de velocidad	Control de par de torsión
<p>Los servos mueven objetos con precisión o los detienen en una posición establecida. Los servos pueden incluso posicionar objetos con precisión submicrónica ($\mu\text{m} = 1/1000$ mm) e iniciar/detener objetos repetidamente.</p>	<p>Los servos tienen una alta respuesta a la velocidad del objetivo aún cuando ésta cambia. Los servos también pueden minimizar la diferencia de velocidad con la velocidad del objetivo cuando la carga cambia. La operación continua es posible con un amplio rango de velocidad.</p>	<p>Los servos controlan con precisión el par de torsión aún cuando la carga cambia. *El par de torsión es la fuerza que produce la rotación.</p>
		

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 15 de septiembre de 2018.

Para operaciones de alta velocidad y alta precisión, los servomecanismos se retroalimentan, verificando su operación en todo momento para seguir las instrucciones en forma correcta. Es importante la precisión del control y minimizar la diferencia entre la señal de comando y la señal de retroalimentación. Definición de servomecanismo de acuerdo con el Estándar Industrial Japonés (JIS): Es un sistema de control para controlar objetos mientras siguen los cambios del objetivo usando una posición objetivo, orientación, postura y otros factores. Los servomecanismos están estructurados principalmente por los sistemas y secciones listados a continuación.

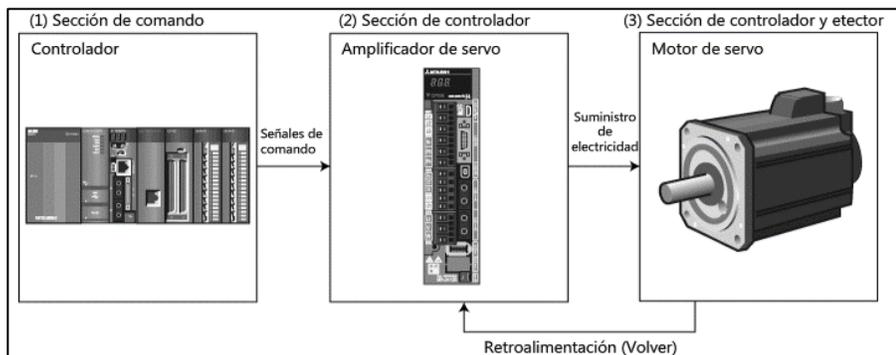
Tabla IV. **Secciones de estructuración de los servomecanismos**

Sección de comando	Esta sección emite señales de comandos de operación.
Sección de controlador	Esta sección mueve el motor y otras partes de acuerdo con los comandos.
Sección de controlador y detector	Esta sección conduce el objetivo controlado y detecta el estado del objetivo.

Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los mecanismos usan sistemas hidráulicos o neumáticos. Sin embargo, recientemente los sistemas eléctricos han sido ampliamente utilizados debido a su capacidad de mantenimiento de alto nivel. Servo AC es el motor eléctrico más utilizado para el control de FA que requiere de precisión. Los motores de servo tienen codificadores que detectan el ángulo de rotación, la velocidad y la dirección. Los motores envían esa información detectada al amplificador de servo (sección de control) como retroalimentación. (Mitsubishi Electric Corporation. Servomotores - Software de equipo FA)

Figura 34. **Proceso de funcionamiento de un servomotor**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 15 de septiembre de 2018.

2.3.4.2. Tipos de servomotores

Existen tres tipos de motores de servo en general: motores de servo AC de la serie SM (sincrónicos), motores de servo AC de la serie IM (de inducción) y motores de servo DC. Para dispositivos y sistemas de FA, la serie SM de servo AC es más comúnmente utilizada en capacidades bajas o medianas.

Tabla V. Clasificación de motores de servo

Sin mantenimiento	Los motores de DC servo requieren inspecciones de cepillo rectificador y mantenimiento.
Resistencia al entorno	Los motores de DC servo no pueden ser usados en aplicaciones que requieren entornos limpios, ya que generan polvo de abrasión del cepillo.
Generación de energía durante apagones	Los motores de servo AC de la serie IM no pueden ser usados durante apagones, ya que no tienen imanes permanentes.

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Tipos de motores de servos

Tipos	Estructura	Características	
		Ventajas	Desventajas
Motores de servo AC de la serie SM (Sincrónicos)		Sin mantenimiento. Excelente resistencia al entorno. Alto par de torsión. Control de generación de energía durante apagones. Compactos y ligeros. Alto rango de energía.	Control un poco más complicado por el amplificador de servo que el de los motores de DC servo. Se requiere una respuesta de 1:1 entre el motor y el amplificador de servo. Puede ocurrir una desmagnetización.
Motores de servo AC de la serie IM (de Inducción)		Sin mantenimiento. Excelente resistencia al entorno. Alta velocidad y alto par de torsión. Alta eficiencia con altas capacidades. Estructura robusta.	Baja eficiencia con bajas capacidades. Control más complicado por el amplificador de servo que el de los motores de DC servo. Sin control de generación de energía durante apagones. Cambia sus características dependiendo de la temperatura.
Motor de servo DC		Control más simple por el amplificador de servo. Generación de energía durante apagones. Bajo precio con bajas capacidades. Alto rango de energía.	Requiere mantenimiento e inspección periódica en la partes alrededor del rectificador. No se usa en aplicaciones que requieren entornos limpios, ya que genera polvo de abrasión del cepillo. No usado con alto par de torsión debido a sus cepillos. Puede ocurrir una desmagnetización.

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 18 de septiembre de 2018.

2.3.4.3. Tipos de codificador

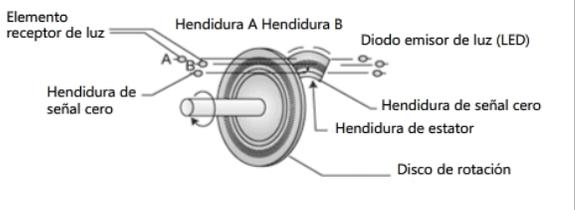
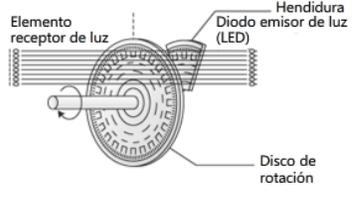
El motor de servo ha adoptado cada vez más codificadores absolutos que requieren una operación sin retorno al origen después de un apagón.

2.3.4.3.1. Codificadores incrementales y codificadores absolutos

Los codificadores absolutos tienen un detector de posición absoluta para detectar la posición en una rotación y un detector de revoluciones múltiples que cuenta el número de rotaciones. Los datos del detector de revoluciones múltiples son respaldados con una batería para prevenir la eliminación de datos cuando ocurre un apagón.

En general, los codificadores ópticos son usados cuando se requiere compactibilidad y alta resolución. Sin embargo, los codificadores magnéticos pueden ser usados en su lugar cuando se requiera resistencia al entorno. (alta resistencia a manchas y similares). Los principios de un codificador óptico son mostrados en el diagrama a continuación. Algunos codificadores logran la alta resolución (1 millón de impulsos/rotación), mejorando el método de detección.

Figura 36. Comparación de codificadores

Elemento	Codificador incremental	Codificador absoluto
Salida	Salida de valor incremental. Un impulso es la salida correspondiente a los cambios en el ángulo de rotación.	Salida de valores absolutos. El valor absoluto del ángulo de rotación es la salida.
Respuesta durante apagones	Se requiere una operación de retorno al origen durante el encendido.	No se requiere una operación de retorno al origen durante el encendido.
Precio	A bajo precio, ya que sus estructuras son relativamente simples.	A alto precio, ya que sus estructuras son relativamente complejas.
Estructura		
Información suplementaria	Los codificadores incrementales, con múltiples hendiduras ópticas en un disco de rotación, convierten los datos de posición de hendidura en señales eléctricas al detectar la luz que pasa a través de hendiduras fijas con un fotodiodo.	El codificador absoluto constantemente detecta la posición del eje del motor (un codificador absoluto es adjuntado al eje del motor). El codificador no requiere una operación de retorno al origen durante el encendido, ya que no requiere un recuento de pulsos.

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 18 de septiembre de 2018.

2.3.4.4. Aplicaciones de los servomotores

Los servomecanismos son usados en una gama extremadamente amplia de aplicaciones en diversos campos debido a su flexibilidad.

Los servos son aplicados a cosas en nuestra vida diaria, tales como unidades de DVD de ordenador y unidades de disco duro, mecanismos de alimentación de papel en máquinas copiadoras y mecanismos de alimentación de cinta en cámaras de video digital. Los servos también son usados en

aplicaciones industriales, tales como en mecanismos de control de aviación y en la conducción de telescopios de astronomía.

Algunos ejemplos de aplicaciones de AC servos usados en campos de FA serán ilustrados a continuación. Los AC servos en la década de 1980 tomaron roles de liderazgo en unidades de velocidad variable para dispositivos de FA por su uso en los campos de control numérico (NC) y robótica. En la década de 1990, comenzaron a ser utilizados en una gama más amplia de aplicaciones debido a la expansión del mercado, pasando del uso de sistemas hidráulicos al de sistemas eléctricos.

En los últimos años, con los avances tecnologías de la información (TI) incluyendo las comunicaciones celulares, las aplicaciones de servo se han incrementado dramáticamente con los campos relacionados tales como la fabricación de semiconductores, el ensamble de componentes electrónicos y las aplicaciones de pantallas de cristal líquido (LCD).

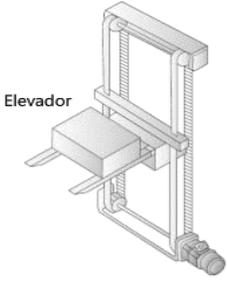
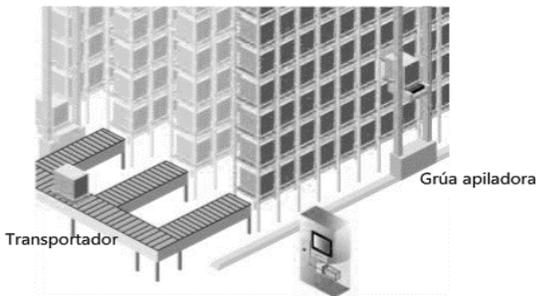
- Aplicaciones de transporte
- Aplicaciones de maquinaria de bobinado
- Aplicaciones de productos alimentarios
- Aplicaciones de semiconductores
- Aplicaciones de moldeo por inyección
- Aplicaciones de ensamble de componentes electrónicos

2.3.4.4.1. Control de transporte

Los dispositivos de transporte son elementos cada vez más indispensables en diversos campos actuales, a medida que las industrias se

vuelven más sofisticadas y automatizadas. Algunos ejemplos que usan servos en este campo son mostrados a continuación.

Figura 37. Ejemplos de uso de servomotores en el control de transporte

Máquina de transporte (Vertical)	Sistemas automatizados de recolección en almacenes
<p>Los servos incrementan la velocidad de la máquina y mejoran la eficiencia de la producción. Los objetos se detienen con precisión en la posición establecida. Un motor de servo que tiene un sistema de frenado magnético es usado para evitar que los objetos en la máquina se caigan durante un apagón.</p>	<p>Los servos AC han sido usados más comúnmente para unidades de recolección y viajes para satisfacer las necesidades de alta velocidad en almacenes automatizados con sistemas automatizados de recolección en almacenes. El uso de motores de servo AC permite mejores velocidades y velocidades ajustables con operación de alta velocidad. La eficiencia de gestión de inventario de logística es dramáticamente incrementada durante todo el proceso, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega del producto final, usando sistemas automatizados de recolección en almacenes usados con gestión de la cadena de suministros (SCM).</p>
 <p>Elevador</p>	 <p>Transportador</p> <p>Grúa apiladora</p>

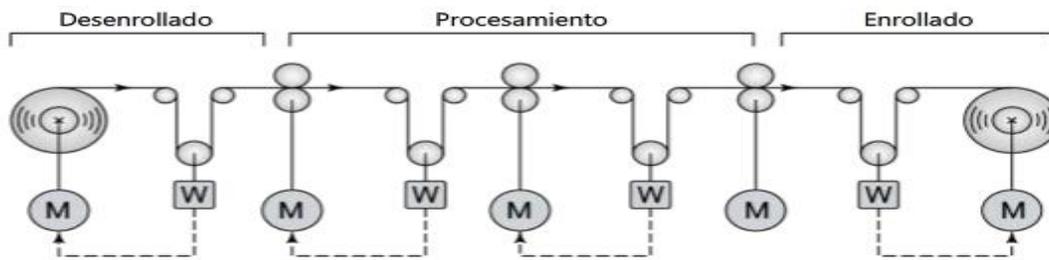
Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
 Consulta: 19 de septiembre de 2018.

2.3.4.4.2. Aplicaciones de maquinaria de bobinado

Una máquina de bobinado maneja piezas largas de material tales como papel o cinta. También se le llama web. Las operaciones de bobinado tienen tres etapas principales: desenrollar el material, procesar el material y enrollar el material en un rollo. El método de procesamiento puede cambiar dependiendo

de la aplicación (cortadora, laminadora, impresora), pero la estructura general es la misma.

Figura 38. **Diagrama de un mecanismo típico de bobinado**

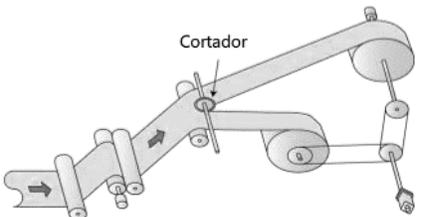
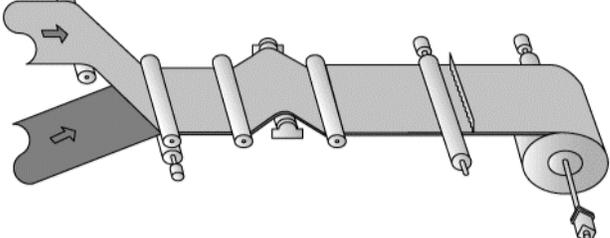


Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 19 de septiembre de 2018.

Figura 39. **Ejemplos de mecanismos con servomotores en aplicaciones de bobinado**

Cortadora	Laminadora
<p>Una cortadora es una máquina que inserta hendiduras en piezas de trabajo en el rollo, el proceso final. La tensión es controlada de forma que el cortador inserte las hendiduras en forma correcta.</p>	<p>Una laminadora es un dispositivo que ajusta y une los niveles de la cinta. La tensión es controlada en apropiadamente de forma que la cantidad exacta de presión sea aplicada a las cintas. Las máquinas de revestimiento, las impresoras y otros tipos de equipo tienen mecanismos similares.</p>
	

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

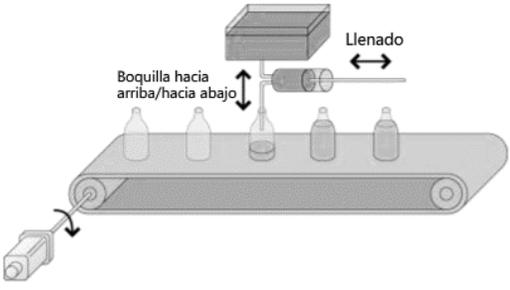
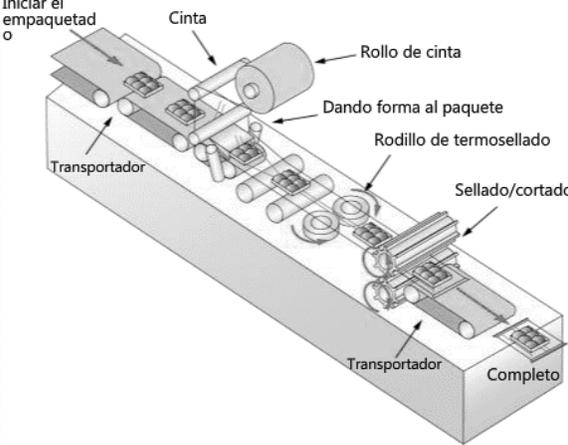
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 21 de septiembre de 2018.

2.3.4.4.3. Aplicaciones de productos alimentarios

El procesamiento de alimentos más seguros y de más alta calidad es cada vez más exigido, por ello servo es frecuentemente utilizado como una solución para diversos campos, incluso para el procesamiento de alimentos.

Figura 40. Líneas de aplicación de servos en productos alimentarios

Línea de máquina de llenado	Línea de máquina de empaquetado
	
<p>La máquina de llenado llena botellas con distintas formas y tamaños con distintos tipos de líquidos a una alta velocidad. El proceso de llenado es controlado de forma que las botellas sean llenadas con las cantidades correctas para su tamaño a una alta velocidad sin que se formen burbujas.</p>	<p>Los servomecanismos aseguran que los productos alimentarios estén sellados y empaquetados con precisión y en forma higiénica. Es importante que la cantidad adecuada de cinta sea cortada del rollo de acuerdo con el tamaño de cada producto alimentario.</p>

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

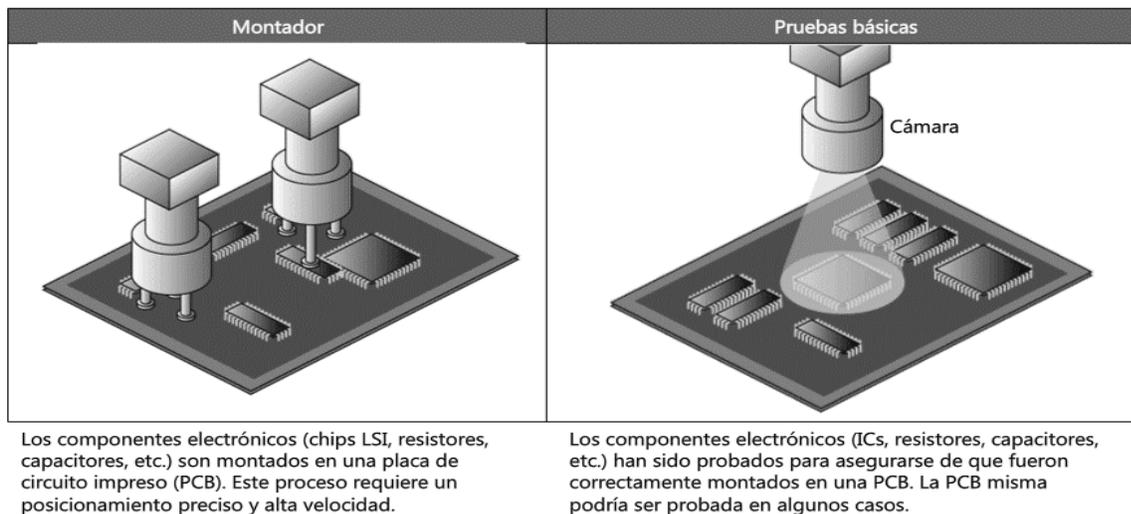
Consulta: 25 de septiembre de 2018.

2.3.4.4. Aplicaciones de ensamblaje de componentes electrónicos

Los montadores son los dispositivos que montan los componentes electrónicos, tales como los chips LSI, en las placas de circuito, así que se requiere alta velocidad y alta precisión. En particular, la tecnología de montaje avanzada recientemente ha sido necesaria para flip flops (chips semiconductores montados directamente en una placa de circuito), apilamiento de chips y tecnologías relacionadas.

Las unidades detectoras también se han vuelto necesarias para ensambles de placas de circuito de alta velocidad, automatizadas para mejorar la productividad. Los AC servos satisfacen estos requisitos.

Figura 41. Ejemplificación del uso de servos para ensamblaje



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 25 de septiembre de 2018.

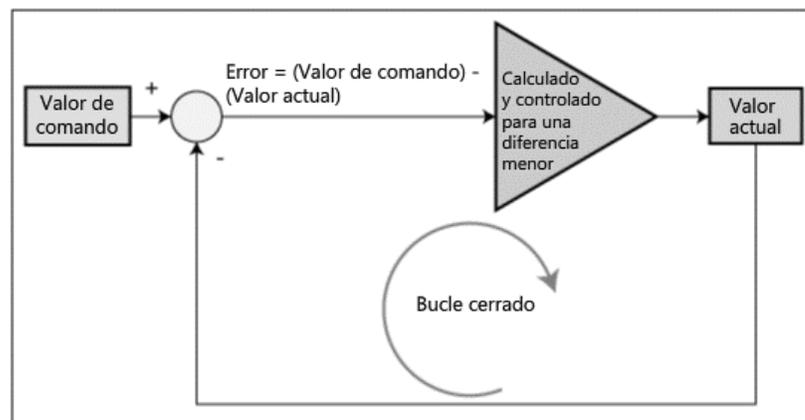
2.3.4.5. Principios y estructuras de servo

La característica principal de un sistema de servo es que compara el valor del comando con el valor actual y trabaja para minimizar la diferencia entre ambos usando control de retroalimentación.

El control de retroalimentación es repetido para la máquina (controlada) para seguir el comando con la mayor precisión posible. Si ocurre una desviación, el método de control cambiará y la retroalimentación se repetirá.

El bucle que recorre error valor actual \rightarrow error es conocido como un bucle cerrado, ya que cierra. En forma contraria, un sistema que no usa ninguna retroalimentación es conocido como un bucle abierto.

Figura 42. Diagrama del funcionamiento de un servo



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 25 de septiembre de 2018.

Existen tres modos de comando distintos en los sistemas de servo, como se lista a continuación. El modo es decidido dependiendo de cuáles son los valores de comando.

- Modo de control de posición
- Modo de control de velocidad
- Modo de control de par de torsión

Algunos productos de servo le permiten cambiar los modos incluso durante la operación. En años recientes, el control de movimiento se ha vuelto cada vez más utilizado. Este control es adecuado cuando un controlador se usa para controlar múltiples ejes en forma simultánea.

2.3.4.5.1. Bucle de control de un servo

En sistemas de servo AC, el codificador montado en el motor de servo detecta las señales de pulsos y la corriente del motor. La retroalimentación es enviada al amplificador de servo para controlar las máquinas, de forma que estas sigan los comandos emitidos. Los tres bucles distintos listados a continuación están en esta retroalimentación.

Tabla VI. **Información de los tres bucles de control de un servo**

Bucle de posición	Este es un bucle que controla la posición al usar señales de retroalimentación de posición generadas a partir de impulsos de codificador.
Bucle de velocidad	Este es un bucle que controla la velocidad al usar señales de retroalimentación de velocidad generadas a partir de impulsos de codificador.
Bucle actual	Este es un bucle que controla el par de torsión al usar señales de retroalimentación de corriente generadas a partir de la detección de la corriente de amplificador de servo.

Fuente: elaboración propia.

En cada bucle, las señales son controladas, de forma que la diferencia entre una señal de comando y una señal de retroalimentación es de cero. Las velocidades de respuesta de los bucles son dadas a continuación, ordenadas de lentas a rápidas.

(Bucle de posición) < (bucle de velocidad) < (bucle de corriente)

El tipo de bucle usado en cada modo de control se muestra en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Bucles usados dependiendo del modo de control de un servo**

Modo de control de posición	Bucle de posición, bucle de velocidad, bucle de corriente
Modo de control de velocidad	Bucle de velocidad, bucle de corriente
Modo de control de par de torsión	Bucle de corriente (sin embargo, se requiere control de velocidad en condiciones de no-carga)

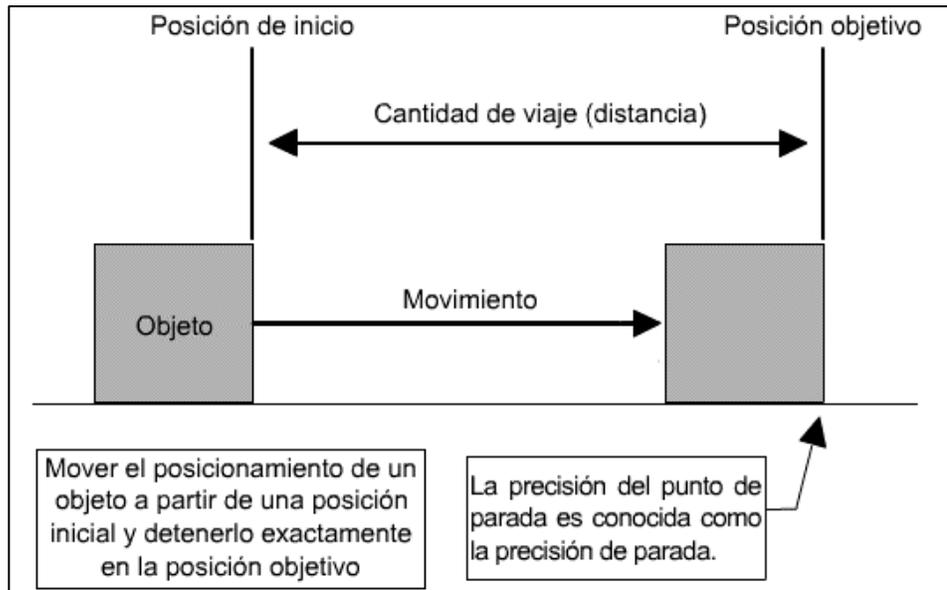
Fuente: elaboración propia.

2.3.4.5.2. Modo de control de posición

- Posición objetivo para el control de posicionamiento

En sistemas de FA, el proceso de posicionamiento implica mover objetos tales como piezas de trabajo de posicionamiento o herramientas (taladros, cortadores) a una velocidad optima y detenerlos a una posición establecida con alta precisión. Este tipo de control es conocido como control de posición. La mayoría de los sistemas de servo pueden ser usados para este control de posicionamiento.

Figura 43. **Ejemplificación de la posición del objetivo para el control de posicionamiento**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de octubre de 2018.

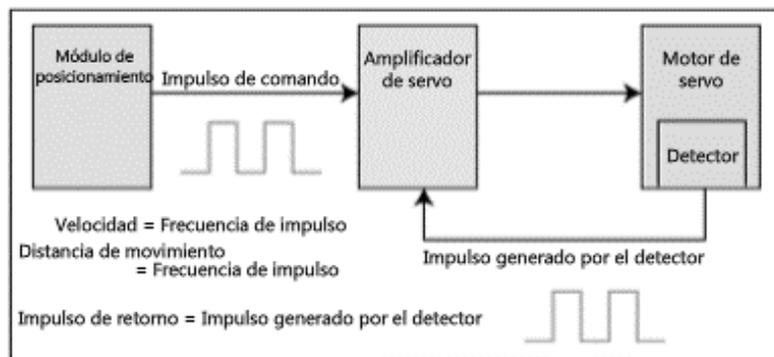
En el control de posicionamiento, el motor requiere la supervisión precisa de la condición de la velocidad del motor en todo momento, así que se utiliza un codificador que detecta la condición de la velocidad del motor. Además, para seguir los comandos a altas velocidades, los motores de servo usan los codificadores especializados desafiados para incrementar el par de torsión generado, parte del rendimiento de energía del motor, y disminuir la inercia del motor mismo.

- Bases del control de posición

El control de posición básico en los sistemas de servo involucra los elementos a continuación.

- La cantidad de viaje de la maquina es proporcional al número total de impulsos de comando.
- La velocidad de la maquina es proporcional a la velocidad de secuencia de impulso del comando (frecuencia de impulso).
- El posicionamiento se completa dentro del final más/menos un rango de impulso, y la posición es mantenida mientras no existan comandos de posición actualizados (función de bloqueo de servo).

Figura 44. **Diagrama de las bases del control de posición**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de octubre de 2018.

Por lo tanto, una precisión de posición para el sistema de servo es determinada con lo siguiente.

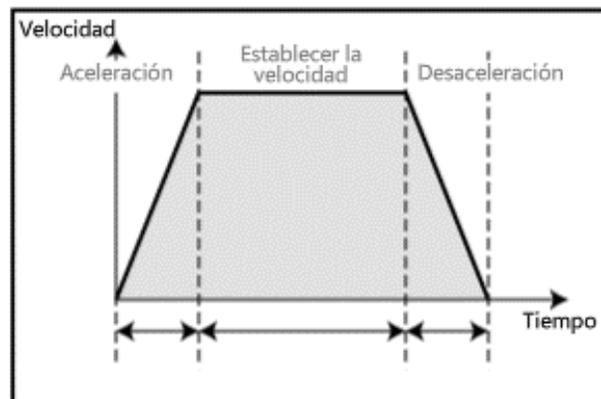
- Cantidad de viaje de un sistema mecánico por rotación de motor de servo.
- Número de impulsos de salida del codificador por rotación de motor de servo.
- Errores tales como la holgura de un sistema mecánico.

2.3.4.5.3. Modo de control de velocidad

Una característica del control de velocidad en los sistemas de servo es que las máquinas se puedan usar con una gama detallada y amplia de velocidades con poca variación.

- Funciones de inicio/parada suave

Figura 45. **Diagrama de aceleración y desaceleración de un servo**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de octubre de 2018.

La velocidad acelerada (rango de cambio en la velocidad) en el borde ascendente/descendente puede ser ajustada para evitar impactos en la maquina durante la aceleración/desaceleración.

- Amplio rango de control de velocidad

La velocidad puede ser controlada con un amplio rango que va desde velocidad extremadamente baja hasta alta. (Alrededor de 1:1000 a 1:5000) El par de torsión característico se encuentra dentro del rango de control de velocidad.

- Tasa baja de cambio en la velocidad

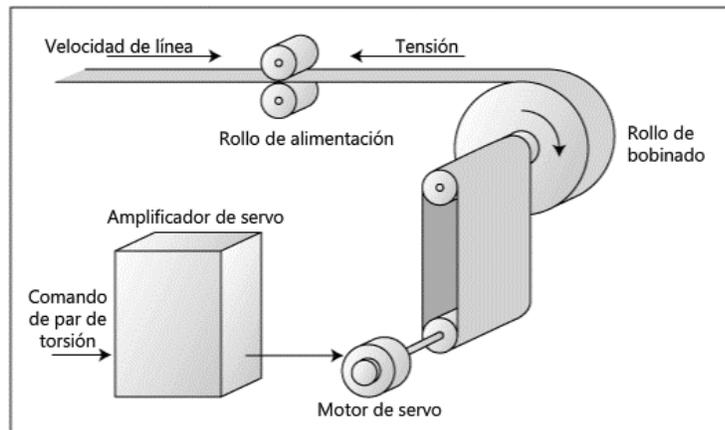
Las maquinas pueden funcionar con un cambio menor en la velocidad cuando hay un cambio en la carga.

2.3.4.5.4. Modo de control de par de torsión

Genera un par de torsión objetivo al controlar la corriente del motor de servo en el control de par de torsión.

- Ya que el par de torsión de carga se incrementa a medida que el radio del rollo de bobinado aumenta, la salida de par de torsión del motor de servo es controlada como sea adecuado para controlar que la tensión se mantenga constante.

Figura 46. **Ejemplificación del modo de control de par de torsión**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 10 de octubre de 2018.

- Asegúrese de establecer un valor de límite de velocidad, ya que el motor con una carga ligera girará a una velocidad muy alta, por ejemplo, cuando el material sea cortado accidentalmente a mitad de la operación.

2.3.5. Controladores lógicos programables (PLC)

Es una computadora utilizada en la ingeniería automática, a continuación se abordan ciertos puntos para la mejor comprensión del funcionamiento de un PLC.

2.3.5.1. Control de secuencia

Si se busca el significado de la palabra secuencia, encontrará que tiene los siguientes.

- Ocurriendo consecutivamente: sucesión, enlace, ocurrencia sucesiva
- Orden de las cosas: orden de clasificación, orden, progresión
- Transición de las cosas: orden, resultado natural

El término secuencia también ha sido utilizado en asociación con los ordenadores y las telecomunicaciones, refiriéndose básicamente a un procedimiento de operación continua de acuerdo con normas y regulaciones. A partir de esto, podemos inferir que el término control de secuencia se refiere a causar que un objetivo opere como se pretende de acuerdo con un orden y unas condiciones predeterminados.

Figura 47. Ejemplificación de un control de secuencia



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
 Consulta: 15 de noviembre de 2018.

2.3.5.2. Ventajas del control de secuencia

El control de secuencia es ampliamente utilizado, especialmente en fábricas. Muchas operaciones y tareas son automatizadas por el control de secuencia. Las tareas, peligrosas y simples, que solían ser realizadas por personas ahora son realizadas por máquinas, de forma que las personas se pueden enfocar en tareas seguras. Además, las máquinas no se fatigan. Mientras que las personas están tomando un descanso, los productos continúan produciéndose al realizar con precisión una serie de acciones predeterminadas aún en entornos que son demasiado duros para las personas. En consecuencia, las máquinas han hecho posible producir en masa bienes manufacturados de alta calidad en forma eficiente. Esta optimización del proceso de producción es conocida como automatización de fábrica o FA. Así, el control de secuencia juega un rol importante en la FA.

Tabla VIII. Ejemplos de uso de control de secuencia

Ejemplo de proceso/tarea	Ejemplos de uso del control de secuencia
Clasificación	El tamaño de los productos en una cinta transportadora en una línea de producción es determinado y después éstos son ordenados.
Cortado	La longitud de los materiales en los rollos es medida y cortada por un cortador que se moviliza con intervalos fijos.
Embotellando líquidos	Las botellas vacías son transportadas para posicionarlas debajo de la boquilla, son llenadas con una cantidad determinada de líquido y después son transportadas hacia otra posición. Después, la siguiente botella vacía es transportada.
Reorganización	Los productos son contados y, cuando la cantidad necesaria es alcanzada, el robot es instruido para producir un producto distinto.
Monitorización	La cantidad de líquido es monitoreada; si la cantidad fijada está por ser excedida, la botella será descargada y una lámpara se encenderá en forma simultánea para advertir al operador humano.
Cambio de parte	La etiqueta de código de barras aplicada al producto es leída y la máquina es instruida para cambiar las partes que deberán ser montadas de acuerdo con el lugar al que se exportará el producto.

Fuente: elaboración propia.

2.3.5.3. Control de secuencia básica

El control de secuencia básica es producido mediante una combinación de lo siguiente.

- Control secuencial
- Control de condiciones
- Control de límite de tiempo / control de conteo

2.3.5.3.1. Control secuencial

El control secuencial opera el equipo en un orden predeterminado, y también es conocido como control de etapas. El flujo descrito en la sección 1.2 que se refiere a una máquina de lavado de automóviles, donde se inserta dinero, presiona el botón iniciar y el automóvil es entonces lavado con agua, lavado con detergente y después limpiado es una forma de control secuencial. La maquinaria normalmente opera con algún tipo de secuencia predeterminada. El control secuencial, en el caso de la maquinaria, controla la secuencia de acciones que la maquinaria realiza. Lo siguiente describe el control de condiciones, el cual determina las condiciones bajo las cuales la maquinaria operará o se detendrá.

Figura 48. **Diagrama de un control secuencial**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 7 de noviembre de 2018.

2.3.5.3.2. Control de condiciones

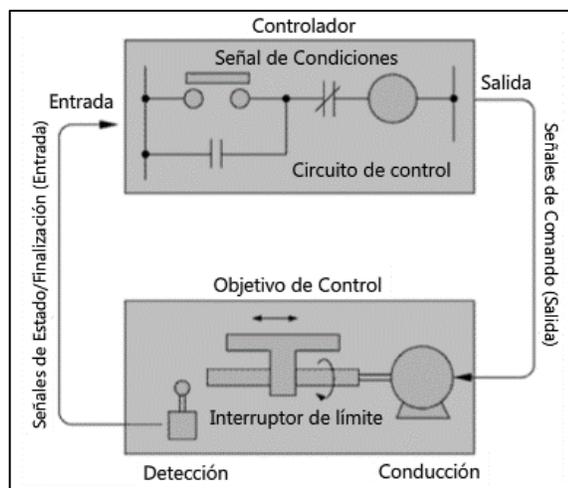
El control de condiciones es un tipo de control en el que el equipo es operado cuando se cumplen las condiciones predeterminadas al combinar señales de estado y señales de finalización. Esto también es llamado control de interbloqueo, ya que las condiciones son aplicadas por combinaciones de señales de forma que el equipo sólo opera cuando es necesario.

Con el tipo de control usado en el ejemplo de una máquina de lavado de automóviles, el automóvil que se está lavando cuando se detecta la inserción de dinero y el botón es presionado es un ejemplo de control de condiciones.

Como se muestra en la siguiente figura, si el controlador es considerado como un recuadro negro, las señales de estado/finalización del objetivo del control se vuelven entrada y las señales de comando para el objetivo se vuelven salida.

La salida es determinada por las condiciones de entrada, las cuales operan el objetivo de control. La señal del objetivo de control se convertirá en la siguiente entrada. Así, con el control de condiciones, se crea un bucle entre el equipo de control y el objetivo del control por señales de estado/finalización y señales de comando.

Figura 49. **Diagrama de un control de condiciones**



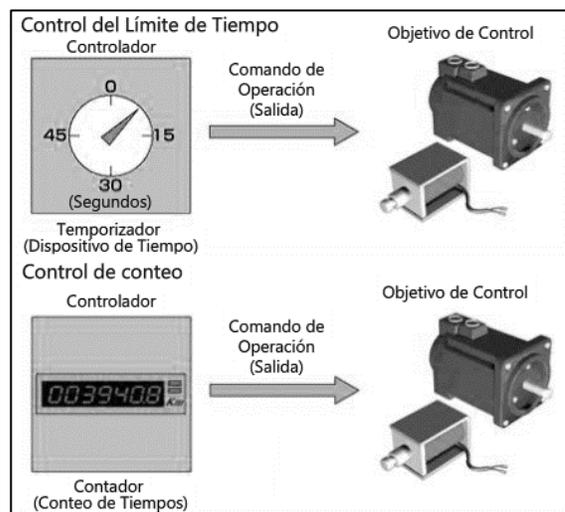
Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
 Consulta: 12 de noviembre de 2018.

2.3.5.3.3. **Control de límite de tiempo y control de conteo**

El control de límite de tiempo es un tipo de control en el que los comandos de operación para el objetivo del control son determinados por la hora del día y el tiempo transcurrido. Con el control de la máquina de lavado de automóviles, la etapa 2 (lavado inicial con agua), por ejemplo, es realizada y cuando la

operación se completa procede con la siguiente etapa. Esto corresponde al control de límite de tiempo. El control de conteo es similarmente un tipo de control en el cual las acciones que impactan al objetivo del control son determinadas al contar cosas como el número de productos o el número de veces que la maquinaria realiza cierta acción. El control de límite de tiempo requiere una función de temporizador y el control de conteo requiere una función de contador.

Figura 50. **Diagrama del control de límite de tiempo**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 12 de noviembre de 2018.

2.3.5.4. **Visión general del PLC**

Comúnmente llamado un controlador lógico programable, PLC, Controlador Programable o PC, el PLC comenzó como un controlador para satisfacer las especificaciones requeridas de un fabricante de automóviles en

los Estados Unidos. (1969) El control de secuencia, antes de la aparición del PLC, era conseguido por relé (contacto).

Tenía las siguientes desventajas:

- Contacto pobre y desgaste.
- Difícil de montar y enlazar grandes cantidades de relés.
- Difícil de modificar el cableado cuando el contenido del control cambiaba.

A partir de esto, los PLC rápidamente se popularizaron entre los técnicos como un controlador programable en los sitios de producción e instalados en el sitio de producción para la automatización de fábrica (FA).

Tabla IX. **Comparación con el tipo de relé**

Elemento	Método de control	
	Tipo de PLC	Tipo de relé
Función	Los programas permiten que el control flexible y complejo sea posible. Además del control de secuencia original, los PLC también permiten una amplia variedad de funciones tales como el procesamiento de datos, el posicionamiento análogo y la comunicación.	El control complejo usando un número de relés es complicado desde la perspectiva de la economía y la fiabilidad. Básicamente, sólo ofrecen control de encendido/apagado.
Modificación del control flexible	Puede alterarse libremente al modificar el programa.	La única alternativa es modificar el cableado
Fiabilidad	Alta fiabilidad y larga vida. (Básicamente todo el semiconductor)	Desde que se usan los contactos de relé, tal vez han desarrollado contactos pobres y tienen una limitación de vida en el caso del uso prolongado.
Facilidad de mantenimiento	Las fallas en el equipo pueden ser monitoreadas con software periférico, etc. Los módulos de PLC pueden ser reemplazados en forma individual.	Es difícil determinar la causa y realizar una sustitución cuando hay una falla de relé.
Soporte para gran escala y Complejidad	Ofrece más flexibilidad y extensibilidad que el tipo de relé.	El uso a gran escala se vuelve poco práctico en términos de tiempo y mano de obra.

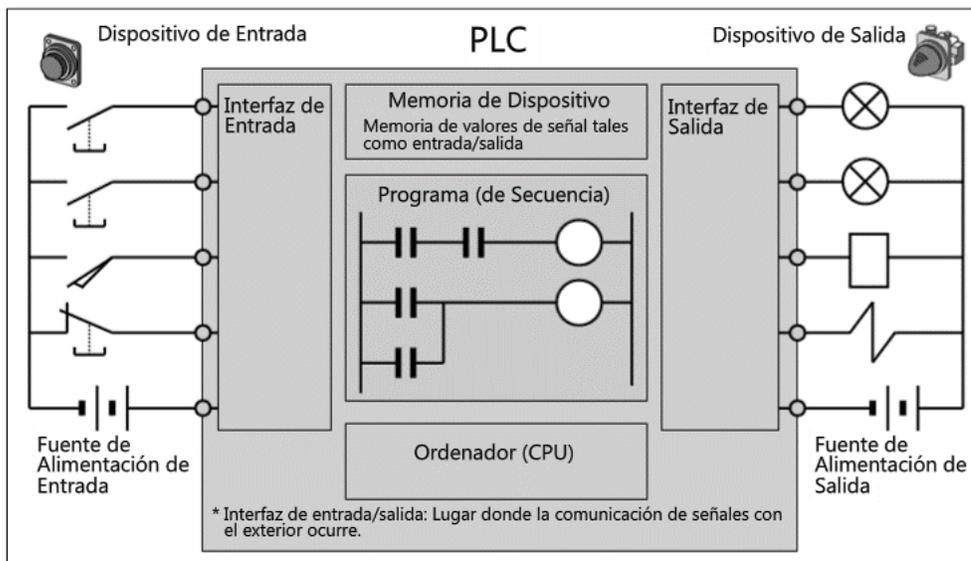
Fuente: elaboración propia.

2.3.5.5. Operación de un relé de entrada

Como se describió en la página anterior, el rol básico del PLC es proporcionar control de secuencia por medio de un programa. En términos generales, es un controlador dedicado (tipo de ordenador) que controla el equipo de salida al programar de acuerdo a señales de comando de equipo de entrada.

El programa está basado en las acciones de los relés de entrada y salida. La operación básica es descrita aquí en secuencia.

Figura 51. Diagrama de operación de relé de entrada

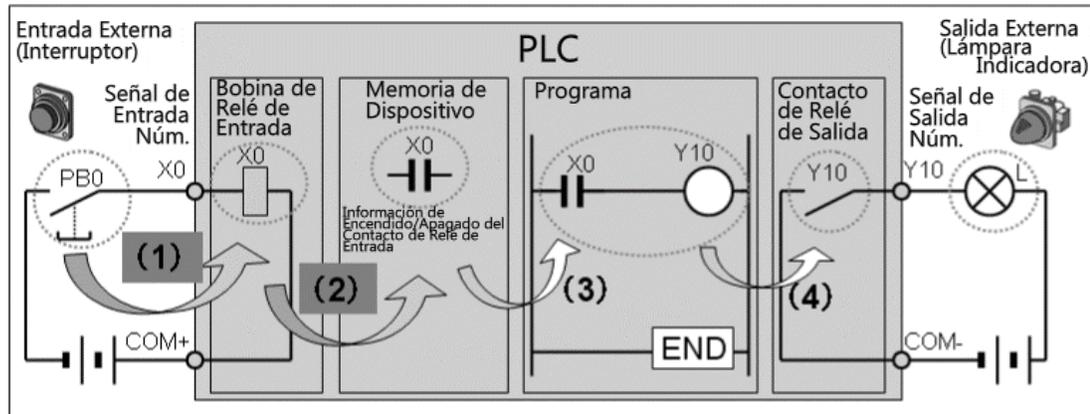


Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 22 de noviembre de 2018.

Figura 52. **Operación de relé de entrada: importación de operación de entrada**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 23 de noviembre de 2018.

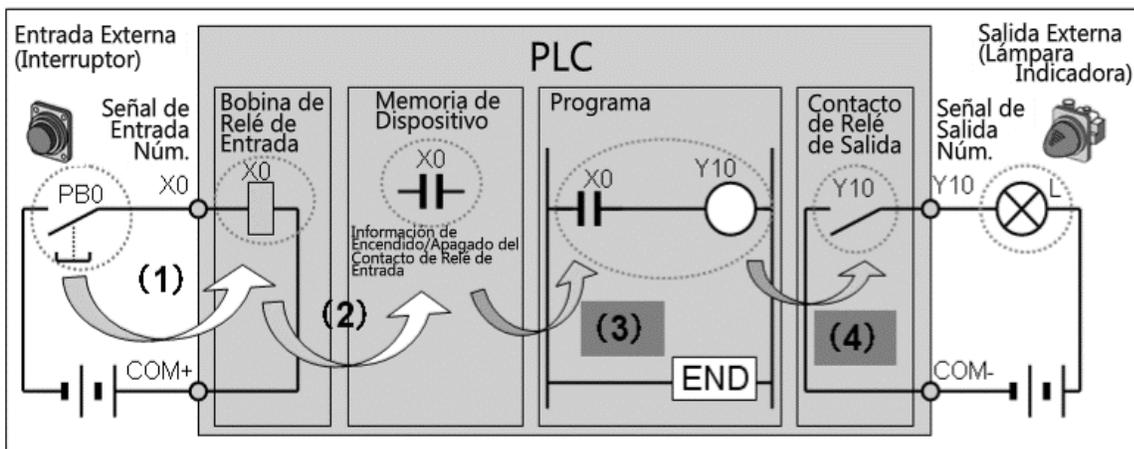
La entrada externa puede ser pensada como aquello que es obtenido con el interruptor de presionar un botón (PBO) y la salida externa con la lámpara indicadora (L). El flujo de señal va de izquierda a derecha.

Cuando el interruptor de entrada externa PBO (contacto) conectado al pin de entrada de PLC XO mostrado en el lado izquierdo de la figura anterior se cierra, la corriente fluye hacia la bobina del relé de entrada XO. La bobina de relé de entrada cambia de acuerdo con el estado del equipo de entrada externa, y no existe en el programa.

Cuando la corriente fluye hacia la bobina del relé de entrada XO, la información es importada como información de encendido del contacto XO del relé para el área de memoria del dispositivo interno de PLC y se guarda. En

otras palabras, el encendido/apagado del contacto XO del relé de entrada usado por el programa corresponde al del pin XO de entrada del mismo número.

Figura 53. **Operación de relé de salida: ejecución de programa, salida externa**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 23 de noviembre de 2018.

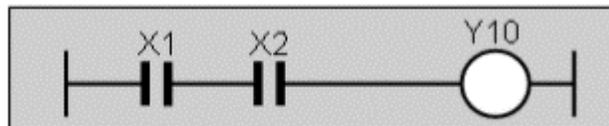
En este ejemplo de programa, la información del contacto X0 del relé de entrada en el área de memoria del dispositivo está en encendido, entonces también la bobina Y10 del relé de salida está en encendido.

La señal de salida Núm. Y10 corresponde al estado de encendido de la bobina de relé de salida Y10 del mismo número; la lámpara indicadora del equipo de salida externa está por lo tanto también en encendido (encendida).

2.3.5.6. Programa del PLC

Los diagramas en escalera, que son más fáciles para que las personas los entiendan intuitivamente que un programa de lenguaje de comandos, son frecuentemente utilizados en el desarrollo convencional de un programa de PLC. Ejemplo 1: un programa que necesita que los interruptores X1 y X2 estén en encendido para que la lámpara de salida Y10 esté en encendido sería de la siguiente manera.

Figura 54. Expresión por diagrama en escalera del ejemplo 1



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
Consulta: 23 de noviembre de 2018.

La condición de interruptores X1 y X2 de entrada estando en encendido— es llamada una condición AND. En este caso, los símbolos X1 y X2 alineados en serie es el equivalente de una condición AND.

Tabla X. Expresión por lenguaje de comandos del ejemplo 1

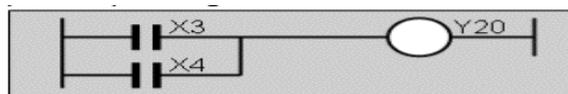
Número de etapa	Lenguaje de comandos	Número de dispositivos
0	LD	X1
1	Y	X2
2	OUT	Y10
3	FIN	

Fuente: elaboración propia.

El CPU del PLC ejecuta comandos en secuencia comenzando desde la etapa Núm. 0. Cuando el comando FIN es alcanzado, el cómputo continúa al retornar a la etapa inicial 0. Esto es conocido como un cómputo cíclico. El tiempo requerido para ejecutar un ciclo es llamado tiempo de escaneo. El tiempo de escaneo normalmente se encuentra entre varios milisegundos a 20 milisegundos.

Ejemplo 2: un programa que necesita que los interruptores X3 o X4 estén en encendido para que la lámpara de salida Y20 esté en encendido sería de la siguiente manera.

Figura 55. **Expresión por diagrama en escalera del ejemplo 2**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 25 de noviembre de 2018.

La condición de interruptores X1 o X2 de entrada estando en 'encendido— es llamada una condición OR. En este caso, los símbolos X3 y X4 alineados en paralelo es el equivalente de una condición OR.

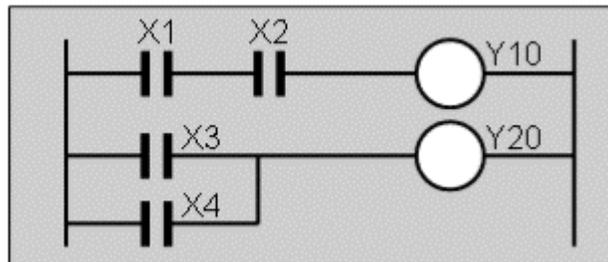
Tabla XI. **Expresión por lenguaje de comandos del ejemplo 2**

Numero de etapa	Lenguaje de comandos	Numero de dispositivo
0	LD	X3
1	Y	X4
2	OUT	Y20
3	FIN	

Fuente: elaboración propia.

En este caso, es un comando OR en lugar del comando AND del ejemplo 1. Porciones como esta normalmente se ponen juntas en un solo programa.

Figura 56. **Expresión por diagrama en escalera de la combinación del programa del ejemplo 1 y 2**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

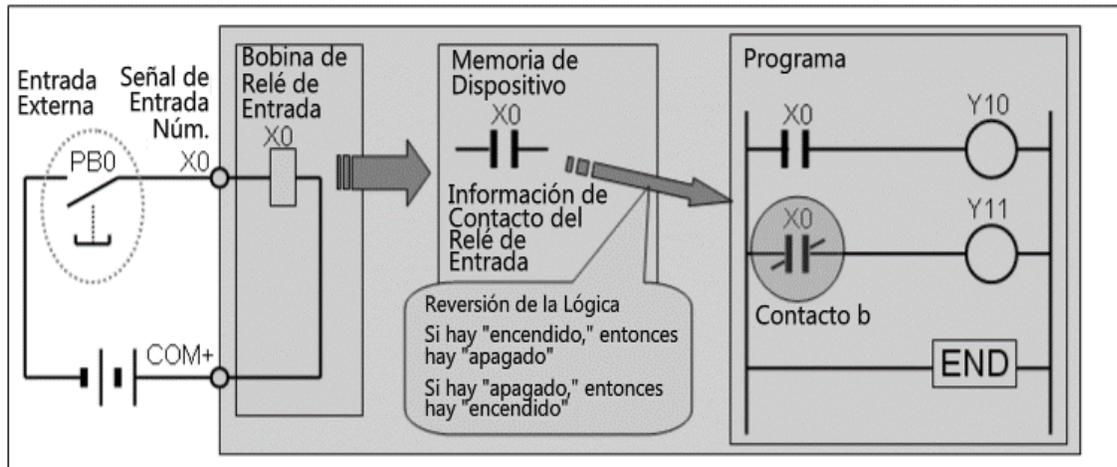
Consulta: 15 de marzo de 2019.

Ya que los primeros PLC solo estaban equipados con una función de sustitución de secuencia de relé, solo podían manejar el estado encendido/apagado. Los PLC actuales pueden manejar datos numéricos y se han vuelto dispositivos de funciones extremadamente altas para conectar ordenadores en redes, entre otros.

2.3.5.7. Contacto b en programa del PLC

El contacto b de entrada XO en el programa en escalera significa en lógica que es el opuesto del de la señal XO (encendido/apagado) del pin de entrada.

Figura 57. Significado del contacto b en el programa de un PLC



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 15 de marzo de 2019.

2.3.5.8. Temporizadores y contadores

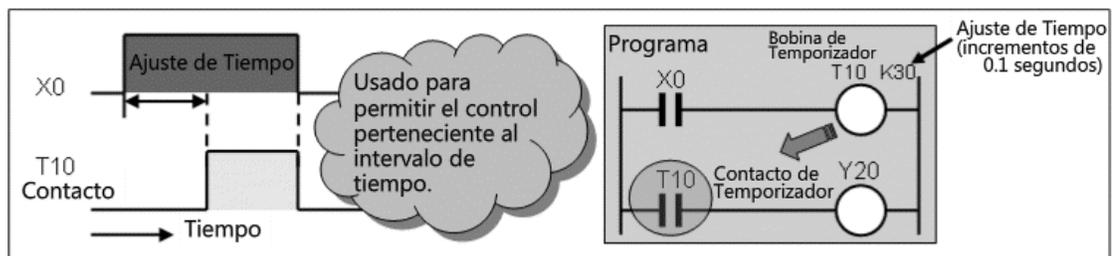
Los temporizadores y contadores son usados para proporcionar control de límite de tiempo y control de conteo para PLC. Cada uno tiene una bobina independiente y un contacto para cada número de dispositivo.

2.3.5.8.1. Temporizador (notación Tx: x representa un número)

La función de temporizador para el PLC generalmente emplea tiempos de retardo en los que el contacto de bobina está en encendido cuando la bobina del temporizador conduce electricidad en exceso de una cantidad de tiempo predefinida. Si la bobina pasa a apagado aunque sea por un instante, el conteo

de temporizador es reiniciado a cero y el contacto de temporizador también pasa a apagado. El valor de ajuste de tiempo define cuántos múltiplos esperar, normalmente en incrementos de 0,1 segundos. La notación T10 K30 en la siguiente figura significa que el ajuste de tiempo del temporizador Núm. T10 es de 3 segundos.

Figura 58. **Ejemplificación del uso de un temporizador**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

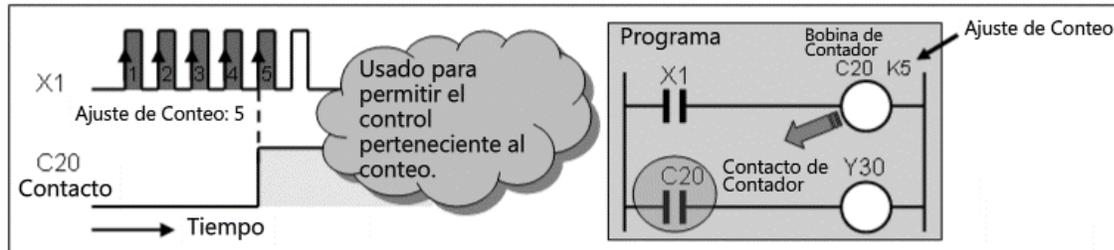
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 17 de marzo de 2019.

2.3.5.8.2. **Contador (notación Cx: x representa un número)**

La función de contador del PLC cuenta las veces que la entrada de conteo cambia de apagado a encendido. El contador se pone en encendido cuando el conteo alcanza el valor establecido (conteo ascendente). Después del conteo ascendente, el conteo permanece sin cambios y el contacto de salida permanece también en encendido. Cuando el registro del contador es restablecido, el conteo del contador se vuelve cero y el contacto de contador está también en apagado. En la siguiente figura, la notación C20 K5 significa que el ajuste de conteo para el contador Núm. C20 es 5.

Figura 59. Ejemplificación del uso de un temporizador



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 20 de marzo de 2019.

Ahora se resume el dispositivo de memoria para almacenar datos internos del PLC.

Tabla XII. Descripción de contenidos de un dispositivo de memoria de un PLC

Dispositivo (símbolo de dispositivo)	Contenido
X	Este dispositivo es un canal para recibir señales del interruptor de entrada externa, etc., del PLC. El símbolo de dispositivo es X. También es conocido como un relé de entrada.
Y	Este dispositivo es un canal para comunicar señales fuera del PLC. El símbolo de dispositivo es Y. También es conocido como un relé de salida.
T	Este dispositivo es un temporizador contenido en el PLC. Está equipado con una función para medir el tiempo y está equipado con bobinas y contactos correspondientes para cada número de dispositivo de temporizador. Cuando el tiempo establecido es alcanzado, el contacto se puede pasar a encendido.
C	Este dispositivo es un contador contenido en el PLC. Está equipado con una función para conteo y está equipado con bobinas y contactos correspondientes para cada número de dispositivo de contador. Cuando el conteo establecido es alcanzado, el contacto se puede pasar a encendido.

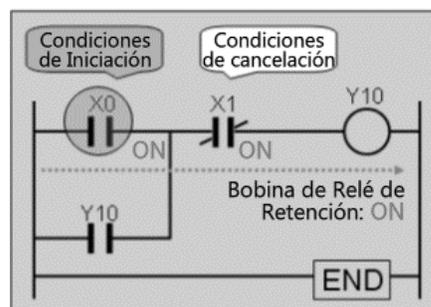
Fuente: elaboración propia.

Los circuitos de auto retención son circuitos que mantienen el estado cuando una bobina de relé de auto retención está en encendido. Los circuitos de auto retención incluyen las condiciones de iniciación y cancelación. Aquí principalmente importan las condiciones de iniciación.

- Como se muestra en la siguiente figura, cuando las condiciones de iniciación (X0 = ON) están satisfechas, la bobina de relé de retención está en encendido.
- Consecuentemente, ya que el contacto de bobina (Y10) de las figuras 1 y 2 está en encendido, la salida de bobina continúa aún si la condición de iniciación XO está en apagado.

Así, el estado de encendido de la salida de bobina es mantenido por la señal de la bobina de retención misma. Ya que las Figs. 1 y 2 muestran un contacto b, las condiciones de cancelación están satisfechas cuando X1 = ENCENDIDO, y la bobina de retención se pasa a apagado inmediatamente.

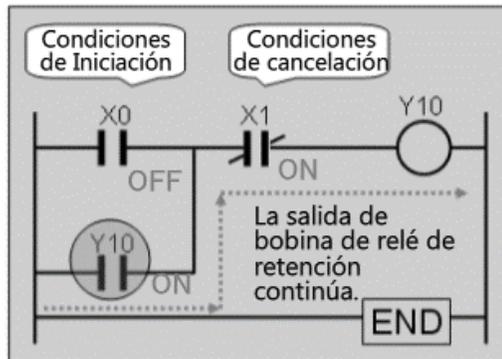
Figura 60. **Iniciación de la auto retención**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 25 de marzo de 2019.

Figura 61. **Continuación de la auto retención**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 25 de marzo de 2019.

Usando los comandos SET y RST del PLC, puede producir una función similar a aquella en un circuito de auto retención en la forma mostrada en la Figura 62.

Figura 62. **Realización por el comando SET/RST**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 1 de mayo de 2018.

2.3.5.9. Razones de uso de los dispositivos PLC

A continuación, se presentan las razones de uso de los dispositivos PLC.

2.3.5.9.1. Reacción en tiempo real

Pueden responder a instrucciones en forma instantánea.

2.3.5.9.2. Alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo

Como usan componentes con alta fiabilidad, pueden funcionar durante un largo periodo de tiempo con mínimos incidentes de fallas. La batería de respaldo asegura que los datos importantes no se pierdan aún en caso de una falla de energía.

2.3.5.9.3. Lenguaje adecuado para el campo de control

El sistema de lenguaje es fácil de entender para aquellos con un entendimiento del control eléctrico.

2.3.5.9.4. Resistencia al entorno

Continúan trabajando en entornos difíciles.

2.3.5.9.5. Conectividad mutua

Ofrecen una variedad de productos para cumplir con las especificaciones de dispositivos de entrada/salida conectados.

2.3.5.9.6. Compatibilidad

- El sistema de lenguaje del programa nunca cambia significativamente, así que puede usarlo sin preocuparse.
- Ofrece una larga vida del producto con impacto mínimo del cambio de modelo.

2.3.5.9.7. Sistema de soporte mejorado

Ofrece un sistema de respaldo completo tal como internet, e-learning y escuela.

2.3.5.9.8. Capacidad de expansión

- Facilita la expansión estructural.
- Puede responder flexiblemente a las especificaciones por modificación del programa.
- Ofrece cómputo numérico además de control de secuencia. Puede recibir información de un computador para permitir una automatización integral tal como la gestión de producción.

Las fábricas no son los únicos lugares que requieren los dispositivos de dichos PLC. En el futuro, los PLC serán necesarios para una amplia gama de aplicaciones incluyendo la construcción, la ingeniería civil, la infraestructura, el transporte, las telecomunicaciones, la eliminación de residuos públicos, las instalaciones públicas y las instalaciones recreativas.

2.3.6. Interfaz de máquina humana (HMI)

Las interfaces de máquina humana (HMI) aparecieron por primera vez en el mercado alrededor de 1988 y estaban generalmente conectadas a controladores de lógica programable (PLC). Desde entonces, el mercado para las HMI se ha expandido para incluir otros productos de automatización de fábrica (FA) incluyendo Inversores, sistemas de CNC, Robots, controladores de seguridad, servos y controladores de movimiento.

2.3.6.1. El rol de una HMI

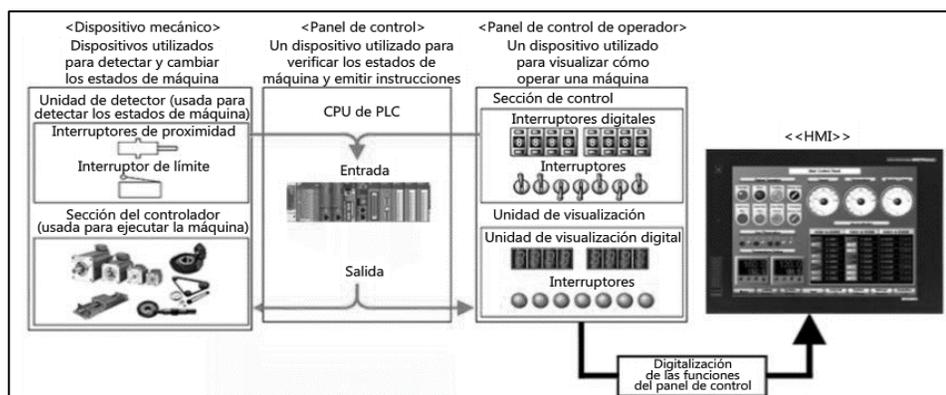
La asociación de fabricación de eléctricos de Japón (JEMA) usa HMI programables como el nombre oficial para estos productos. Existen tres aplicaciones principales donde son usadas las HMI.

- Como un panel de visualización de control
- Como una terminal de control de información de producción
- Como una terminal de datos de información

2.3.6.1.1. Aplicación como un panel de visualización de control

Las HMI son comúnmente utilizadas como un sustituto para interruptores de cableado fijo, luces y contadores de panel. Con el paso de los años, han sido utilizadas en una variedad de dispositivos mecánicos para sistemas de automatización de fábrica. Los primeros paneles de control consistían en una unidad de visualización y una unidad de control que tenían interruptores de presionar un botón, lámparas y otras partes. Una HMI digitaliza las funciones de estos tipos de paneles de control y también viene con funciones para visualizar información de texto, mostrar gráficas, ingresar datos de teclas táctiles, entre otros. La palabra programable en HMI programable se refiere al hecho de poder cambiar libremente el diseño de la pantalla y las operaciones al cambiar los ajustes. En general, las HMI están conectadas a y son utilizadas con los PLC para control de dispositivos o platinas de microordenador.

Figura 63. Proceso de aplicación como un panel de visualización de control



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

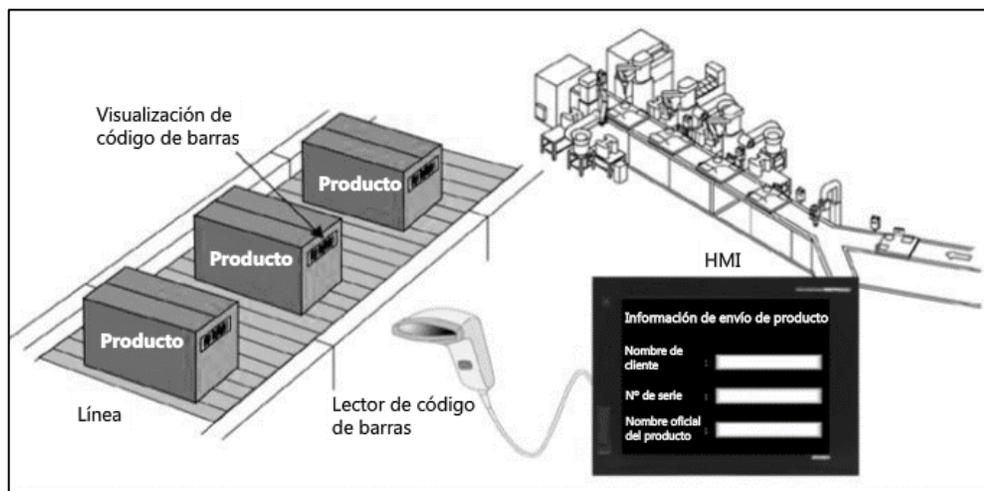
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 1 de mayo de 2018.

2.3.6.1.2. Aplicación como una terminal de control de información de producción

Las HMI pueden ser usadas para recolectar datos de producción en tiempo real y proporcionar un enlace directo con los sistemas de control de producción. Patrones de uso recientes indican que más usuarios están integrando lectores de códigos de barras y escáneres magnéticos en sus diseños para acelerar el ingreso de información de producción. La información de entrada puede ser visualizada en forma flexible en pantallas de HMI, de forma que los operadores pueden verificar fácilmente la información.

Figura 64. Diagrama de aplicación como una terminal de control de información de producción



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

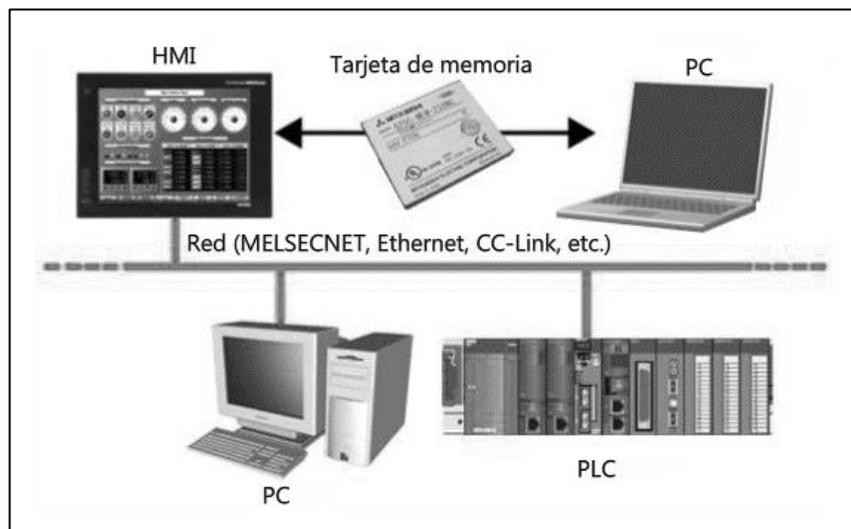
Consulta: 1 de mayo de 2018.

2.3.6.1.3. Aplicación como una terminal de datos de información

Las HMI pueden ser usadas en las siguientes formas.

- Para mostrar datos de información/proceso para un operador
- Para intercambiar y/o recolectar información con un PC o un medio extraíble.
- Para intercambiar información con otros PLC y PC en una red

Figura 65. **Diagrama de aplicación como una terminal de datos de información**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 1 de mayo de 2018.

2.3.6.2. Ventajas del uso de HMI

Algunas ventajas del uso de HMI se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XIII. Listado de ventajas del uso de HMI

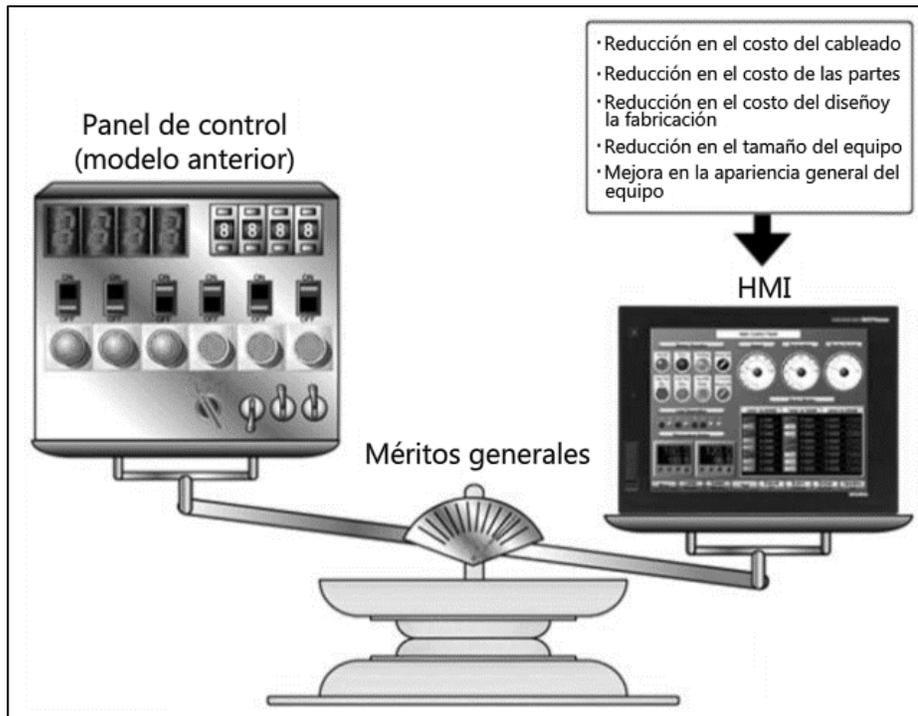
Reducción en el tamaño del panel de control	Poder realizar varias funciones mediante el software reduce la necesidad de instalación de hardware, lo cual a su vez reduce el tamaño del equipo.
Reducción en el costo del cableado	La HMI elimina la necesidad de cableado complejo y costoso y realiza las mismas tareas mediante ajustes de software.
Estandarización de paneles de control	Las HMI permiten que los paneles de control sean estandarizados, ya que los ajustes de datos de pantalla pueden ser cambiados utilizando software aún en el caso del cambio de especificación.
Valor añadido para el panel de control	Además de visualización de lámpara e interruptor, la HMI tiene otras características tales como visualización de gráficas y texto. Es capaz de realizar diversas funciones que añaden valor al panel de control.

Fuente: elaboración propia.

2.3.6.2.1. Relación de costo de una HMI con un equipo de modelo anterior

La relación costo-beneficio de las HMI se ha incrementado significativamente debido a los avances en la tecnología del cristal líquido y los semiconductores. Desde reducciones en el costo del cableado y las partes, así como el costo de diseño y fabricación, hasta la reducción en el tamaño del equipo, la mejora general de la apariencia y muchos otros factores acelerados por la estandarización del diseño y la fabricación del panel de control, puede fácilmente identificar las muchas ventajas de incorporar una HMI en su equipo.

Figura 66. **Relación de costo de una HMI con un equipo de modelo anterior**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

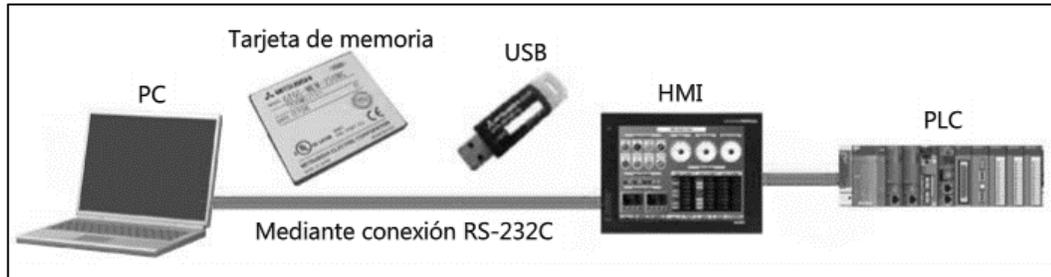
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 5 de mayo de 2018.

2.3.6.2.2. Diagrama de conexión de una HMI a un PLC

Existen dos configuraciones de sistema principal: una para el desarrollo de productos y otra para la operación real.

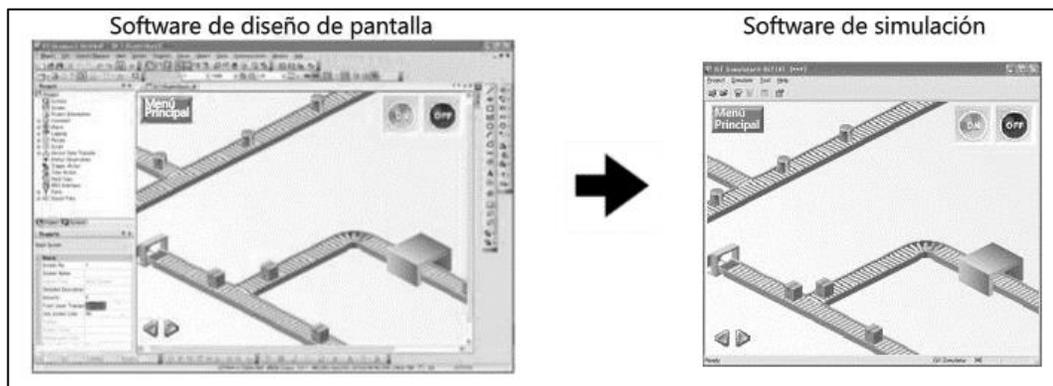
Figura 67. **Configuración del sistema durante el desarrollo del producto**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
Consulta: 11 de mayo de 2018.

Utilizando simuladores de HMI, los usuarios pueden usar un PC para verificar operaciones en pantalla sin conectarse realmente a una HMI.

Figura 68. **Apariencia de un software de diseño y simulación de una HMI**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
Consulta: 11 de mayo de 2018.

2.3.7. Red industrial

La información varía desde información familiar que intercambian las personas hasta información importante para dirigir una empresa u organización.

2.3.7.1. Transmisión de información

Es importante transmitir y compartir esta información sin inconvenientes. Existen varios métodos de transmisión para hacerlo. Los sistemas de transmisión de información se pueden clasificar de la siguiente forma.

Tabla XIV. **Clasificación de los sistemas de transmisión de información**

Transmisión de información entre individuos	Ejemplo: Conversaciones, cartas, teléfono, fax, correo electrónico, etc.
Transmisión de información entre individuos y grupos	Ejemplo: Discursos, conferencias, tableros de anuncios, radio, TV, Internet, etc.

Fuente: elaboración propia.

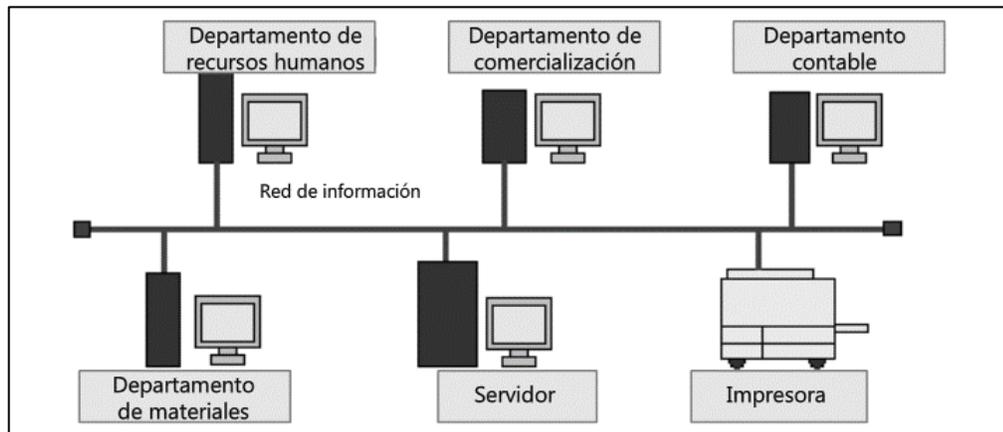
2.3.7.2. Red de información

Los tipos de redes incluyen la red de información, que conecta a los ordenadores de las oficinas, y la red industrial, que conecta a los equipos industriales.

Este tipo de red conecta los ordenadores a los servidores administrativos (ejemplo: recursos humanos, finanzas, comercialización, etc.) y equipo OA. La utilización de la red del servidor hace que el intercambio de información y equipos entre departamentos sea más eficaz.

En la actualidad, la red de información es una infraestructura empresarial indispensable.

Figura 69. Ejemplificación de una red de información



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
Consulta: 12 de mayo de 2018.

Hoy en día, la red de información también se utiliza mucho para navegar por internet y para el intercambio de correos electrónicos.

2.3.7.2.1. Características de una red de información

A continuación, se indican las características de las redes de información.

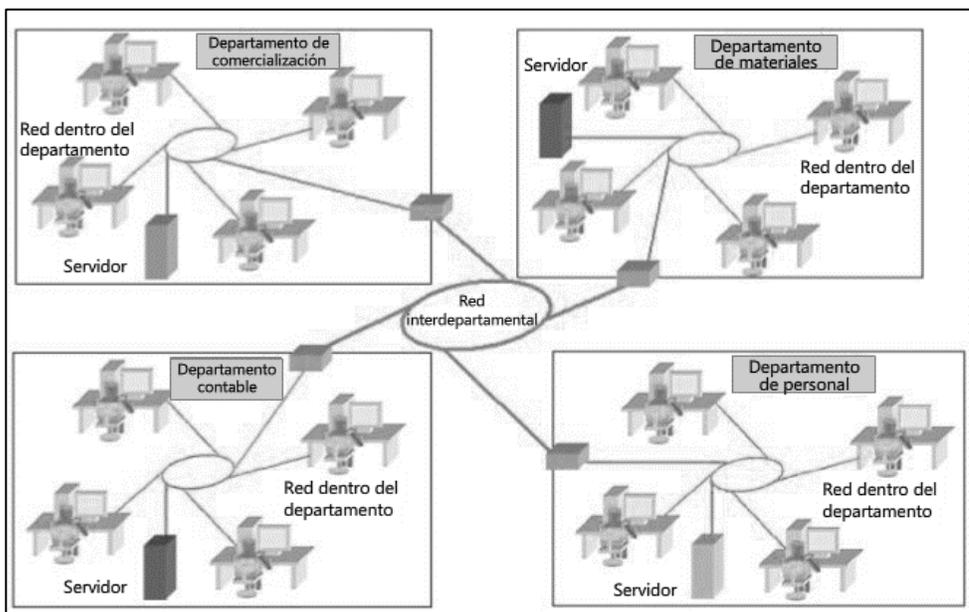
- La red de ordenadores como la infraestructura central.
- La red Ethernet estándar general utilizada a nivel mundial.
- Gran capacidad de manipulación de datos.

- Para la comunicación de datos, la exactitud es indispensable, pero se aceptan variaciones temporales en la comunicación.

Ethernet: Una red estándar que desarrolló Xerox y DEC en EE. UU., hoy en día muy utilizados en las redes de todo el mundo.

A continuación, se muestran ejemplos de las configuraciones de la red de información.

Figura 70. Ejemplos de configuraciones de red de información



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

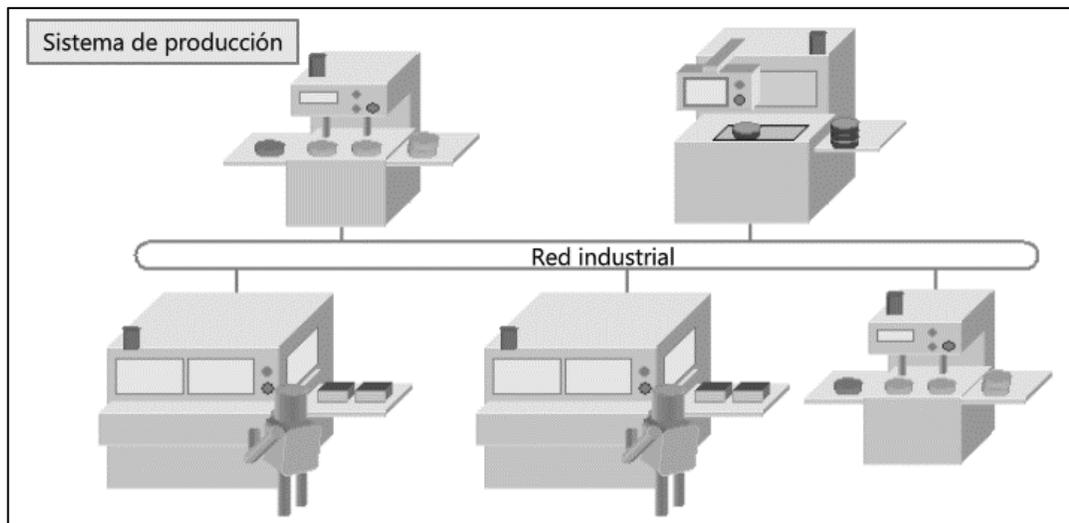
Consulta: 13 de mayo de 2018.

2.3.7.3. Conceptualización de una red industrial

La red industrial conecta a los PLC, dispositivos de fábrica y equipo (como NC) mediante cables de comunicación. La información de control y el ajuste de la configuración del sistema de producción transmiten mediante la red industrial. También permite sumar producción en todo el sistema y supervisar la condición de funcionamiento y fallas.

- NC: controlador numérico, que se utiliza para el control automático de las herramientas de máquina.
- Sistema de producción: conformado por ordenadores y varias máquinas y dispositivos para producir productos.

Figura 71. Ejemplificación de una red industrial



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 15 de mayo de 2018.

2.3.7.3.1. Intercambio de información dentro de una red industrial

El intercambio de información se implementa de tal forma que las máquinas individuales escriben los datos de a uno por vez en sus propias áreas de escritura, y otras máquinas dentro de la red leen los datos que se escribieron. En comparación con la red de información, piénsese en la red industrial como un tablón de anuncios de Internet en el que cualquiera en la red puede escribir y leer.

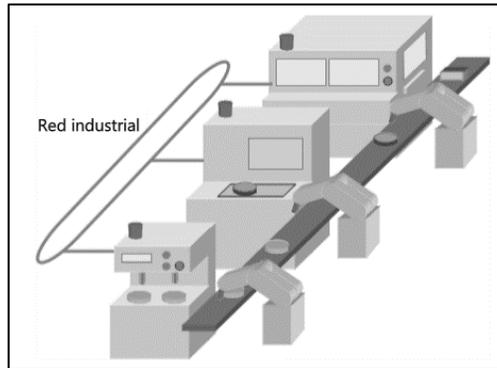
2.3.7.3.2. Características de una red industrial

A continuación, se indican las características de la red industrial.

- Una red industrial básica se conforma de los PLC.
- Los datos se sincronizan a intervalos regulares mediante la transferencia de datos cíclica.

A continuación, se indica un ejemplo de una configuración de una red industrial.

Figura 72. **Ejemplificación de una configuración de red industrial**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.
 Consulta: 18 de mayo de 2018.

2.3.7.4. **Comparación entre una red de información y una red industrial**

En la tabla XV se presenta la comparación entre una red de información y una red industrial.

Tabla XV. **Tabla comparativa entre red de información y red industrial**

Elemento	Red de información	Red industrial
Objetivo	Racionalización y ahorro del trabajo de oficina.	Automatización y ahorro del sistema de producción.
Equipo conectado	Ordenadores (como ordenadores personales), equipos de oficina.	Los PLC y varios controladores (como NC).
Sincronización de la comunicación	Comunicación cuando es necesaria.	Comunicación continua a intervalos regulares.
Cantidad de datos transmitidos	Gran cantidad.	Pequeña cantidad.
Red estándar	Ethernet.	Red estándar de cada fabricante de PLC.

Fuente: elaboración propia.

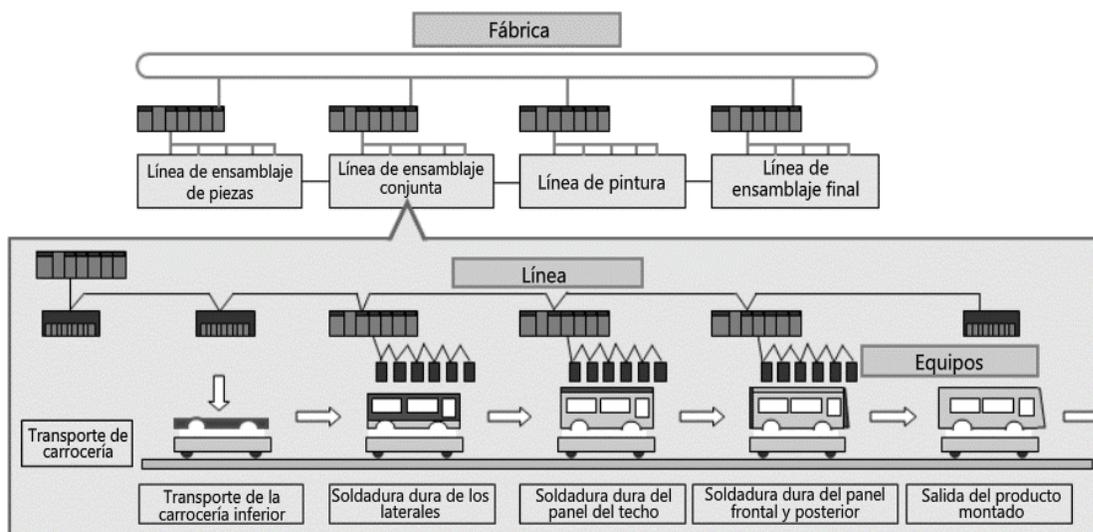
2.3.7.5. Conceptos básicos de la comunicación en una red industrial

A continuación, se presentan los conceptos básicos de la comunicación en una red industrial.

2.3.7.5.1. Red PLC

El PLC controla las máquinas y los dispositivos del sistema de producción. La red industrial se configura mediante los PLC que controlan estas máquinas y, por lo tanto, se denomina una red PLC.

Figura 73. Ejemplificación de configuración de una Red PLC



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 18 de mayo de 2018.

2.3.7.6. Comprensión de la red PLC

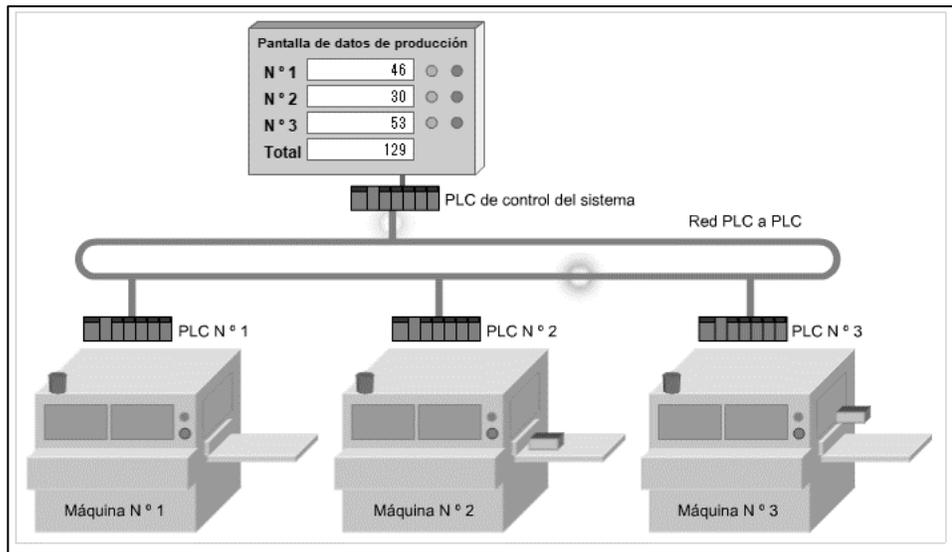
Los PLC han propiciado la automatización de las máquinas industriales. Para mejorar aún más la productividad de toda la fábrica, el sistema de producción debería automatizar todo el proceso de producción mediante el control en conjunto de las máquinas en cada línea de producción.

Para hacerlo, la información de control y la información de producción que se procesan mediante los controladores programables de las máquinas individuales deben integrarse para controlar todo el sistema de producción. Entonces, una red se utiliza para conectar los PLC de máquinas individuales. La red que conecta varios PLC entre sí se denomina red PLC a PLC.

2.3.7.6.1. Red que conecta los PLC de las maquinas individuales

La red PLC a PLC conecta el PLC que controla el sistema a aquellos que controlan las máquinas individuales. De acuerdo a las instrucciones y señales de control del PLC de control del sistema, los PLC de las máquinas individuales trabajan en conjunto para controlar todo el sistema de producción de forma integrada.

Figura 74. **Configuración simple de un PLC a una Red PLC conformada por tres máquinas**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 18 de mayo de 2018.

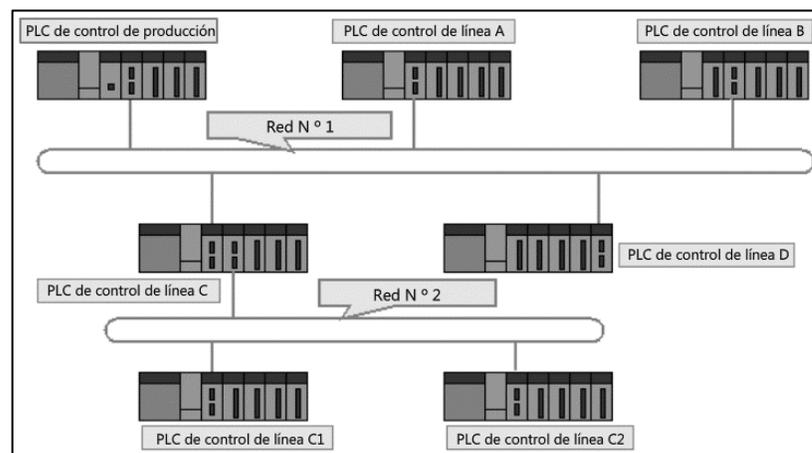
2.3.7.6.2. Características de una red PLC a PLC

- La red controla cargas de varios PLC.
- Cada PLC conectado a la red debe contener un módulo de CPU.
- La carga se distribuye entre varios PLC.
- Cada PLC opera según el programa secuencia) pertinente para sumar los resultados de la producción y supervisar el progreso de la producción.

- Este tipo de red puede utilizarse para varios sistemas, desde un sistema pequeño conformado por una red hasta un sistema de producción amplio con varias redes.

A continuación, se indica un ejemplo de configuración de un sistema multired con dos redes.

Figura 75. **Ejemplo de configuración de un sistema multired con dos redes**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

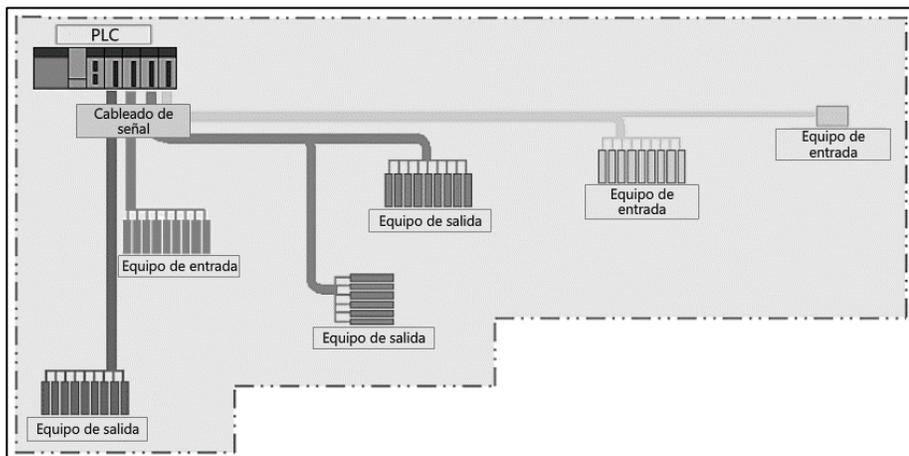
Consulta: 23 de mayo de 2018.

2.3.7.6.3. **Transferencia de las señales de E/S de PLC con equipos remotos**

A medida que la maquinaria es cada vez más grande, un PLC debe procesar un número creciente de señales de E/S. Además, se debe instalar una

gran cantidad de cableado de señal en la maquinaria para transmitir muchas señales a toda la maquinaria. Como resultado, la instalación del cableado y el mantenimiento llevan mucho tiempo.

Figura 76. **Diagrama ejemplo de cableado de una multired con PLC**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 23 de mayo de 2019.

Una forma de resolver estos inconvenientes es instalar módulos de E/S cerca de los sensores y de los actuadores en distintas posiciones de las máquinas y conectar el PLC y cada módulo de E/S con un cable de comunicación para que las señales de E/S se transmitan en conjunto. Hoy en día, estos tipos de productos se encuentran en el mercado. Una red que conecta el PLC y los módulos de E/S como la que se muestra más arriba se denomina red E/S remota. Un módulo de E/S que se instala alejado del PLC se denomina módulo E/S remoto.

2.3.7.6.4. Red de señal de E/S de PLC

Los módulos de E/S remotos como los sensores y los actuadores instalados cerca de equipos de E/S están conectados al PLC con cables de comunicación. Las señales de E/S se transfieren entre los equipos de E/S instalados en distintas localizaciones en la maquinaria y en el PLC.

2.3.7.6.5. Características de una red E/S remota

- Los módulos de E/S pueden distribuirse e instalarse en toda la máquina.
- Conectar el PLC estación maestra y varios módulos de E/S remotos con solo un cable de comunicación puede ahorrar cableado y espacio.
- El programa secuencia) en el PLC estación maestra transfiere señales de E/S entre los módulos de E/S remotos y los equipos externos.
- La red E/S remota puede utilizarse para controlar sistemas intraequipos, así como también líneas de producción a baja escala.

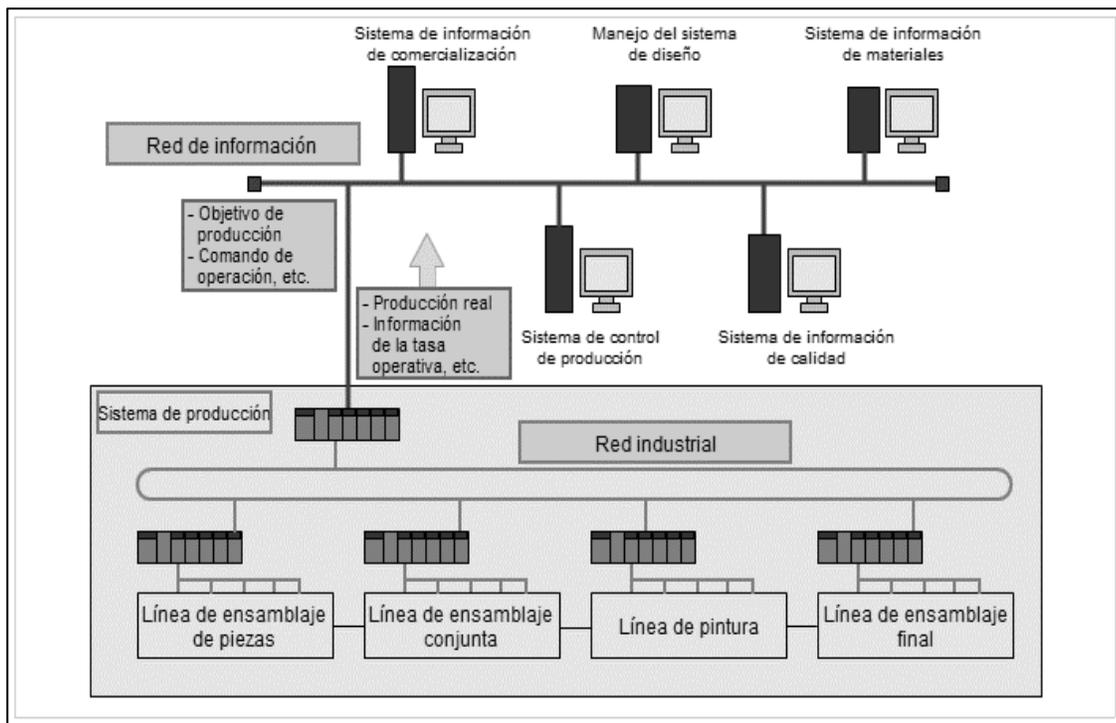
2.3.7.7. Tendencias futuras en las redes industriales

Hoy en día, se necesita un sistema de producción completo que administre y controle de forma consistente mediante una red las actividades de producción de toda la fábrica desde la recepción de un pedido hasta el envío.

2.3.7.7.1. Fusión de la red industrial y de información

El ordenador que procese la solicitud de un pedido, el diseño del producto y las restricciones de producción debe intercambiar información con el PLC que controla el sistema de producción.

Figura 77. Fusión de una red de información y una red industrial



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 23 de mayo de 2018.

Es más, la red de información y la red industrial comienzan a traslaparse. Por ejemplo, un sistema de red ahora puede controlar las actividades de producción de toda la empresa, incluso comercialización, desarrollo de producto, fabricación, envío y distribución, mediante la conexión de localizaciones empresariales desde casa y en el extranjero mediante Internet. Otro ejemplo es un sistema de mantenimiento remoto que supervise de forma remota la línea de producción de la fábrica y las operaciones de las máquinas.

2.3.8. Robots industriales

La palabra robot por lo general evoca imágenes de humanoides. Esto se debe a la influencia de las caricaturas, del anime y de la cultura pop que, por lo general, representan a los robots como máquinas del futuro parecidos a los humanos.

2.3.8.1. El rol de un robot industrial

El tipo de robot que se trata en este tema no es esta clase sino un robot industrial. Entonces, ¿qué es un robot industrial con exactitud?

- Definición de un robot industrial
- Ventajas de utilizar robots industriales
- Seguridad con los robots industriales

2.3.8.1.1. Definición de un robot industrial

Robot industrial se define como un manipulador programable que se puede controlar de forma automática y es programable en tres o más ejes.

La palabra manipulador aquí se utiliza para referirse a un dispositivo que funciona como un brazo humano para completar distintas tareas operativas.

Cuando las personas oyen la frase robot industrial, la mayoría piensa en robots alineados en una línea de fabricación de partes automotrices o en robots de ensamblaje de productos electrónicos como se ve en el televisor. Sin embargo, según la definición anterior, cualquier máquina especializada con un brazo parecido a una grúa controlado por un PLC o por un dispositivo similar es un ejemplo perfecto de un robot industrial. Estos tipos de robots se diferencian de los robots no industriales (robots personales) que se utilizan para las tareas de la vida diaria o para la domótica y el entretenimiento.

2.3.8.1.2. Ventajas del uso de robots industriales

En la tabla XVI, se muestran las ventajas del uso de robots industriales.

Tabla XVI. **Tabla de ventajas de la utilización de robots industriales**

Beneficios	Funciones del robot	Comparado con operadores humanos	Comparado con máquinas especializadas
Pueden utilizarse para mejorar la productividad.	Los robots pueden utilizarse para mover objetos de una localización a otra. A diferencia de un humano, los robots pueden operar sin descansar durante 24 horas los 7 días de la semana. Los robots pueden mover objetos de forma consistente y reiterada a muy altas velocidades.	Excelente	Relativamente bajo
Ofrece alto nivel de flexibilidad.	Pueden almacenar programas para múltiples modelos.	Bueno	Excelente

Continuación de la tabla XVI.

Puede actualizarse o reubicarse con facilidad.	Los movimientos de los robots pueden cambiarse libremente como se desee.	Bueno	Excelente
Los sistemas pueden ponerse en marcha con rapidez. El tiempo de ajuste de arranque puede acortarse ya que existen pocos inconvenientes de arranque.	Es un modelo de uso general con un amplio grado de libertad. Ofrecen alta fiabilidad comprobada mediante la instalación récord ostentosa de varios modelos con anterioridad.	Relativamente pobre	Excelente
Facilitan proteger a los trabajadores de los riesgos de accidentes industriales.	Se mueven como las manos y los brazos de un operador. (Pueden realizar movimientos más complicados).	Excelente	Igual

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.1.3. Seguridad del robot industrial

Los robots industriales operan al balancear los brazos hacia adelante y hacia atrás. Puede ser difícil predecir cómo se moverán a primera vista. Los robots operan en conjunto con los dispositivos de seguridad periféricos. Durante la fase de programar de la instalación del robot, los operadores deberán estar muy cerca del robot para programarlo. En el pasado, ha habido accidentes industriales en los que los operadores han sido golpeados, lesionados o han quedado atrapados por un robot industrial mientras realizaban dichas operaciones.

En los últimos años, las operaciones relacionadas con los robots industriales (para más detalles, consulte Programación de robots industriales y operaciones similares y Operaciones de prueba de los robots industriales) se

han señalado como operaciones peligrosas o tóxicas que necesitan operadores para completar el entrenamiento especializado antes de trabajar con ellos. La ley exige que las empresas instalen dispositivos de protección como vallas para prevenir el contacto con equipos, para desarrollar, adoptar y cumplir de forma estricta los estándares, utilizar mensajes de advertencia e inspecciones y para implementar otras precauciones de seguridad con fines de gestión. (En Japón).

2.3.8.2. Tipos y utilización de métodos para robots industriales

Los principales tipos de robots industriales pueden clasificarse como se resume a continuación.

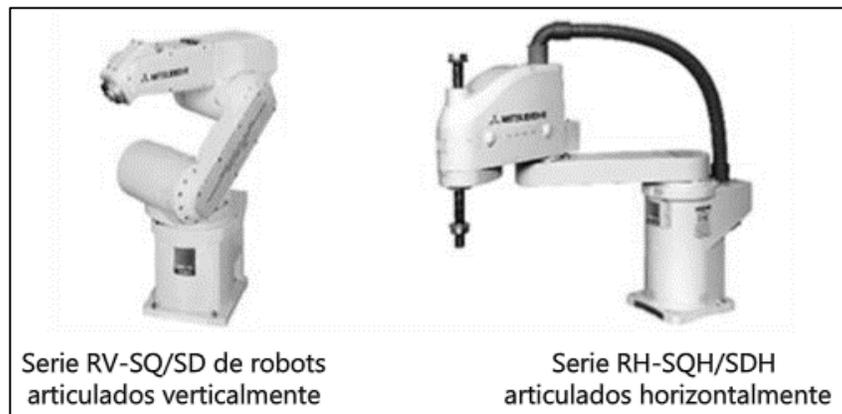
2.3.8.2.1. Tipos de robots industriales

- Clasificación con base en la mecánica
- Diseño y aplicación cada vez se hace más difícil clasificar a los robots en simples categorías ya que en la actualidad son más complejos. Por esta razón, los productos actuales utilizan.
- Estructura mecánica y el nombre de serie de productos en los nombres de sus productos. Por ejemplo, los nombres de los productos de los robots eléctricos Mitsubishi utilizan la serie RV-SQ/SD de robots articulados verticalmente y la serie RH-SQH/SDH de robots articulados horizontalmente.

Los robots que se basan en aplicaciones específicas también pueden agruparse en series basadas en el campo de utilización definido. Ejemplo de

esto son las series de robots de paletización y caja y las series de robots de sala limpia.

Figura 78. **Ejemplificación de un robot articulado verticalmente y un robot articulado horizontalmente**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 23 de mayo de 2018.

2.3.8.2.2. Modelos generales de robots industriales

En la tabla XVII, se presentan los modelos generales de robots industriales.

Tabla XVII. **Tabla de modelos generales de robots industriales**

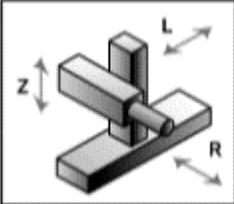
Número	Término		Definición JIS	Resumen
2110	Robot de secuencia		Un robot con un sistema de control que trabaja para generar un nuevo estado operativo cuando el anterior finaliza, mediante el avance del estado de funcionamiento de las máquinas según una secuencia fija y condiciones fijas.	Un robot que avanza a fases operativas posteriores en orden secuencial según la información fijada por adelantado (secuencias, condiciones, clasificación, entre otros.).
2120	Robot de repetición		Un robot que puede utilizarse para ejecutar un programa de tareas de forma reiterada almacenado por un programa de programación.	Un robot al que se le enseñó a operar secuencias, condiciones, clasificaciones y otra información según la forma en que un operador lo mueve y avanza las operaciones mientras duplica la información.
2130	Robot de control numérico		Un robot al que se le enseñó a operar secuencias, condiciones, clasificaciones y otra información en base al lenguaje numérico y otros datos y no según la forma en que un operador lo mueve y trabaja para completar las operaciones en base a esa información.	Un robot que se programa con secuencias operativas, condiciones, clasificaciones y otra información escrita en un lenguaje especializado o que acepta la entrada de coordenadas numéricas de posición y que opera en base a la información programada.
2140	Robot inteligente		Un robot que puede determinar de forma independiente cómo comportarse utilizando la inteligencia artificial.	Un robot que posee inteligencia artificial, lo que significa que presenta capacidades cognitivas, capacidad de aprendizaje, capacidades de pensamiento abstracto, capacidad de adaptarse al ambiente y otras capacidades de forma artificial.
	2141	Robot de control sensorial	Un robot que controla la operación mediante información de sensores.	Un robot que ingresa información sensorial desde los sensores para determinar cómo operar.
	2142	Robot de control adaptativo	Un robot que está equipado con funciones de control adaptativo.	Un robot que está equipado con funciones de control adaptativo, funciones de control que pueden utilizarse para cambiar el control y otras propiedades para cumplir con ciertas condiciones en respuesta a los cambios ambientales y otros factores.
	2143	Robot de control de aprendizaje	Un robot que está equipado con funciones de control de aprendizaje.	Un robot que está equipado con funciones de control de aprendizaje, funciones de control que se utilizan para reflejar la experiencia operativa y la información relacionada para completar las operaciones según corresponda.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.3. Estructura mecánica de un robot industrial

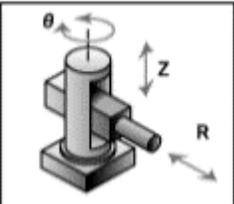
En la tabla XVIII, se presenta la estructura mecánica de un robot industrial.

Tabla XVIII. **Robot de coordenadas cartesianas**

	Definición	Un robot de coordenadas cartesianas posee un brazo que tiene una estructura mecánica con tres articulaciones lineales colocadas de acuerdo con las coordenadas cartesianas.
	Resumen	Poseen gran rigurosidad y exactitud de posicionamiento, lo que los hace sencillos de controlar. Sus velocidades de movimiento no son tan altas. Poseen un rango de operación menor que el área que ocupan. Son óptimos para acoplar/desacoplar piezas de trabajo, desde las máquinas de procesamiento de línea, operaciones que requieran posicionamiento n operaciones de paletización y operaciones que requieran gran precisión.

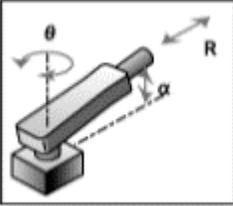
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Robot de coordenadas cilíndricas**

	Definición	Un robot de coordenadas cilíndricas posee un brazo que tiene una estructura mecánica con al menos una articulación giratoria y una lineal colocadas de acuerdo con las coordenadas cilíndricas.
	Resumen	El rango de operación se extiende no solo hacia el frente sino a ambos lados. Sin embargo, el movimiento está restringido a lo largo de la diagonal superior e inferior, lo que hace difícil utilizarlo para las operaciones complejas como operaciones de envoltura. Poseen gran rigurosidad y exactitud de posicionamiento y son relativamente sencillos de controlar. Poseen velocidades lineales más rápidas en el extremo debido a sus articulaciones giratorias. Son óptimos para operaciones de manipulación como acoplar piezas de trabajo a las máquinas e introducir objetos en cajas.

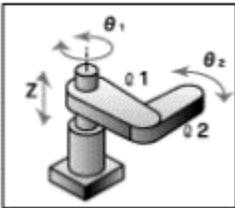
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Robot de coordenadas polares**

	Definición	Son óptimos para las operaciones que se realizan en áreas complejas como soldadura dura por puntos o pintura y en fase de hormado.
	Resumen	El rango de operación se extiende hacia arriba y hacia abajo, lo que permite que los brazos del robot se muevan hacia arriba y hacia abajo en posiciones más bajas o más altas que el cuerpo del robot. Las operaciones de envoltura también se pueden completar hasta cierto punto. No pueden utilizarse para transportar tanto peso como otros tipos de robots. Son óptimos para las operaciones que se realizan en áreas complejas como soldadura dura por puntos o pintura y en fase de hormado. (Los robots con este tipo de estructura ya casi no se utilizan).

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Robot articulado**

	Definición	Un robot articulado posee un brazo con una estructura mecánica con al menos tres articulaciones giratorias.
	Resumen	La capacidad de envoltura es suficiente como para permitirle a una persona envolver con su mano el objeto, y el área de operación en la que las operaciones complejas pueden completarse es mayor que el espacio que ocupan. Son óptimos para operaciones de alta velocidad en las que los brazos hacen movimientos circulares. Se utilizan para operaciones de ensamblaje, para recorrer superficies curvas complejas y para tareas similares.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.4. Operación/programación

Como se indicó anteriormente, existe una amplia variedad de robots industriales disponible. No se tiene espacio para describir a cada uno aquí. A continuación, se hará un resumen sobre la operación y programación para controlar la configuración de los robots utilizando a los robots industriales.

- Configuración de un robot industrial
- Operación manual y operación mediante una consola de programación
- Operación mediante programación

2.3.8.4.1. Configuración del robot industrial

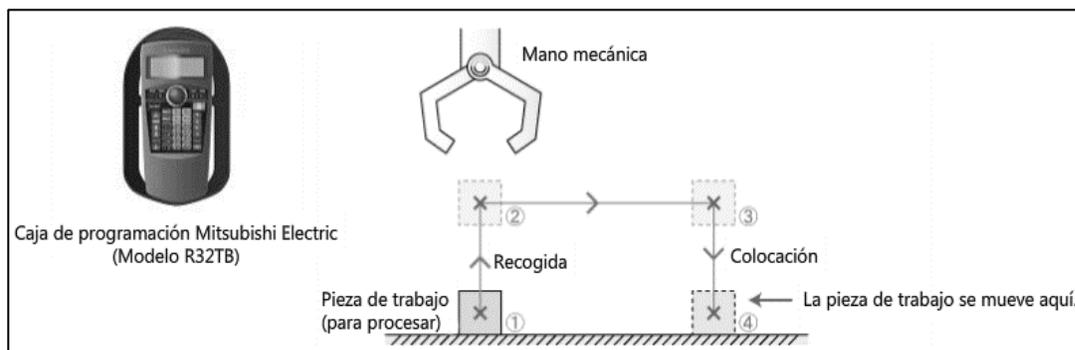
La estructura estándar de un robot industrial es como se indica a continuación.

- Cuerpo del robot.
- Controlador de robot.
- Consola de programación (una consola de programación que se utiliza para controlar el robot y programarle las posiciones).
- Cable máquina a máquina (un cable que se utiliza para conectar juntos a los robots).
- Herramientas para operaciones (manos, entre otros).

2.3.8.4.2. Operación manual y operación mediante una consola de programación

En general, la programación para los puntos de funcionamiento de los robots (posiciones, posturas) se completa con una consola de programación. La última consola de programación puede utilizarse no solo para programar la posición sino también para crear nuevos programas. A través de las operaciones que se realizan mediante una consola de programación, los operadores a menudo apuntan a que el robot complete las operaciones especificadas. Es por esto que las consolas de programación están equipadas con medidas de seguridad para distintos modelos.

Figura 79. Ejemplo con operaciones de recogida y recolección



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>

Consulta: 27 de mayo de 2018.

Los procedimientos de la figura 79 se describen a continuación.

- Las consolas de programación se utilizan para programar los puntos de funcionamiento en el orden correcto de la operación. Es decir, las consolas de programación se utilizan para añadir/guardar puntos mediante la operación manual (operación jog).
- Se utilizan para establecer las condiciones de funcionamiento (apertura/cierre de manos, velocidad de funcionamiento, entre otros) para cada punto de funcionamiento.

2.3.8.4.3. Operaciones con base en lenguaje del robot

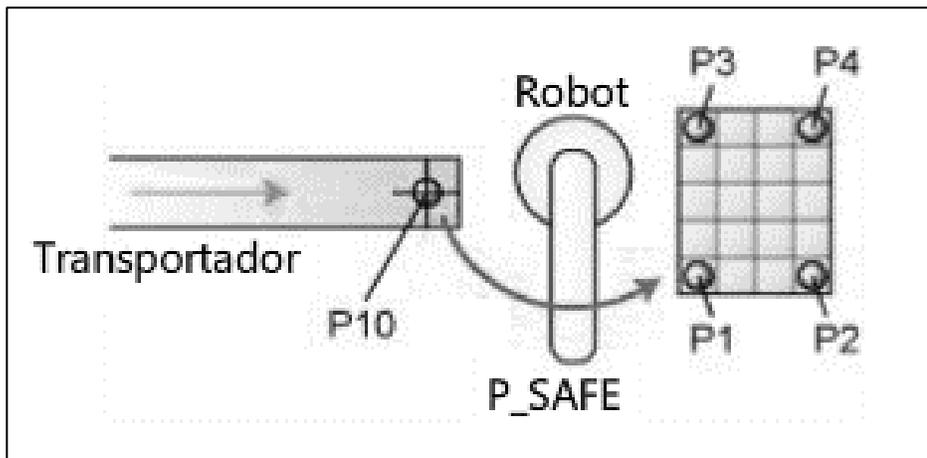
Los lenguajes del robot difieren según el fabricante. También pueden diferir según el campo de utilización, la serie u otro motivo aun siendo del mismo fabricante. Para que los participantes imaginen y tengan mejor idea de los lenguajes de robots, daremos ejemplos de programación para las operaciones de paletización utilizando MELFA-BASIC. Paletización hace referencia a la operación de apilar las piezas de trabajo desde el transportador en pallets según estándares específicos).

2.3.8.4.4. Ejemplo de condiciones de programación para un robot de paletización

- La posición de parada para cuando las piezas de trabajo salen del transportador se ajusta en P10.
- La señal de entrada IN8 se ingresará al robot cuando una pieza de trabajo esté en la posición de parada.

- La operación del robot comienza y finaliza en el punto seguro P_SAFE. Las cuatro esquinas del pallet se denominarán P1, P2, P3 y P4.
- La longitud de aproximación al punto de acople/desacople de la pieza de trabajo es 50 mm (1,97 in).
- La velocidad de interpolación lineal será 300 mm/s (11,8 in/s) y otras operaciones se moverán a la velocidad máxima.

Figura 80. **Ejemplo de condiciones de programación de un robot para paletización**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 27 de mayo de 2018.

Tabla XXII. **Comandos comunes de programación en el programa MELFA-BASIC**

Número	Programa	Comentario
1	DEF PLT 1,P1,P2,P3,P4,4,5,1	La primera fila es la definición de un pallet, con el Pallet 1 (PLT1) formado de P1 a P4 en un área de 4x5 (20 pallets diferentes). La última línea sigue la dirección del índice de los datos (dirección en la que continúa el contador).
2	MOV P_SAFE	MOV Hace referencia a la operación de interpolación de articulación.
3	SPD 300	La velocidad de interpolación lineal es 300 mm/s (11,8 in/s).
4	HOPEN 1	HOPEN1 y HCLOSE1 Son comandos para abrir/cerrar para Hand 1.
5	M1=1	Se iniciaron los ajustes del contador del pallet.
6	*LOOP	Ajustes de etiqueta (posicionamiento repetido).
7	WATT M_IN(8)=1	El sistema espera hasta que la Señal de entrada 8 (Input Signal 8) se ingrese.
8	MOV P10,-50	MOV P10, -50 mueve el brazo 50 mm (1,97 in) hacia el frente de Pl.
9	MVS P10	MVS hace referencia a la operación de interpolación lineal.
10	DLY 0.2	El temporizador se ajustará en 0,2 s.
11	HCLOSE 1	
12	DLY 0.3	
13	MVS ,-50	MVS, -50 mueve el brazo 50 mm (1,97 in) lejos de la localización actual.
14	P100=PLT 1,M1	M1 se utiliza como el contador de pallet.
15	MOV P100,-50	-50 y otros números se utilizan para mover el brazo en la dirección del eje Z de las coordenadas de herramientas.
16	MVS P100	
17	DLY 0.2	DLY es el temporizador.
18	HOPEN 1	
19	DLY 0.3	
20	MVS,-50	
21	M1=M1+1	El contador cuenta en términos incrementales.
22	IF M1< =20 Then *LOOP	La operación se repite si el Contador (el número de piezas de trabajo) es menor a 20.
23	MOV P_SAFE	Una vez que la operación se completa, el brazo se mueve al punto P_SAFE.
24	END	

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.5. Ejemplos de aplicaciones prácticas para robots industriales

Los tipos de operaciones que se pueden completar mediante robots industriales los determina el tipo de máquina-herramienta acoplada en el extremo del brazo mecánico. Por ejemplo:

- Los robots de ensamblaje que poseen una mano de agarre acoplada (que se asemeja a la humana).
- Robots de soldadura de arco que poseen un soplete de soldadura de arco acoplado.
- Robots de pintura que poseen una pistola de pintura acoplada.
- Robots de eliminación de rebabas que poseen una amoladora acoplada.

Así como otros. Existen distintos programas de software de aplicación especializados, interfaces hombre-máquina disponibles y conocimiento del procesamiento que se utilizan según el tipo de operación y, en la actualidad, existen distintos campos en géneros establecidos para cada tipo de aplicación. (Robots de operaciones especializados) El tipo de robot a seleccionar depende de la postura necesaria para la operación específica en cuestión, el rango de funcionamiento, el peso a mover, el entorno operativo y otros factores.

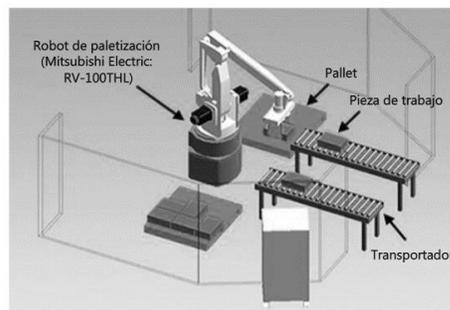
En general, mientras más ejes haya, la postura puede ser más compleja. Muchos robots articulados horizontalmente utilizan especificaciones de 4 ejes y se utilizan en ensamblaje y otras operaciones con orientación hacia abajo. Muchos robots articulados verticalmente utilizan especificaciones de 6 ejes y se utilizan para operaciones más complejas. A continuación, se citan ejemplos de aplicaciones prácticas para robots industriales.

- Aplicación de paletización
- Aplicación de entrega
- Aplicación de tracking de línea visual
- Aplicación de vigilancia de la máquina
- Aplicación de sala limpia

2.3.8.5.1. Aplicación de paletización

Las operaciones de paletización se utilizan principalmente en los procesos de entrega en fábricas y depósitos. Las operaciones de paletización incluyen entrega, almacenamiento en depósito de los objetos que están apilados en grupos sobre los pallets o en cajas. Las operaciones de apilamiento y entrega que se realizan a mano para numerosos productos son muy agotadoras y muy ineficaces. La utilización de un robot de paletización les permitirá a los operadores apilar una cantidad mayor de productos por pedido en los pallets en poco tiempo. Por ejemplo, el robot de paletización RV-100TH de Mitsubishi Electric puede mover hasta 100 kg (o 200 lb, incluso el brazo).

Figura 81. Diagrama de diseño de un proceso de paletización



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

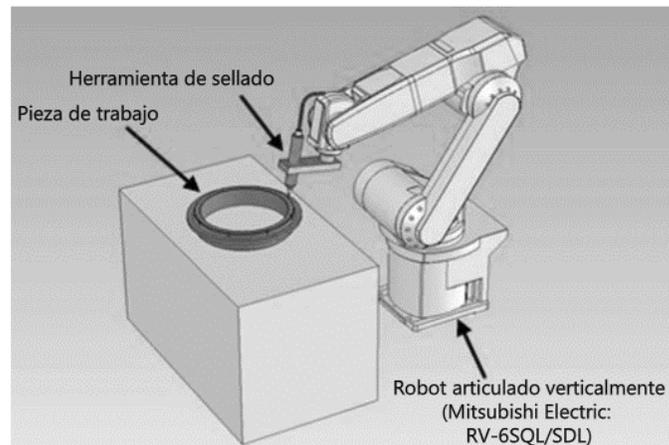
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 29 de mayo de 2018.

2.3.8.5.2. Aplicación de entrega

Los robots están equipados con un cabezal de pintura acoplado en sus extremos para las operaciones de pintura como aplicación de material de sellado, material de empaquetado, material de encerado y otros materiales. Dichos materiales deben aplicarse en las áreas de sellado de forma uniforme y continua. Por esta razón, deben incluirse los conocimientos prácticos de la operación de sellado al escribir el programa de enseñanza. Por ejemplo, dichos factores deben tenerse en cuenta, así como la sincronización de la aplicación para comenzar o detenerse y la seguridad de la exactitud de *tracking*.

Figura 82. **Diagrama de utilización de robot articulado siendo utilizado en una aplicación de entrega**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

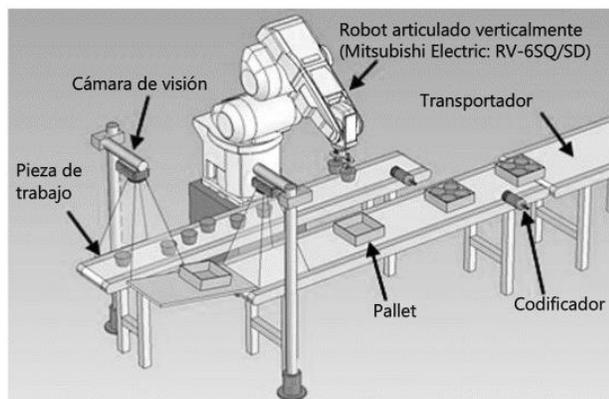
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 29 de mayo de 2018.

2.3.8.5.3. Aplicación de *tracking* de línea visual

Las operaciones de tracking son operaciones en las que las piezas de trabajo que están en el transportador se extraen sin que el transportador deba detenerse. El transporte de los productos en el ámbito de los productos alimenticios, por lo general, debe realizarse en tiempos de ciclo cortos, razón por la cual las operaciones de *tracking* se utilizan a menudo en dichas aplicaciones ya que el transportador puede funcionar sin detenerse. Las operaciones de tracking pueden utilizarse para hacer que el robot siga el movimiento del transportador mediante el envío de señales de pulsos al robot desde un codificador instalado en el transportador. También, se utiliza un sensor de visión para seguir la inclinación de las piezas de trabajo en el transportador y para los diseños aleatorios.

Figura 83. Ejemplificación de aplicación de *tracking* de línea visual



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

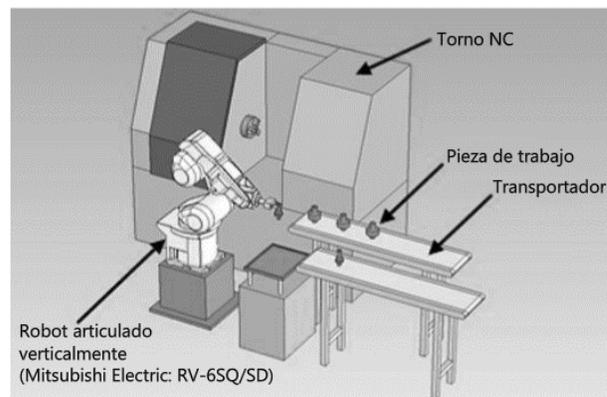
<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de julio de 2018.

2.3.8.5.4. Aplicación de vigilancia de la máquina

Una pieza de trabajo sin procesar se incluye en el bloque de piezas de trabajo en la máquina de procesamiento (torno NC) y la pieza de trabajo procesada se quita luego de ser procesada. Las piezas de trabajo sin procesar se transportan en el transportador. Las piezas de trabajo procesadas también se transportan en el transportador una vez que se han apilado en un pallet. El diseño y el alineamiento de las piezas de trabajo puede ser una operación complicada que utiliza un robot con un grado de cinco o seis ejes de libertad. En este tipo de aplicación, el tipo de robot necesario posee una estructura diseñada para resistir el polvo (neblina) que se genera durante el proceso del tomo.

Figura 84. Ejemplificación de un robot industrial utilizado para la vigilancia de una máquina



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de julio de 2018.

2.3.8.5.5. Aplicación de sala limpia

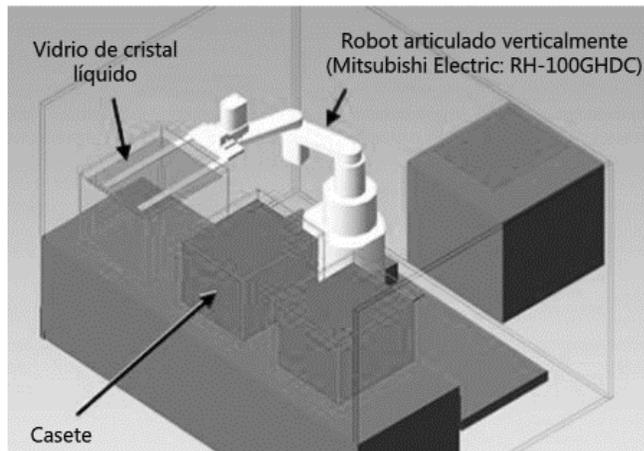
Estos robots se utilizan en áreas especiales llamadas salas limpias que deben tener ambientes limpios en extremo para los procesos de fabricación de semiconductores, cristal líquido y otras piezas. El tipo de robot que se utiliza en este tipo de aplicación es un robot de sala limpia. En pocas palabras, un robot de sala limpia es uno que está equipado con medidas para prevenir que se vierta polvo en el robot.

Para fabricar este tipo de estructura, se utilizan servos AC para todos los servos y se aplica un sellador alrededor de las áreas giratorias. El polvo que se acumula dentro del robot se extrae con un dispositivo de vacío. El nivel de limpieza dentro de una sala limpia se expresa como clase sala limpia.

Por ejemplo, una clase sala limpia de 10 (0,3 μm) se utiliza para indicar un nivel de limpieza de menos de 10 partículas de polvo con un diámetro de 0,3 μm o superior en un área de 0,09 m^2 . Los tamaños del *wafer* del semiconductor y los tamaños de vidrio de cristal líquido son cada vez mayores a medida que la tecnología de fabricación avanza.

Esto tiene relación con el incremento de la demanda de costos más bajos debido a la capacidad de obtener un gran número de chips IC de un solo *wafer* semiconductor y al incremento de la demanda de paneles de cristal líquido grandes.

Figura 85. **Utilización de un robot articulado verticalmente en una sala limpia**



Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA.*

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 2 de julio de 2018.

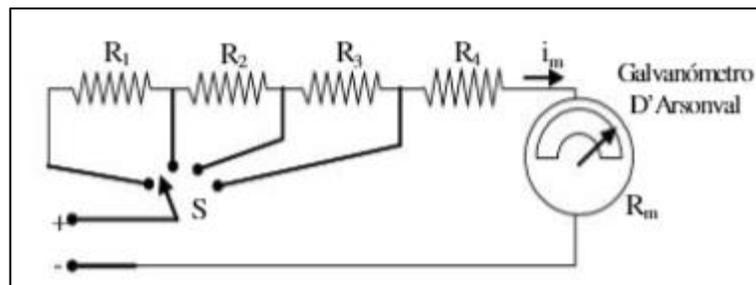
3. EJEMPLIFICACIONES VIRTUALES

3.1. Voltímetros en CD

- Ejemplo 1,1

Un galvanómetro de D'Arsonval con una resistencia interna de $100\ \Omega$ y una corriente de deflexión a escala completa de $1\ \text{mA}$, se va a utilizar como un voltímetro multirango con escalas de voltaje de $0 - 10\ \text{V}$, $0 - 50\ \text{V}$, $0 - 250\ \text{V}$ y $0 - 500\ \text{V}$, utilizando un circuito como el mostrado en la figura.

Figura 86. Ejemplo 1 de galvanómetro



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Como la escala menor es la de 0 a $10\ \text{V}$, su resistencia R_s es:

$$R_{s10} = R_4 = \frac{V_1}{i_m} - R_m = \frac{10}{10^{-3}} - 100$$

$$R_{s10} = R_4 = 9,9 \text{ k}\Omega$$

Para la segunda escala, de 0 a 50 V, su resistencia R_s es:

$$R_{s50} = R_3 + R_4 = \frac{V_2}{i_m} - R_m = \frac{50}{10^{-3}} - 100$$

$$R_{s50} = R_3 + R_4 = 49,9 \text{ k}\Omega$$

Despejando se obtiene el valor:

$$R_3 = 40,0 \text{ k}\Omega$$

Para la tercera escala, de 0 a 250 V, su resistencia R_s es:

$$R_{s250} = R_2 + R_3 + R_4 = \frac{V_3}{i_m} - R_m = \frac{250}{10^{-3}} - 100$$

$$R_{s250} = R_2 + R_3 + R_4 = 249,9 \text{ k}\Omega$$

De donde se obtiene el valor:

$$R_2 = 200,0 \text{ k}\Omega$$

Para la escala mayor, de 0 a 500 V, su resistencia R_s es:

$$R_{s500} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{V_4}{i_m} - R_m = \frac{500}{10^{-3}} - 100$$

$$R_{s500} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 499,9 \text{ k}\Omega$$

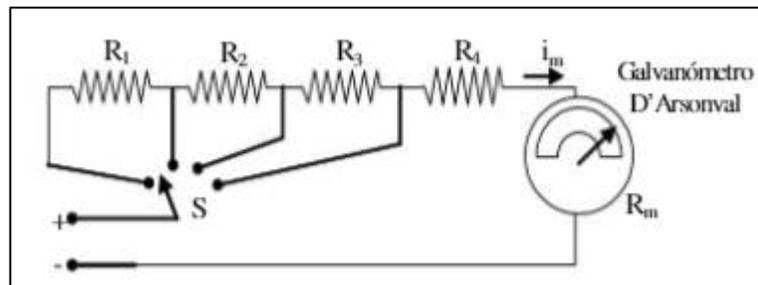
De donde se obtiene el valor:

$$R_1 = 250,0 \text{ k}\Omega$$

- Ejemplo 1,2

Repetir el ejercicio 1,1 utilizando el método de sensibilidad para el cálculo de las resistencias multiplicadoras.

Figura 87. **Ejemplo 1,2 de galvanómetro**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

:

La sensibilidad del galvanómetro es:

$$S = \frac{1}{i_m} = \frac{1}{10^{-3}} = \frac{10^3}{A}$$

La resistencia total para la escala más pequeña, de 0 a 10 V es:

$$R_{T10} = SV_1 = (10^3)(10) = 10^4 \Omega$$

Esta resistencia total es igual a la suma de la resistencia R_4 y R_m por lo que la resistencia R_4 resulta:

$$R_4 = R_{T10} - R_m = 10^4 \Omega$$

$$R_4 = 9,9 \text{ k}\Omega$$

La resistencia total para la segunda escala, de 0 a 50 V es:

$$R_{T50} = SV_2 = (10^3)(50) = 5 \times 10^4 \Omega$$

Esta resistencia total es igual a la suma de las resistencias R_3 , R_4 y R_m por lo que la resistencia R_3 resulta:

$$R_3 = R_{T50} - R_4 - R_m = 5 \times 10^4 - 9,9 \times 10^3 - 100$$

$$R_3 = 40 \text{ k}\Omega$$

La resistencia total para la tercera escala, de 0 a 250 V es:

$$R_{T250} = SV_3 = (10^3)(250) = 25 \times 10^4 \Omega$$

Esta resistencia total es igual a la suma de las resistencias R_2 , R_3 , R_4 y R_m por lo que la resistencia R_2 resulta:

$$R_2 = R_{T250} - R_3 - R_4 - R_m = 25 \times 10^4 - 40 \times 10^3 - 9,9 \times 10^3 - 100$$

$$R_2 = 200 \text{ k}\Omega$$

La resistencia total para la escala mayor, de 0 a 500 V es:

$$R_{T500} = SV_3 = (10^3)(500) = 5 \times 10^5 \Omega$$

Esta resistencia total es igual a la suma de las resistencias R_1, R_2, R_3, R_4 y R_m por lo que la resistencia R_1 resulta:

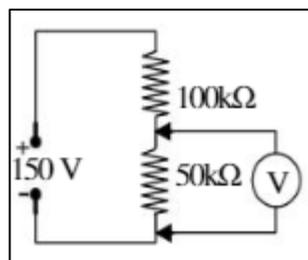
$$R_1 = R_{T500} - R_2 - R_3 - R_4 - R_m = 5 \times 10^5 - 200 \times 10^3 - 40 \times 10^3 - 9,9 \times 10^3 - 100$$

$$R_1 = 250 \text{ k}\Omega$$

- Ejemplo 1,3

Se desea medir el voltaje a través de una resistencia de $50 \text{ k}\Omega$ en el circuito de la figura. Se tiene dos galvanómetros para las escalas de medición de $0 - 10 \text{ V}$, $0 - 50 \text{ V}$ y $0 - 125 \text{ V}$, el primero con una sensibilidad de $1 \text{ k}\Omega/\text{V}$, y el segundo con $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$. Calcula la lectura en cada medidor y el error en la medición correspondiente.

Figura 88. **Ejemplo 1,3 de galvanómetro**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Si no estuviera el medidor de voltaje, el circuito se reduce a la serie de dos resistencias, por lo que la resistencia es de $150\text{ k}\Omega$ y la corriente que sale de la fuente resulta:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{150}{150 \times 10^3} = 10^{-3} \text{ A}$$

Entonces, el voltaje en la resistencia de $50\text{ k}\Omega$ es de:

$$V_2 = R_2 i = (50 \times 10^3)(10^{-3}) = 50 \text{ V}$$

Es decir que se espera medir un voltaje de 50 V , pero que será menor debido a la presencia del voltímetro, cualquiera de los dos en la escala de $0\text{-}50\text{ V}$.

Consideremos el primero de los voltímetros, su resistencia total es:

$$R_{T1-50} = SV = (10^3)(50) = 5 \times 10^4 \Omega$$

Esta resistencia está en paralelo con la resistencia R_2 por lo que la resistencia equivalente del paralelo es:

$$R_{2T1} = \frac{R_2 R_{T1}}{R_2 + R_{T1}} = \frac{(5 \times 10^4)(5 \times 10^4)}{5 \times 10^4 + 5 \times 10^4} = 2.5 \times 10^3 \Omega$$

Así que la resistencia equivalente total de la serie de R_1 con el paralelo resulta: $125\text{ k}\Omega$. La corriente eléctrica total es:

$$i' = \frac{V}{R'} = \frac{150}{125 \times 10^3} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

Entonces, el voltaje en la resistencia equivalente del paralelo, $25\text{ k}\Omega$, es de:

$$V'_2 = R_{2T1}i' = (25 \times 10^3)(1,2 \times 10^{-3}) = 30\text{ A}$$

Por lo tanto, en error relativo porcentual en el valor medido es:

$$E_1 = \frac{V_2 - V'_2}{V_2} \cdot 100\% = \frac{30 - 50}{50} \cdot 100\% = -40\%$$

Consideremos el segundo de los voltímetros, su resistencia total es:

$$R_{T2-50} = SV = (20 \times 10^3)(50) = 10^6\ \Omega$$

Esta resistencia está en paralelo con la resistencia R_2 por lo que la resistencia equivalente del paralelo es:

$$R_{2T2} = \frac{R_2 R_{T2}}{R_2 + R_{T2}} = \frac{(5 \times 10^4)(10^6)}{5 \times 10^4 + 10^6} = 47,62 \times 10^3\ \Omega$$

Así que la resistencia equivalente total de la serie de R_1 con el paralelo resulta: $147,62\text{ k}\Omega$. La corriente eléctrica total es:

$$i' = \frac{V}{R''} = \frac{150}{147,62 \times 10^3} = 1,016 \times 10^{-3}\text{ A}$$

Entonces, el voltaje en la resistencia equivalente del paralelo $147,62 \times 10^3\text{ k}\Omega$, es de:

$$V''_2 = R_{2T1}i'' = (47,62 \times 10^3)(1,016 \times 10^{-3}) = 48,38\text{ A}$$

Entonces, el error relativo en el valor medido es:

$$E_2 = \frac{V_2 - V''_2}{V_2} \cdot 100 \% = \frac{48,38 - 50}{50} \cdot 100 \% = -3,24 \%$$

Es decir que, con una mayor sensibilidad, se incrementa la resistencia total del voltímetro, lo que limita el paso de la corriente y el error debido a la presencia del voltímetro se reduce.

Para completar el análisis, tenemos que la potencia disipada en el primer voltímetro es:

$$P_{M1} = \frac{V_{2T1}^2}{R_{T1}} = \frac{30^2}{50 \times 10^3} = 18 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Mientras que, en el segundo voltímetro, resulta:

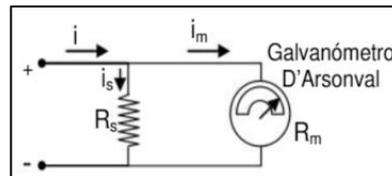
$$P_{M2} = \frac{V_{2T2}^2}{R_{T2}} = \frac{(47,62)^2}{10^6} = 2,27 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Por lo que su efecto en el funcionamiento en el circuito original es mucho menor.

3.2. Amperímetros en DC

Un galvanómetro de 1 mA con una resistencia interna de 100 Ω se quiere utilizar como amperímetro de 0 – 100 mA. Calcula el valor de la resistencia de derivación necesaria.

Figura 89. **Ejemplo 2,1 de galvanómetro**



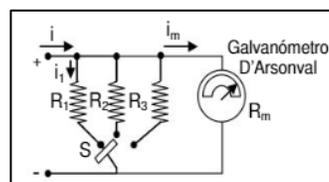
Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Como se desea medir hasta 100 mA , entonces a escala completa deben circular la corriente máxima de entrada $i = 100\text{ mA}$ y la corriente en el galvanómetro $i_m = 1\text{ mA}$. Sustituyendo los valores para determinar la resistencia de derivación, se tiene:

$$R_s = \frac{i_m R_m}{i - i_m} = \frac{1(100)}{100 - 1} = 1,01\ \Omega$$

Si se desea un amperímetro multirango, se pueden colocar varias resistencias de derivación, que son seleccionadas mediante un interruptor S del tipo que hace conexión antes de desconectar para no dejar desprotegido al galvanómetro.

Figura 90. **Ejemplo de interruptor S**

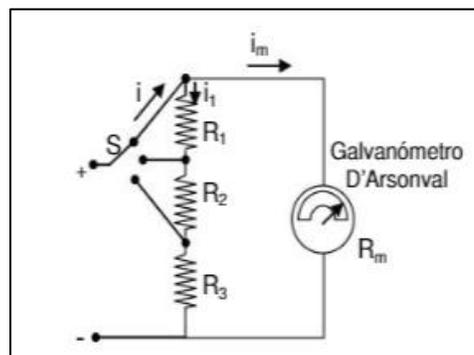


Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

La determinación de los valores de las resistencias de derivación es independiente y solo dependerá de las escalas que se desee tener. Valores de resistencia tan bajos que se pueden conseguir mediante cajas de manganina y constatan.

Una segunda opción para medir mediante distintas posibles escalas es el diseño de derivación de Ayrton, en donde los elementos de resistencia de derivación para cada rango se obtienen mediante una disposición en serie.

Figura 91. **distintas posibles escalas es el diseño de derivación de Ayrton**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Los valores de las resistencias son dependientes entre sí y de las escalas que se desee implementar. La escala menor va en la parte superior y su resistencia de derivación es la suma de las tres. La escala mayor va en la parte inferior, por lo que su resistencia de derivación sólo es la resistencia R_3 .

Supóngase que se quiere tener 3 escalas, con corrientes máximas de menor a mayor: i_A , i_B , i_C . Para la corriente i_A , se deriva por las tres resistencias la corriente $i_A - i_m$, por lo que su ecuación resulta:

$$R_{SA} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{i_m R_m}{i_A - i_m}$$

Para la segunda escala, se deriva la corriente $i_B - i_m$ por la dos últimas resistencias y la corriente i_m pasa por R_1 y R_m quedando la ecuación:

$$R_{SB} = R_2 + R_3 = \frac{i_m (R_1 + R_m)}{i_B - i_m}$$

Para la escala mayor, se deriva la corriente $i_C - i_m$ por la última resistencia y la corriente i_m pasa por R_1 , R_2 y R_m quedando la ecuación:

$$R_{SC} = R_3 = \frac{i_m (R_1 + R_2 + R_m)}{i_C - i_m}$$

A partir de estas tres ecuaciones se determina el valor de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 .

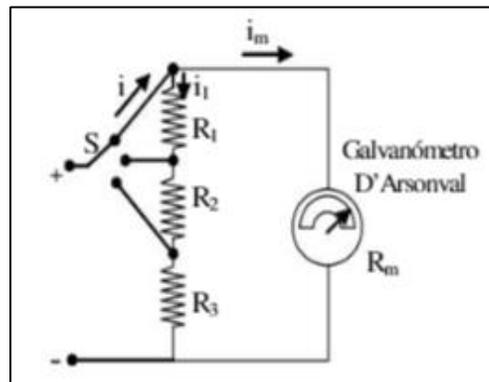
Los amperímetros comerciales tienen rangos a plena escala desde $20 \mu A$ hasta $50 A$.

3.2.1. Ejemplo 2,2

Diseñar un amperímetro con derivación de Ayrton para las escalas de corriente de $1 A$, $5 A$ y $10 A$, utilizando un galvanómetro de D'Arsonval con una

resistencia interna de 50Ω y una corriente de deflexión a escala completa de 1 mA .

Figura 92. **Ejemplo 2,2 de galvanómetro**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Sustituyendo los valores en las tres ecuaciones de las resistencias de derivación, se pueden arreglar de la forma:

$$\begin{aligned} 999(R_1 + R_2 + R_3) &= 50 \\ -R_1 + 4\,999(R_2 + R_3) &= 50 \\ -R_1 - R_2 + 9\,999(R_3) &= 50 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene el valor de las resistencias:

$$\begin{aligned} R_1 &= 40,04 \text{ m}\Omega \\ R_2 = R_3 &= 5,005 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

3.3. Ohmímetro

Es un instrumento para medir la resistencia eléctrica.

- Ejemplo 3,1

Se dispone de un galvanómetro que tiene resistencia interna de 50Ω , que soporta una corriente máxima de 1 mA , y una fuente de fem igual a 3 V . La resistencia que provoca que se desvíe a media escala es de $2 \text{ k}\Omega$. Determina los valores de las resistencias R_1 y R_2 . Si la fem de la batería se reduce a $2,7 \text{ V}$, calcula el valor de la resistencia R_2 que permite compensar la caída de voltaje de la batería, y el error en la escala en la marca de media escala.

Primero, la corriente máxima es:

$$i_M = \frac{E}{R_h} = \frac{3}{2 \times 10^3} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ A}$$

La corriente eléctrica que pasa por la resistencia R_2 es:

$$i_2 = i_M - i_m = 1,5 \times 10^{-3} - 10^{-3} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ A}$$

El valor de la resistencia R_2 resulta:

$$R_2 = \frac{R_m i_m}{i_2} = \frac{(50)(10^{-3})}{0,5 \times 10^{-3}} = 100 \Omega$$

El valor de la resistencia R_1 es:

$$R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m} = 2 \times 10^3 - \frac{(100)(50)}{100 + 50} = 1,967 \times 10^3 \Omega$$

Si la fem de la batería se reduce a 2,7 V, el ohmímetro se descalibra, introduciendo un error en la lectura de la resistencia la cual desvía a media escala el indicador. Bajo estas circunstancias la corriente máxima, ahora es:

$$i'_M = \frac{E}{R_h} = \frac{2,7}{2 \times 10^3} = 1,35 \times 10^{-3} A$$

La corriente eléctrica que pasa por la resistencia R_2 es:

$$i'_2 = i'_M - i_m = 1,35 \times 10^{-3} - 10^{-3} = 0,35 \times 10^{-3} A$$

El valor de la resistencia R_2 resulta:

$$R'_2 = \frac{R_m i_m}{i'_2} = \frac{(50)(10^{-3})}{0,35 \times 10^{-3}} = 143 \Omega$$

El valor de la resistencia equivalente del paralelo con el galvanómetro da:

$$R'_{em2} = \frac{R_m R'_2}{R_m + R'_2} = \frac{(50)(143)}{50 + 143} = 37 \Omega$$

Por lo que la resistencia para media escala resulta:

$$R'_h = R_1 - R'_{em2} = 1\,967 + 37 = 2\,004 \times 10^3 A$$

Como este valor es mayor a la resistencia con la que se hizo el diseño, la aguja estará ligeramente hacia la izquierda de la media escala. El error porcentual es:

$$E = \frac{R'_h + R_h}{R_h} \cdot 100 \% = \frac{2.004 \times 10^3 - 2 \times 10^3}{2 \times 10^3} \cdot 100 \% = 0,20 \%$$

Si la batería se sigue degradando, puede llegar a un punto en donde la resistencia R_2 ya no se pueda ajustar para recalibrar el ohmímetro. Conforme se va degradando la batería el valor de R_2 aumenta, por lo que valor máximo que podría tomar es abriendo esa parte del circuito, haciendo que la corriente en el circuito sea igual a la corriente máxima en el galvanómetro. Después de este valor en la batería ya no podrá realizar la calibración del ohmímetro.

- Ejemplo 3,2

Se dispone de un ohmímetro tipo derivación que tiene un galvanómetro con resistencia interna de 5Ω y soporta una corriente máxima a plena escala de 10 mA . Determina el valor al que hay que ajustar la resistencia R_1 y el valor de R_h que hace que la aguja se desvíe a media escala.

El valor de la resistencia R_1 es:

$$R_1 = \frac{E - R_m i_m}{i_m} = \frac{3 - (5)(0,010)}{0,010} = 295 \Omega$$

El valor de la resistencia que desvía la aguja a media escala resulta:

$$R_h = \frac{R_1 R_m}{R_1 + R_m} = \frac{(295)(5)}{295 + 5} = 4,917 \Omega$$

- Ejemplo 3,3

Se dispone de un ohmímetro tipo derivación que tiene un galvanómetro con resistencia interna de 5Ω y soporta una corriente máxima a plena escala de 10 mA . Se desea modificar el funcionamiento del circuito aumentando la resistencia R_s en paralelo con el galvanómetro, para que mida $0,5 \Omega$ a media escala. Determina el valor de la resistencia adicional R_s que se debe colocar en serie con el galvanómetro para que la mitad de la corriente pase por R_h y el valor al que debe ajustarse la resistencia R_1 .

La corriente en el galvanómetro, a media escala, es de 5 mA y el voltaje del paralelo es:

$$V_m = R_m i_m = (5)(0,005) = 25 \text{ mV}$$

La corriente que pasa por la resistencia R_h resulta:

$$i_h = \frac{V_h}{R_h} = \frac{0,025}{0,5} = 50 \text{ mA}$$

La corriente que circula por la resistencia de derivación R_s es:

$$i_s = i_h - i_m = 45 \text{ mA}$$

Por lo que el valor de la resistencia es:

$$R_s = \frac{V_s}{i_s} = \frac{0,025}{0,045} = 0,5556 \Omega$$

La corriente total es de 100 mA así que la resistencia R_1 debe ajustarse al valor:

$$R_1 = \frac{V_1}{i_1} = \frac{2,975}{0,100} = 29,75\ \Omega$$

3.4. Factor de potencia

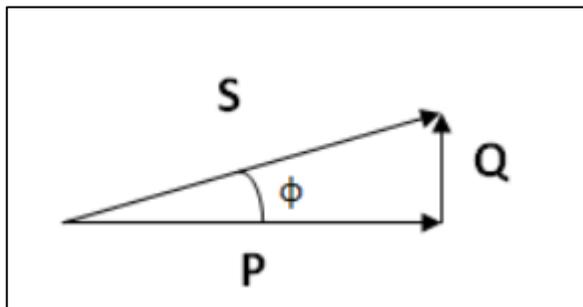
Se sabe que la corriente se encuentra en atraso, por lo tanto, la potencia reactiva es del tipo inductiva.

- Ejemplo 4,1

Una instalación consume una potencia activa de $5,2\text{ kW}$ y una potencia reactiva de $1,1\text{ kVAR}$ en atraso. Calcular el ángulo de desfasaje y el factor de potencia.

El triángulo de potencias es similar al siguiente:

Figura 93. Triángulo de potencia, ejemplo 4,1



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Se calcula primero la potencia aparente (S). Debido a que se trata de la hipotenusa de un triángulo, se aplica el teorema de Pitágoras.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{5,2^2 + 1,1^2} = 5,32 \text{ kVAR}$$

El factor de potencia (que es el coseno del ángulo) se calcula como la potencia activa sobre la potencia aparente.

$$Fp = \frac{P}{S} = \frac{5,2 \text{ kW}}{5,32 \text{ kVAR}} = 0,98$$

El ángulo lo se calcula a través de la función inversa del coseno.

$$\cos \phi = 0,98$$

$$\phi = \cos^{-1} 0,98 = 11,48^\circ$$

- Ejemplo 4.2

Una instalación consume $3,5 \text{ kW}$ de potencia activa con un factor de potencia de $0,8$. Calcular la potencia reactiva y la potencia aparente.

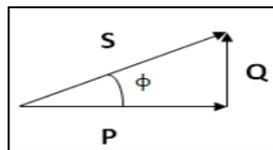
Se sabe que el factor de potencia es igual al coseno del ángulo ϕ , por lo tanto se puede hallar el ángulo a través de la función inversa del coseno.

$$Fp = \cos \phi = 0,8$$

$$\phi = \cos^{-1} 0,8 = 36,87^\circ$$

El triángulo de potencias queda con la siguiente forma:

Figura 94. **Triángulo de potencia, ejemplo 4,2**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Tanto la potencia reactiva como la potencia aparente se puede calcular por trigonometría.

Para la potencia reactiva se plantea la siguiente relación:

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \Rightarrow Q = \tan \phi \cdot P$$

$$Q = \tan(36,87^\circ) \cdot 3,5 \text{ kW} = 2,63 \text{ kVAR}$$

Para la potencia aparente se plantea la siguiente relación:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \Rightarrow S = \frac{P}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{3,5 \text{ kW}}{\cos 36,87} = 4,377 \text{ kVA}$$

3.5. Corrección de factor de potencia

A continuación, se presenta un ejemplo de factor de potencia.

- Ejemplo 5,1

Una instalación de 220 *voltios* y 60 *Hz* consume una potencia activa de 5,2 *kW* con factor de potencia de 0,8 y corriente en atraso. Calcular la capacidad necesaria a conectar en paralelo para obtener un factor de potencia de 0,95.

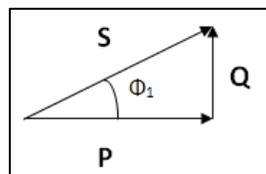
Se calcula primero el ángulo de desfasaje inicial (ϕ_1) a partir del factor de potencia dado (Fp_1). Se sabe que el factor de potencia es igual al coseno del ángulo, y por lo tanto, el ángulo se calcula con la función inversa del coseno.

$$Fp_1 = \cos \phi_1 = 0,8$$

$$\phi_1 = \cos^{-1} 0,8 = 36,87^\circ$$

El triángulo de potencia queda con la siguiente forma:

Figura 95. **Triángulo de potencia, ejemplo 5,1**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Se calcula por trigonometría el valor de la potencia reactiva inicial.

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_1}{P} = Q_1 = \tan(\phi_1) \cdot P$$

$$Q_1 = \tan(36,87^\circ) \cdot 5,2 \text{ kW} = 3,9 \text{ kVAR}$$

Se busca un factor de potencia de 0,95, por lo tanto, se calcula el ángulo deseado para ese nuevo factor de potencia.

$$Fp_2 = \cos \phi_2 = 0,95$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,19^\circ$$

Se calcula la potencia reactiva total necesaria para obtener el ángulo hallado con la potencia activa dada.

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_2}{P} \Rightarrow Q_2 = \tan(\phi_2) \cdot P$$

$$Q_2 = \tan(18,19^\circ) \cdot 5,2 \text{ kW} = 1,71 \text{ kVAR}$$

Se calcula la diferencia entre la potencia reactiva de la instalación y la potencia reactiva necesaria para obtener el factor de potencia solicitado.

$$dif = Q_1 - Q_2 = 3,9 \text{ kVAR} - 1,71 \text{ kVAR} = 2,19 \text{ kVAR}$$

La diferencia entre ambas potencias es el valor de potencia reactiva que debe disminuirse. Debido a que la potencia reactiva de la instalación es del tipo

inductiva (ya que se indica que la corriente está atrasada), para reducirla se debe generar una potencia reactiva capacitiva (que es de signo contrario).

Para calcular la capacidad utilizamos la siguiente expresión.

$$C = \frac{P}{V^2 \cdot \omega}$$

Se calcula la velocidad angular.

$$\omega = 2\pi f = 376,99 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se calcula la capacidad requerida para generar la diferencia de potencia calculada:

$$C = \frac{2\,190 \text{ VAR}}{(220\text{v})^2 \cdot 376,99 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 120 \mu\text{F}$$

- Ejemplo 5,2

Una instalación de 220 v y 60 Hz consume una potencia activa de 2500 W con un factor de potencia de 0,75 y corriente en atraso. Calcular la capacidad necesaria a conectar en paralelo para llevar el factor de potencia a 0,9.

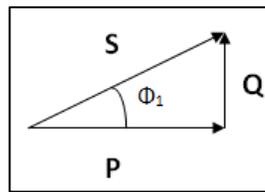
A partir del factor de potencia dado (Fp_1) se calcula el ángulo de desfase inicial (ϕ_1) a través de la función inversa del coseno.

$$Fp_1 = \cos \phi_1 = 0,75$$

$$\phi_1 = \cos^{-1} 0,75 = 41,41^\circ$$

El triángulo de potencia queda con la siguiente forma:

Figura 96. **Triángulo de potencia, ejemplo 5,2**



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

Se calcula el valor de la potencia reactiva inicial (cateto Q) utilizando la función tangente.

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_1}{P} = Q_1 = \tan(\phi_1) \cdot P$$

$$Q_1 = \tan(41,41^\circ) \cdot 2\,500\,W = 2\,204,8\,VAR$$

El factor de potencia buscado es de 0,9, por lo tanto, se calcula el ángulo deseado para ese nuevo factor de potencia.

$$Fp_2 = \cos \phi_2 = 0,9$$

$$\phi_2 = \cos^{-1} 0,9 = 25,84^\circ$$

Se calcula la potencia reactiva necesaria para obtener el ángulo hallado.

$$\tan \phi_2 = \frac{Q_2}{P} \Rightarrow Q_2 = \tan(\phi_2) \cdot P$$

$$Q_2 = \tan(25,84^\circ) \cdot 2\,500\,W = 1\,210,7\,kVAR$$

Se calcula la diferencia entre la potencia reactiva de la instalación y la potencia reactiva necesaria para obtener el factor de potencia solicitado.

$$dif = Q_1 - Q_2 = 2\,204,8\,VAR - 1\,210,7\,VAR = 994,1\,VAR$$

Se sabe que se debe disminuir la potencia reactiva en el valor de la diferencia hallada. Debido a que la instalación tiene una potencia reactiva inductiva (ya que la corriente está en atraso), se busca un valor de capacidad que genere una potencia reactiva por esa diferencia. Como la potencia reactiva capacitiva es de signo contrario al de la potencia reactiva inductiva, se puede reducir ese valor.

Para calcular la capacidad se utiliza la siguiente expresión.

$$C = \frac{P}{V^2 \cdot \omega}$$

Se calcula la velocidad angular:

$$\omega = 2\pi f = 376,99 \frac{rad}{s}$$

Se calcula la capacidad requerida para generar la diferencia de potencia calculada:

$$C = \frac{994,1 \text{ VAR}}{(220v)^2 \cdot 376,99 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 54,49 \mu\text{F}$$

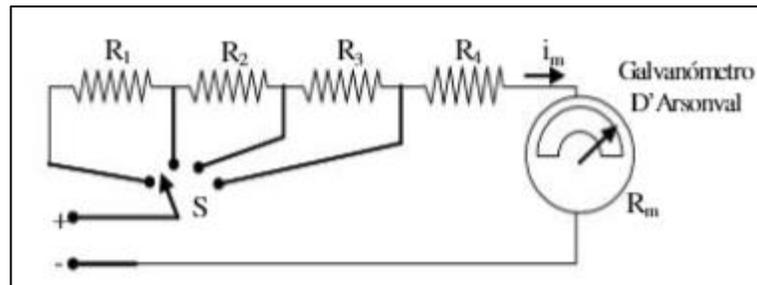
4. AUTOEVALUACIONES

4.1. Voltímetros en CD

- Autoevaluación 1,1

Un galvanómetro de D'Arsonval con una resistencia interna de $100\ \Omega$ y una corriente de deflexión a escala completa de $1\ \text{mA}$, se va a utilizar como un voltímetro multirango con escalas de voltaje de $0 - 40\ \text{V}$, $0 - 60\ \text{V}$, $0 - 450\ \text{V}$ y $0 - 900\ \text{V}$, utilizando un circuito como el mostrado en la figura 97.

Figura 97. Autoevaluación 1,1

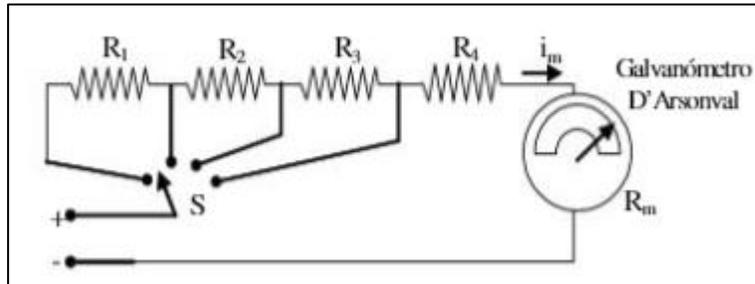


Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

- Autoevaluación 1,2

Repetir el ejercicio 1,1 utilizando el método de sensibilidad para el cálculo de las resistencias multiplicadoras.

Figura 98. **Autoevaluación 1,2**

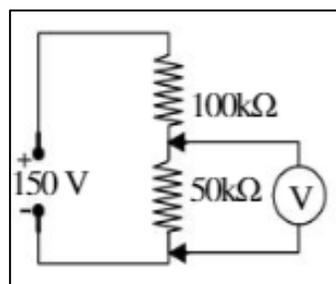


Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

- Autoevaluación 1,3

Se desea medir el voltaje a través de una resistencia de $50\text{ k}\Omega$ en el circuito de la figura. Se tiene dos galvanómetros para las escalas de medición de $0 - 25\text{ V}$, $0 - 150\text{ V}$ y $0 - 300\text{ V}$, el primero con una sensibilidad de $2\text{ k}\Omega/\text{V}$, y el segundo con $40\text{ k}\Omega/\text{V}$. Calcula la lectura en cada medidor y el error en la medición correspondiente.

Figura 99. **Autoevaluación 1,3**



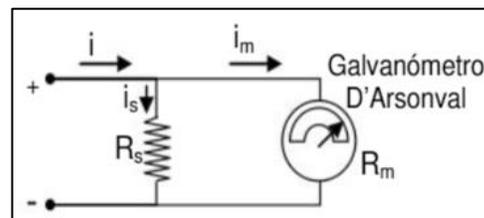
Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

4.2. Amperímetros en DC

- Autoevaluación 2,1

Un galvanómetro de 1 mA con una resistencia interna de $200\ \Omega$ se quiere utilizar como amperímetro de $0 - 200\text{ mA}$. Calcula el valor de la resistencia de derivación necesaria.

Figura 100. Autoevaluación 2,1

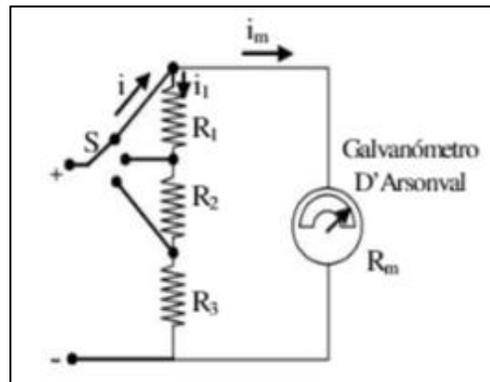


Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

4.2.1. Autoevaluación 2,2

Diseñar un amperímetro con derivación de Ayrton para las escalas de corriente de 4 A , 6 A y 12 A , utilizando un galvanómetro de D'Arsonval con una resistencia interna de $180\ \Omega$ y una corriente de deflexión a escala completa de $1,3\text{ mA}$.

Figura 101. Autoevaluación 2,2



Fuente: *Galvanómetro*. <https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>. Consulta: 12 de abril de 2019.

4.3. Ohmímetro

- Autoevaluación 3,1

Se dispone de un galvanómetro que tiene resistencia interna de 160Ω , que soporta una corriente máxima de 1.8 mA , y una fuente de fem igual a 4 V . La resistencia que provoca que se desvíe a media escala es de $4 \text{ k}\Omega$. Determina los valores de las resistencias R_1 y R_2 . Si la fem de la batería se reduce a $3,3 \text{ V}$, calcula el valor de la resistencia R_2 que permite compensar la caída de voltaje de la batería, y el error en la escala en la marca de media escala.

- Autoevaluación 3,2

Se dispone de un ohmímetro tipo derivación que tiene un galvanómetro con resistencia interna de 9Ω y soporta una corriente máxima a plena escala de

15 mA. Determina el valor al que hay que ajustar la resistencia R_1 y el valor de R_h que hace que la aguja se desvíe a media escala.

- Autoevaluación 3,3

Se dispone de un ohmímetro tipo derivación que tiene un galvanómetro con resistencia interna de 10Ω y soporta una corriente máxima a plena escala de 17 mA. Se desea modificar el funcionamiento del circuito aumentando la resistencia R_s en paralelo con el galvanómetro, para que mida $0,2 \Omega$ a media escala. Determinar el valor de la resistencia adicional R_s que se debe colocar en serie con el galvanómetro para que la mitad de la corriente pase por R_h y el valor al que debe ajustarse la resistencia R_1 .

4.4. Factor de potencia

- Autoevaluación 4,1

Una instalación consume una potencia activa de 5,5 kW y una potencia reactiva de 1,4 kVAR en atraso. Calcular el ángulo de desfasaje y el factor de potencia.

- Autoevaluación 4,2

Una instalación consume 4,5 kW de potencia activa con un factor de potencia de 0,9. Calcular la potencia reactiva y la potencia aparente.

4.5. Corrección de factor de potencia

- Autoevaluación 5,1

Una instalación de 220 voltios y 60 Hz consume una potencia activa de $8,4\text{ kW}$ con factor de potencia de $0,5$ y corriente en atraso. Calcular la capacidad necesaria a conectar en paralelo para obtener un factor de potencia de $0,92$.

4.5.1. Autoevaluación 5,2

Una instalación de 220 v y 60 Hz consume una potencia activa de $3\ 500\text{ W}$ con un factor de potencia de $0,25$ y corriente en atraso. Calcular la capacidad necesaria a conectar en paralelo para llevar el factor de potencia a $0,93$.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó una edición virtual del curso de Instrumentación Eléctrica, bajo el modelo constructivista para ser utilizada en la Escuela de Mecánica Eléctrica perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Se crearon videos de aplicaciones sobre la teoría y los conceptos contenidos en el curso de instrumentación eléctrica con el fin de apoyar el ámbito conceptual y teórico.
3. Se elaboraron métodos de evaluación en los cuales se aplican los conceptos y la teoría prevista en el transcurso del curso.
4. Se creó un sistema de educación el cual es capaz de optimizar la productividad, eficiencia y eficacia tanto en el estudiante como en el catedrático.
5. Se otorgó material virtual didáctico al estudiante por medio del modelo constructivista para promover la productividad y responsabilidad. Educar al estudiante otorgándole una responsabilidad diaria para que este desempeñe un mejor manejo de su tiempo.
6. El formato de los videos es el siguiente: por una introducción única utilizada solo por la Escuela de Mecánica Eléctrica, objetivos del video, desarrollo del tema, conclusiones y, por último, los créditos correspondientes del video. La creación de los videos se realizó

mediante el software: VideoScribe, Adobe After Effects y Adobe Premier Pro.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar el material virtual en el orden establecido ya que los temas se complementan los unos con los otros para hacer más fácil la metodología de aprendizaje.
2. Adquirir el conocimiento de nuevos conceptos y teoría sabiendo que no solo serán de utilidad en un examen, también, en el ámbito laboral. Teniendo en cuenta eso, el progreso del curso se volverá menos arduo.
3. Acoplar el curso virtual en el día a día del estudiante, brindándole siempre la importancia debida pero que no sea un consumo de tiempo sino una optimización del mismo.
4. Con respecto a los cálculos en la experimentación, siempre tomar en cuenta los parámetros internos de los instrumentos tales como voltímetros, amperímetros, entre otros, ya que representan una variable significativa dentro del resultado.
5. Ser autodidacta. El campo de la instrumentación eléctrica hoy en día es demasiado amplio, por lo que la universidad provee los conceptos básicos para ser capaces de adentrarse en temas más profundos y de alta relevancia en el ámbito laboral.
6. La mejor forma de aprender es enseñando. Dedicarse a compartir conocimientos sin ningún interés es lo que hace mejores estudiantes, mejores ingenieros, mejores personas, mejores guatemaltecos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERMÚDEZ, Danilo. *Mediciones industriales*. [en línea]. <<https://www.google.com.gt/search?q=BERM%C3%9ADEZ,+Danilo.+Mediciones+industriales.p.>> [Consulta: 5 de marzo de 2019.]
2. GONZÁLES, Dayana. *Mediciones industriales*. [en línea]. <<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=0ELVxO fz K pGF1fAPqPu62AM&q=Mediciones+industriales++Dayana+Gonzalez +G.&oq= Medicione s+.>> [Consulta: 23 de junio de 2018.]
3. La Guía MetAs - MetAs & Metrólogos Asociados. *Representación vectorial, para cargas; resistiva, inductiva y capacitiva*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=nD_vXNSaG4a55gLt2IL4CQ&q=Representaci%C3%B3n+vectorial%2C+para+cargas%3B+resistiva%2C+inductiva+y+capacitiva&oq=> [Consulta: 11 de junio de 2018.]
4. Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*. [en línea]. <<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf.>> [Consulta: 15 de septiembre de 2018.]

5. Redes sociales. *Redes sociales modernas*. [en línea]. <<https://www.google.com.gt/search?Tbm=isch&sa=1&ei=qDjvXPX2C4eKauO1iqAG&q=Redes+sociales+de+gran+impacto+actualmente&oq=Redes+sociales+de+gran+impacto+actualmente&>> [Consulta: 20 de enero de 2018.]
6. *SlideShare*. *Galvanómetro*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/MrYesernesto14/diapositivas-instrumentacion-corregidas-5767831>> [Consulta: 12 de abril de 2019.]
7. _____ . *Ilustraciones de construcción colaborativa*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/search?q=Imagen+ilustrativa+de+construcci%C3%B3n+colaborativa&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiC2dOCk8LiAhUkpnEKHcLgQ_AUIDigB.>> [Consulta: 3 de enero de 2018.]
8. _____ . *Instrumentos indicadores electromecánicos. Voltímetros de CD*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=jzvXPzCFs3c5gLr-L7oCQ&q=voltimetro+de+cd&oq=voltimetro+de+cd&gs_l=img.3..0.474749.483194..483915...1.0..0.185.2354.7j1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i8i30j0i24j0i10i24.3n7Sm4XtQ.>> [Consulta: 25 de enero de 2018.]
9. _____ . *Instrumentación y control. Diagramas de calibración*. [en línea].

<<https://www.slideshare.net/cfgsisniegas/diagramas-pid>>

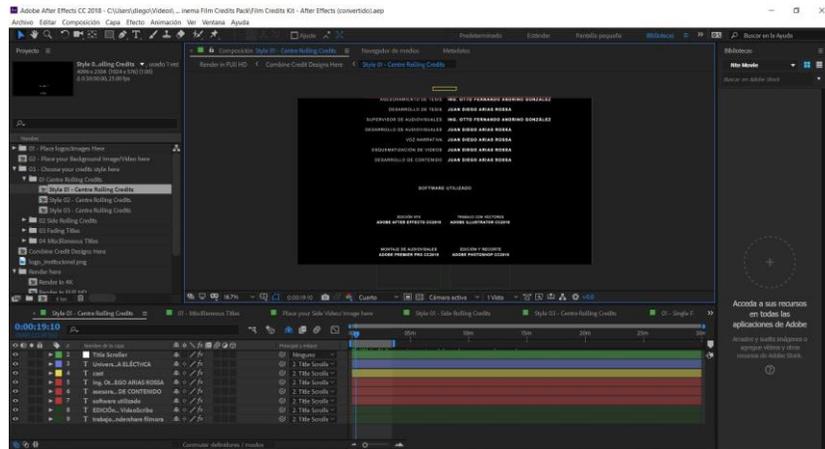
[Consulta: 11 de septiembre de 2018.]

10. _____ . *Modelo constructivista en conjunto con las nuevas tecnologías*. [en línea]. <<https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=BzjvXLrfH4rylwSphlbgCQ&q=Modelo+constructivista+en+conjunto+con+las+nuevas+tecnolog%2E>> [Consulta: 3 de enero de 2018.]

11. Weston Instrumets, Inc. *Detalles del proceso de construcción de un galvanómetro*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/search?tbm=isch&sa=1&ei=1jnvXKi4JK2s5wKa74bYBw&q=Weston+Instrumets%2C+Inc.&oq=Weston+Instrumets%2C+Inc.&gs_l=img.3...173366.173366..174467...0.0..0.88.88.1.....0....2j1..gws-wiz-img.shc4 od 8P ogc> [Consulta: 22 de enero de 2018.]

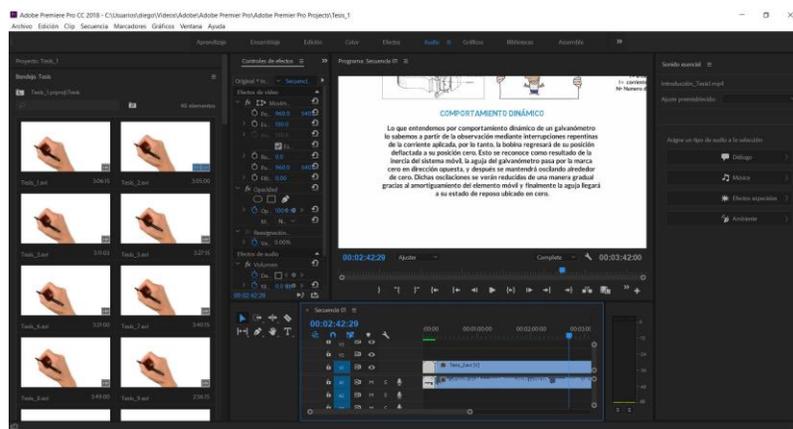
APÉNDICES

Apéndice 1. Interfaz de edición de Adobe After Effects



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe After Effects.

Apéndice 2. Interfaz de edición de Adobe Premier Pro



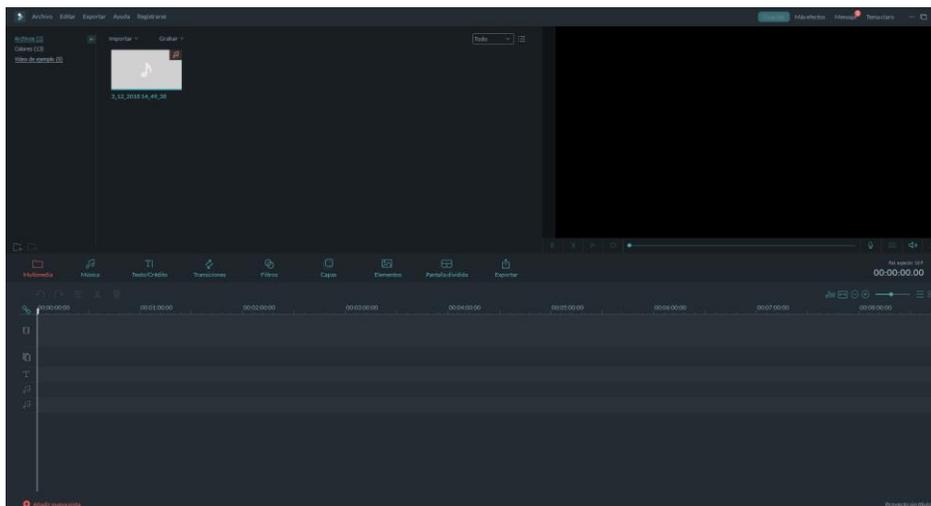
Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Premier Pro.

Apéndice 3. Interfaz de edición - VideoScribe



Fuente: elaboración propia, utilizando VideoScribe.

Apéndice 4. Interfaz de edición – Wondershare Filmora



Fuente: elaboración propia, utilizando Wondershare Filmora.

ANEXO

Anexo 1. Interfaz de software de instrumentación – Mitsubishi Electric

FA_Equipment_for_Beginners(PLCs)_SPA

1.3 Ventajas del Control de Secuencia



El control de secuencia es ampliamente utilizado, especialmente en fábricas. Muchas operaciones y tareas son automatizadas por el control de secuencia. Las tareas, peligrosas y simples, que solían ser realizadas por personas ahora son realizadas por máquinas, de forma que las personas se pueden enfocar en tareas seguras. Además, las máquinas no se fatigan. Mientras que las personas están tomando un descanso, los productos continúan produciéndose al realizar con precisión una serie de acciones predeterminadas aún en entornos que son demasiado duros para las personas. En consecuencia, las máquinas han hecho posible producir en masa bienes manufacturados de alta calidad en forma eficiente. Esta optimización del proceso de producción es conocida como "automatización de fábrica" o "FA". Así, el control de secuencia juega un rol importante en la FA.

Ejemplo de Proceso/Tarea	Ejemplos de Uso del Control de Secuencia
Clasificación	El tamaño de los productos en una cinta transportadora en una línea de producción es determinado y después éstos son ordenados.
Cortado	La longitud de los materiales en los rollos es medida y cortada por un cortador que se moviliza con intervalos fijos.
Embotellando Líquidos	Las botellas vacías son transportadas para posicionarlas debajo de la boquilla, son llenadas con una cantidad determinada de líquido y después son transportadas hacia otra posición. Después, la siguiente botella vacía es transportada.
Reorganización	Los productos son contados y, cuando la cantidad necesaria es alcanzada, el robot es instruido para producir un producto distinto.
Monitorización	La cantidad de líquido es monitoreada; si la cantidad fijada está por ser excedida, la botella será descargada y una lámpara se encenderá en forma simultánea para advertir al operador humano.
Cambio de Parte	La etiqueta de código de barras aplicada al producto es leída y la máquina es instruida para cambiar las partes que deberán ser montadas de acuerdo con el lugar al que se exportará el producto.

Fuente: Mitsubishi Electric Corporation. *Software de equipo FA*.

<https://www.climagar.com/catalogos-de-fabricantes/mitsubishi/mitsubishi-electric-2018.pdf>.

Consulta: 15 de septiembre de 2018.

