



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

**ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS CONCEPTOS DE SISTEMAS
TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD
ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2**

Javier Andrés Pellecer Ramírez

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, julio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Javier Andrés Pellecer Ramírez

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO 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 Escobedo Martínez
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. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
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 CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha febrero de 2018.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Pellecer', with a stylized flourish and a double quote mark at the end.

Javier Andrés Pellecer Ramírez

Guatemala, 17 de mayo de 2019

Ingeniero

Julio Rolando Barrios Archila

Coordinador del Área de Electrotecnia

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería, USAC

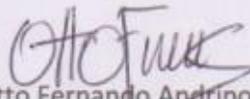
Estimado Ingeniero Barrios:

Por medio de la presente le informo que he asesorado el trabajo de tesis titulado: **"ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2"**, desarrollado por el estudiante, Javier Andrés Pellecer Ramírez, previo a optar al título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Con base en la revisión y corrección de dicho trabajo, considero que ha alcanzado los objetivos propuestos, por lo que el estudiante y asesor, nos hacemos responsables del contenido del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,



Ing. Otto Fernando Apdriño González

Colegiado No. 4038

Asesor

Otto F. Apdriño G.
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO # 4038



REF. EIME 28. 2019.

20 de mayo 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
CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO
ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD
ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2,**
del estudiante; Javier Andrés Pellecer Ramírez, que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

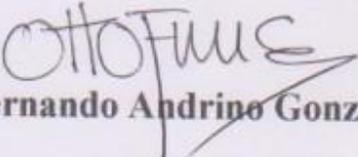
Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnica





REF. EIME 28. 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: JAVIER ANDRÉS PELLECCER RAMÍREZ titulado: ESTRUCTURACIÓN VIRTUAL CONSTRUCTIVISTA DE LOS CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriano González



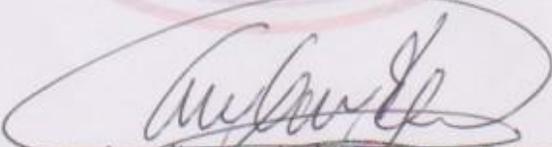
GUATEMALA, 20 DE MAYO 2019.



DTG. 308.2019

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 CONCEPTOS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS, AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS INDUSTRIALES Y SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EL CURSO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA 2**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Andrés Pellecer Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabel Córdova Estrada
Decana
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA
★

Guatemala, julio de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por iluminar cada paso y ser mi fortaleza en todo momento.
Mi madre	Nely Ramírez, por apoyarme y aconsejarme cada día.
Mis hermanas	Karen y Sofía, por su incondicional apoyo.
Mi familia	Por todo el apoyo que me dieron durante esta etapa.
Mis amigos	Por hacer de mi vida universitaria más alegre y por ser grandes personas.
Andrea Galicia	Por ser mi fuente de inspiración, mi apoyo incondicional y siempre hacerme sonreír.
Ing. Otto Andrino	Por su valioso apoyo como asesor y catedrático.
Ing. Gustavo Orozco	Por sus valiosas enseñanzas y consejos durante la carrera.
Antonina Carrera	Por sus cuidados durante toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y enseñarme a esforzarme cada día.
Facultad de Ingeniería	Por ser el lugar que me exigió cada día a levantarme y luchar por mis sueños.
Mis amigos de la Facultad	Por ser las personas con las que compartí durante toda la carrera, porque ustedes hicieron el camino más fácil y se volvieron parte de mi familia.
Ing. Otto Andrino	Por ser un guía a través del conocimiento, por compartir su tiempo y por su valioso apoyo para culminar este trabajo.
Jon Zabala	Por su valioso apoyo en la edición del material audiovisual.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. TEORÍA CONSTRUCTIVISTA	1
1.1. Modelo constructivista	1
1.2. Características del modelo constructivista.....	3
1.3. El modelo constructivista aplicado con las nuevas tecnologías	5
1.4. Aplicaciones	5
1.5. Plataformas educativas virtuales	6
1.6. Mapa conceptual	11
2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL CURSO	13
2.1. Conceptos de sistemas trifásicos	13
2.1.1. Fasores.....	14
2.1.2. Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados	15
2.1.3. Potencia compleja	16
2.1.4. Triángulo de potencia	19
2.1.5. Factor de potencia	20
2.2. Ahorro energético en sistemas industriales.....	21

2.2.1.	Motores eléctricos utilizados en la industria	24
2.2.1.1.	Eficiencia	29
2.2.1.2.	Factor de carga	30
2.2.1.3.	Factor de servicio	30
2.2.1.4.	Potencia adecuada.....	31
2.2.1.5.	Par en el motor.....	31
	2.2.1.5.1. Par a plena carga.....	32
	2.2.1.5.2. Par de arranque	32
	2.2.1.5.3. Par máximo	32
2.2.1.6.	Arranque de motores eléctricos.....	33
2.2.2.	Sistemas de bombeo.....	34
2.2.3.	Sistemas de refrigeración y aire acondicionado	41
2.2.3.1.	Sistemas de refrigeración.....	42
2.2.3.2.	Aire acondicionado	45
2.2.4.	Sistemas de iluminación.....	51
2.2.4.1.	Lámparas incandescentes.....	52
2.2.4.2.	Lámparas fluorescentes	54
2.2.4.3.	Lámparas led.....	55
2.3.	Normas de seguridad eléctrica.....	56
2.3.1.	Normas americanas	60
2.3.2.	Normas europeas.....	67
2.3.3.	Normas guatemaltecas.....	69
2.4.	Tarifas energéticas reguladas y no reguladas.....	71
2.4.1.	Usuarios regulados	71
2.4.1.1.	Usuarios con servicio de baja tensión simple	72
2.4.1.2.	Usuarios con servicio en baja o media tensión	72
2.4.2.	Usuarios no regulados	72

2.4.3.	Tipos de tarifas	72
2.4.3.1.	Tarifa social	73
2.4.3.2.	Tarifa horaria	73
2.4.3.2.1.	Tarifa con demanda intermedia.....	73
2.4.3.2.2.	Tarifa con demanda en punta	74
2.4.3.2.3.	Tarifa con demanda fuera de punta	74
3.	EJERCICIOS Y LABORATORIOS VIRTUALES	77
3.1.	Fasores.....	77
3.1.1.	Material audiovisual	77
3.1.2.	Ejercicios de análisis	77
3.1.3.	Laboratorios.....	79
3.2.	Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados	81
3.2.1.	Material audiovisual	81
3.2.2.	Ejercicios de análisis	81
3.2.3.	Laboratorios.....	83
3.3.	Potencia compleja	85
3.3.1.	Material audiovisual	86
3.3.2.	Ejercicios de análisis	86
3.3.3.	Laboratorios.....	87
3.4.	Triángulo de potencia	90
3.4.1.	Material audiovisual	90
3.4.2.	Ejercicios de análisis	90
3.4.3.	Laboratorios.....	93
3.5.	Factor de potencia	95

3.5.1.	Material audiovisual.....	95
3.5.2.	Ejercicios de análisis	95
3.5.3.	Laboratorios	97
3.6.	Ahorro energético con motores utilizados en la industria	99
3.6.1.	Material audiovisual.....	99
3.6.2.	Ejercicios de análisis	99
3.6.3.	Laboratorios	103
3.7.	Ahorro energético en sistemas de bombeo.....	105
3.7.1.	Material audiovisual.....	106
3.7.2.	Ejercicios de análisis	106
3.7.3.	Laboratorios	107
3.8.	Ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	110
3.8.1.	Material audiovisual.....	111
3.8.2.	Ejercicios de análisis	111
3.8.3.	Laboratorios	116
3.9.	Ahorro energético en sistemas de iluminación	118
3.9.1.	Material audiovisual.....	118
3.9.2.	Ejercicios de análisis	119
3.9.3.	Laboratorios	126
3.10.	Tarifas energéticas reguladas y no reguladas.....	129
3.10.1.	Material audiovisual.....	129
3.10.2.	Ejercicios de análisis	129
3.10.3.	Laboratorios	132
4.	AUTOEVALUACIONES	135
4.1.	Fasores	135
4.1.1.	Pruebas de autoevaluación	135

4.2.	Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados	137
4.2.1.	Pruebas de autoevaluación	138
4.3.	Potencia compleja	140
4.3.1.	Pruebas de autoevaluación	140
4.4.	Triángulo de potencia	142
4.4.1.	Pruebas de autoevaluación	142
4.5.	Factor de potencia	145
4.5.1.	Pruebas de autoevaluación	145
4.6.	Ahorro energético con motores utilizados en la industria	148
4.6.1.	Pruebas de autoevaluación	148
4.7.	Ahorro energético en sistemas de bombeo	153
4.7.1.	Pruebas de autoevaluación	154
4.8.	Ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	156
4.8.1.	Pruebas de autoevaluación	156
4.9.	Ahorro energético en sistemas de iluminación	158
4.9.1.	Pruebas de autoevaluación	158
4.10.	Tarifas energéticas reguladas y no reguladas	161
4.10.1.	Pruebas de autoevaluación	161
CONCLUSIONES		165
RECOMENDACIONES		167
BIBLIOGRAFÍA		169
ANEXOS		175

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa conceptual del curso	12
2.	Circuito resistivo	17
3.	Voltaje y corriente en circuito resistivo	17
4.	Circuito capacitivo	18
5.	Voltaje y corriente en un circuito capacitivo	18
6.	Circuito inductivo	19
7.	Voltaje y corriente en un circuito inductivo	19
8.	Triángulo de potencia.....	20
9.	Matriz energética.....	23
10.	Partes de un motor eléctrico	25
11.	Comparación de eficiencia	29
12.	Tipo de motor y aplicación	32
13.	Curvas características de una bomba centrífuga 3450 RPM	36
14.	Sistema con succión positiva	37
15.	Sistema con succión negativa.....	38
16.	Carga del sistema	40
17.	Ciclo de refrigeración	43
18.	Proceso de acondicionamiento del aire.....	46
19.	Luz reflejada por una pared según su color	51
20.	Niveles mínimos de iluminación	52
21.	Valores de resistencia del cuerpo humano	58
22.	Distancias mínimas de seguridad eléctrica	59
23.	Fronteras de aproximación limitada	64

24.	Intervalos de prueba de equipo aislante de hule	65
25.	Normas para equipo de protección	66
26.	Pliego tarifario de usuarios regulados. EEGSA - Marzo 2018	75
27.	Circuito de laboratorio núm. 1	80
28.	Circuito de laboratorio núm. 2	84
29.	Circuito de laboratorio núm. 3	88
30.	Triángulo de potencia	92
31.	Código de arranque de motores	100
32.	Secuencia de arranque de motores	102
33.	Valores de coeficientes k para diversos accesorios	109
34.	Propiedades del refrigerante R12	111
35.	Diagramas de temperatura-entropía y presión-entalpía	112
36.	Clasificación de eficiencia en ciclos de refrigeración	116
37.	Niveles de iluminación recomendados	120
38.	Flujo luminoso de las lámparas fluorescentes	121
39.	Factores de reflexión de superficies en función del color	122
40.	Tipo de alumbrado, espaciamiento máximo y factor de mantenimiento	123
41.	Valor del coeficiente de utilización	124
42.	Triángulo de potencia	144
43.	Pliego tarifario para problema de evaluación	164
44.	Código de arranque de motores	175
45.	Fórmulas para cálculos eléctricos	176
46.	Cálculo de potencias para motores	177
47.	Cálculo de potencias para máquinas	178
48.	Cálculo de potencias para máquinas	179

TABLAS

I.	Comparación de sistemas de aire acondicionado.....	49
II.	Ventajas y desventajas de lámparas incandescentes.....	53
III.	Ventajas y desventajas de lámparas fluorescentes	54
IV.	Ventajas y desventajas de las lámparas led	55
V.	Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.....	57
VI.	Variantes del Código Nacional Eléctrico	61
VII.	Normas IEC.....	68
VIII.	Ejercicio de arranque de motores	100
IX.	Secuencia de arranque	102
X.	Interpolación de coeficiente de utilización	125
XI.	Comparación de tecnologías de iluminación.....	127
XII.	Lecturas en kWh	129
XIII.	Ejercicio de laboratorio.....	133
XIV.	Característica de los motores actuales	150
XV.	Características de los motores propuestos	151
XVI.	Comparación de tecnologías de iluminación.....	160
XVII.	Problema de evaluación.....	163

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hertz
J	Joules
Kg	Kilogramo
MW	Megawatts
m	Metro
μF	Microfaradios
mH	Milihenrios
Ω	Ohmios
Pn	Potencia nominal
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos
BTU	Unidad Térmica Británica
VA	Voltamperios
Var	Voltamperios reactivos
V	Voltios
W	Watts

GLOSARIO

Aire acondicionado	Proceso utilizado para mantener un ambiente bajo ciertos niveles de temperatura, humedad y pureza del aire.
ANSI	American National Standards Institute.
Armónico	Múltiplo de la frecuencia natural que se origina por cargas no lineales.
CGPL	Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala.
Eficiencia	Relación entre la potencia utilizada y la potencia disponible.
Energía	Capacidad de realizar un trabajo.
EPP	Equipo de Protección Personal.
Factor de potencia	Medida de la eficiencia de la potencia consumida.

Fasor	Vector de magnitud constante que gira a una frecuencia determinada sobre o alrededor de un extremo.
IEC	International Electrotechnical Commission.
Impedancia	Oposición al paso de corriente alterna a través de elementos resistivos, inductivos y/o capacitivos.
LED	Light-Emitting Diode.
Luminaria	Elemento utilizado para soportar y conectar en ella un conjunto de lámparas.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
NEC	National Electrical Code.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association.
NFPA	National Fire Protection Association.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
OSHA	Occupational Safety and Health Administration.
Pliego tarifario	Conjunto de precios de la electricidad, establecido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, según varios parámetros.

Potencia	Capacidad de consumir energía en un determinado tiempo.
Refrigeración	Proceso en el cual se utiliza el frío para preservar alimentos o mantener una temperatura en algún proceso industrial.
Riesgo eléctrico	Condición en la cual una persona puede sufrir un accidente al realizar un trabajo en una instalación eléctrica o en sus cercanías.
RMS	Root Mean Square.
TIC's	Tecnologías de la Información y Comunicación.
Usuario no regulado	Usuario cuya demanda es mayor a 100 kW, por lo que puede contratar energía eléctrica mediante una distribuidora, comercializadora o por sí misma.
Usuario regulado	Usuario cuya demanda es menor a 100 kW y debe contratar energía eléctrica mediante una distribuidora.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló el proceso de virtualización del contenido del curso de Ingeniería Eléctrica 2, el cual permite a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería ajenos a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica adquirir los conocimientos básicos relacionados a sistemas trifásicos, ahorro energético y seguridad en el ámbito eléctrico.

La necesidad de una actualización en los métodos de enseñanza en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica surge debido a la diversidad de información a la cual el alumno puede tener acceso por la creciente evolución de la tecnología. Hoy en día los métodos de aprendizaje son distintos y por ello se deben abarcar desde una perspectiva y metodología que responda a las necesidades actuales.

A partir del método constructivista, el alumno va construyendo su aprendizaje elaborando un mapa mental de los conocimientos nuevos adquiridos, relacionándolo con enseñanzas y experiencias anteriores. Durante el proceso, tanto el estudiante como el catedrático se ven beneficiados, ya que existe intercambio de información entre ambos interlocutores.

Por último, se concluye que el proceso a aplicarse consistirá en la combinación de clases magistrales, las cuales serán reforzadas con videos descriptivos del tema, que combinen ejercicios de análisis y un laboratorio guiado, para la consolidación del conocimiento.

OBJETIVOS

General

Estructurar una herramienta virtual con la cual los estudiantes del curso de Ingeniería Eléctrica 2 puedan tener acceso al contenido de las distintas unidades en un formato digital, con el fin de tener acceso a la información de forma remota, para que así puedan formular sus propios criterios a través del método constructivista.

Específicos

1. Conceptualizar y virtualizar mediante videos explicativos el contenido del curso.
2. Ejemplificar los temas a través de aplicaciones.
3. Diseñar laboratorios prácticos para reforzar los conocimientos adquiridos.
4. Implementar métodos de evaluación de los conceptos del curso.

INTRODUCCIÓN

El método constructivista es una de las corrientes educativas más avanzadas hoy en día. Dicho método tiene como objetivo principal estructurar la forma en que se imparte el contenido de un curso, para que los conocimientos se adquieran de una forma sistematizada. El método constructivista busca que el aprendizaje humano se vaya construyendo y que se elaboren nuevos conocimientos a partir de enseñanzas anteriores.

Hoy en día el aprendizaje debe ir más allá de memorizar y exposiciones simples. En su lugar, se debe formar a través del intercambio de información entre el docente y el estudiante, donde ambos interlocutores se ven beneficiados por dicha interacción.

El desarrollo del presente trabajo de investigación busca aplicar el método constructivista a parte del contenido del curso de Ingeniería Eléctrica 2, con el fin de transmitir a los estudiantes de forma más eficiente el contenido del curso. Para ello se empleará la metodología de combinar clases magistrales con el contenido digitalizado y con ello evaluar periódicamente el desempeño del estudiante y su impacto como futuro ingeniero.

1. TEORÍA CONSTRUCTIVISTA

Es fundamental que la educación de hoy en día sea constructivista¹. Lo anterior obedece a que educar va más allá de traspasar contenido de una persona a otra; lo que busca la teoría constructivista es brindar las herramientas adecuadas para que una persona construya su propio aprendizaje.

Los docentes dentro del aprendizaje constructivista son de vital importancia, ya que se constituyen como guías e intermediarios entre el estudiante y el conocimiento.

Hoy en día existe un enorme desafío para la educación debido a la globalización, la información está al alcance de muchas personas. Por lo que la academia debe acercarse a los estudiantes incorporando nuevas estrategias y tecnologías que van más allá de un salón de clases. Sin embargo, se presenta un problema grave: la desinformación. Por lo que el modelo constructivista debe batallar contra la información sesgada o falsa.

1.1. Modelo constructivista

El movimiento constructivista tiene sus orígenes en las posturas planteadas por Vico y Kant. En dichas posturas se afirmaba que el ser humano va construyendo sus propias estructuras cognitivas, a partir de lo que les sucede o experimentan en el mundo. Sin embargo, nace como tal en la década de los ochenta, cuando se desea entender cómo se realiza el proceso de aprendizaje. Así mismo, se establece que el fin de la educación es el

¹ BLANCO, S.; SANDOVAL, V. *Teorías constructivistas del aprendizaje*. p 9.

crecimiento personal de los alumnos. Sin embargo, para que el proceso sea exitoso, se debe realizar mediante actividades planificadas y sistemáticas.

El modelo constructivista se puede definir como un método educativo en el cual el ser humano desarrolla los aspectos cognitivos y sociales de su comportamiento y su lado afectivo. El desarrollo se produce como resultado de la interacción diaria de ambos aspectos. Este modelo depende de dos elementos principales: los conocimientos previos que se tienen sobre un tema y las acciones que se realicen relacionadas al mismo.

Se establece que el aprendizaje debe ser un trabajo dinámico, colaborativo e interactivo, donde participan los estudiantes, profesores, el entorno y contexto en el cual se desenvuelven los individuos.

El constructivismo permite al ser humano diagnosticar, establecer juicios y tomar decisiones que se fundamentan en la enseñanza. Es decir, un método en el cual la persona aprende a través de la construcción de su propio aprendizaje². La construcción se realiza con los conocimientos del presente, del pasado y la información recopilada del mundo. Con dicha información se realiza una reconceptualización que se va modificando a través del tiempo, según las experiencias que se vivan y los intereses que se tengan.

Generalmente se tiene una concepción errónea del constructivismo, en la cual se le asocia a dejar en libertad a los alumnos para que ellos aprendan a su propio ritmo, sin que el docente se involucre en el proceso. El resultado anterior produce que los estudiantes obtengan sus propias conclusiones. Sin embargo, debe existir un intercambio de conocimientos, en el cual los contenidos deben ser revisados para que el aprendizaje sea significativo.

² COLI, C. *El constructivismo en el aula*. p 4.

1.2. Características del modelo constructivista

El aprendizaje constructivista es un modelo activo que busca el crecimiento del conocimiento de forma integral, para ello requiere que a la persona se le dote de herramientas específicas como: actividades planificadas, sistemáticas y de participación de parte del alumno.

Además de ello, se deben evidenciar tres aspectos clave: aprendizaje significativo, memorización comprensiva del contenido y funcionalidad de lo aprendido. No se busca que la persona acumule conocimientos, sino que sea capaz de analizar lo aprendido y poder aplicarlo.

Heráclito planteaba que todo que lo existe cambia permanentemente de forma, nada permanece igual ya que sufre de cambios a lo largo del tiempo. Dentro de este concepto, también se encuentra el cambio en la forma de enseñanza. Hoy en día se requiere de ayuda específica mediante la participación del estudiante en diferentes actividades planificadas y sistemáticas.

El constructivismo se fundamenta en algunos principios:

- Principio de interacción del hombre con el entorno.
- Principio de la experiencia previa condicionadora del conocimiento a construir.
- Principio de elaboración de sentido en el mundo de la experiencia.
- Principio de organización activa.
- Principio de adaptación funcional entre conocimiento y realidad.

Otra de las características del constructivismo es que la construcción se realiza de forma gradual. Además de ello, se requiere de la organización de la experiencia, ejercitación y aplicación.

El proceso del aprendizaje constructivista, mediante el cual el hombre construye conceptos, se realiza de la siguiente forma: de primero, el estudiante filtra la información recibida a través de su estructura cognitiva. Si el aprendizaje no es significativo, no se modifica la estructura. Se puede concluir que la percepción es fundamental en el modelo constructivista. La información debe llegar a las personas mediante materiales didácticos³. Otro de los métodos para lograr aprendizajes significativos es construir el conocimiento a través de la experiencia e intereses de las personas. Lo anterior logra que las motivaciones del estudiante sean promovidas para filtrar y fijar la estructura cognitiva.

Una de las principales características del constructivismo es la interacción entre el docente y el estudiante. Los conocimientos de ambos deben discutirse y sintetizarse de forma productiva. Durante el proceso, el estudiante percibe la realidad y la organiza en forma de constructos, mientras que el profesor sirve de guía para instruirlo en la construcción de constructos.⁴

Se debe recordar que uno de los factores más influyentes en la construcción del conocimiento es el contexto en el que se lleve a cabo el proceso. La fijación de conocimientos es individual en cada persona, depende de las capacidades físicas y el estado emocional, así como de las condiciones sociales y culturales.

³ NOVAK, Joseph. *Teoría del constructivismo humano*. p 1.

⁴ ORTÍZ, Dorys. *El constructivismo como teoría y método de enseñanza*. p 98.

1.3. El modelo constructivista aplicado con las nuevas tecnologías

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) corresponden al conjunto de herramientas que permiten acceder, producir, manipular y transmitir información en diferentes formatos, siendo su alcance bastante amplio.

Hoy en días las TIC's juegan un papel importante en el desarrollo de la educación, ya que las personas tienen acceso a variedad de información. Sin embargo, es indispensable que tengan los criterios y la capacidad de análisis para discernir si la información que está a su alcance es correcta y útil.

El modelo constructivista va de la mano con las tecnologías de la información y comunicación, ya que a partir de dichas herramientas se pueden fijar los contenidos de forma activa y autodidacta mediante diferentes actividades. Dentro de las TIC se pueden encontrar algunas variantes como los gestores de contenido CMS (Content Management Systems), gestores de contenido virtuales (Learning Management Systems) y los Entornos Virtuales de Aprendizaje. Las tecnologías antes mencionadas permiten a las personas gestionar información en una plataforma, en la cual una gran cantidad de personas tendrán acceso a dicha información.

1.4. Aplicaciones

El método constructivista en conjunto con las TIC's permite diseñar, desarrollar y utilizar una variedad de recursos para adquirir conocimiento de forma activa e integral. El material audiovisual, tecnológico e informático facilita la fijación de nuevos conocimientos, ya que utiliza diferentes recursos visuales y auditivos para generar un aprendizaje activo.

Otra de las aplicaciones del método constructivista en conjunto con las TIC's es la educación a distancia. Las personas tendrán acceso a la información en cualquier lugar con la ayuda de un teléfono celular o computadora que posea acceso a Internet. Las grandes ventajas de la educación a distancia son el ahorro de tiempo y costos, flexibilidad de horario, instantaneidad y la diversidad de contenido en cuanto a cantidad y calidad de información.

1.5. Plataformas educativas virtuales

Una plataforma educativa virtual es un espacio informático en el cual una persona puede encontrar diversas herramientas agrupadas y optimizadas con fines docentes⁵. Las plataformas educativas permiten crear y gestionar cursos en Internet, de una forma modular en la cual se puede adaptar contenido de forma sencilla. Su orientación puede ser para el uso de la educación a distancia y el apoyo o como complemento para la educación presencial.

Una de las grandes ventajas de las plataformas virtuales es la respuesta que se tiene ante las diferentes necesidades académicas, comunicativas y gestión del proceso enseñanza-aprendizaje. Es por ello que las plataformas permiten el intercambio de información por medio de herramientas como foros, *chats*, correos, videoconferencias, *blogs*, entre otros. Con el fin de obtener un espacio de interacción cerrado y controlado, las plataformas educativas requieren de un usuario y una contraseña para acceder al contenido.

Las plataformas educativas virtuales deben contar con algunas aplicaciones o características mínimas para ser atractivas al usuario:

⁵ DÍAZ, Frida. *Constructivismo y aprendizaje significativo*. p 76.

- Gestión de contenido: permite colocar información a disposición del alumno en forma de archivos organizados en carpetas y/o directorios.
- Comunicación y colaboración: permiten el intercambio de información por medio de mensajería, salas de *chat*, foros de debate; la comunicación puede ser grupal o individual.
- Seguimiento y evaluación: permiten al profesor determinar el aprendizaje por parte del alumno; generalmente se realiza mediante tareas, informes y/o evaluaciones dirigidas al alumno.
- Administración y asignación de permisos: dependiendo de la autenticación mediante el usuario y contraseña, las personas tendrán acceso a cierta información.
- Complementos: corresponden a herramientas que permiten al alumno obtener un mayor aprendizaje y facilitan el uso de la plataforma (búsquedas de contenido, bloc de notas, foros, entre otros).

Según Díaz, existen tres tipos de plataformas educativas: comerciales, de software libre y de desarrollo propio. Las tres se caracterizan por crecer a un ritmo considerable en un corto plazo de tiempo.

Las plataformas comerciales son aquellas que se han desarrollado según la complejidad que el mercado les exija. Estas plataformas utilizan aplicaciones versátiles, estables, complejas y completas que permiten alcanzar los objetivos del curso. Para hacer uso de dichas plataformas es necesario contar con una licencia, la cual se debe pagar anualmente. Dentro de esta categoría se pueden encontrar: e-educativa, Blackboard, WebCT, FirstClass, entre otras.

Por su parte, las plataformas de software libre son aquellas que se pueden adquirir, utilizar, modificar y distribuir libremente, sin necesidad de una licencia. El usuario posee total libertad para hacer uso de la plataforma y las mejoras

que realice serán de beneficio para toda la comunidad. Generalmente estas plataformas se pueden adquirir gratuitamente o bien a precio de costo. Las plataformas educativas más destacadas, consideradas como software libre, son: Claroline, Sakai, Dokeos, Bazaar y Moodle.

Finalmente, las plataformas de desarrollo propio son aquellas creadas por el mismo usuario, cuyo fin no es la comercialización de la misma con otras personas. Su propósito es crear un espacio personalizado, de acuerdo con las propias necesidades educativas. Dentro de sus características principales se puede mencionar la flexibilidad, ya que se pueden ajustar y adaptar a lo requerido por el usuario, sin dependencia de una empresa externa. Sin embargo, la creación, diseño y mantenimiento de las mismas puede representar una desventaja.

Las principales plataformas educativas virtuales que existen hoy en día son las siguientes:

- edX: fue fundada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y la Universidad de Harvard en 2012. Ofrece cursos gratuitos en todas las disciplinas de nivel universitario.
- Coursera: es una plataforma asociada con universidades y organizaciones de todo el mundo. Los cursos ofrecidos combinan actividades interactivas con evaluaciones para medir el desempeño del alumno.
- Khan Academy: es una plataforma especializada en matemáticas, economía y ciencia. Se fundó en 2006 y se ha convertido en una de las principales plataformas que ofrecen educación libre, gratuita y de alto nivel. Además de ser una plataforma educativa, cuenta con una biblioteca amplia y bastante diversa.

- Future Learn: está a cargo de la Universidad de Bedfordshire en Inglaterra.
- Campus Educación: fue diseñada para docentes, ofrece cursos homologados y se utiliza principalmente para hacer oposiciones a profesores y la especialización docente. Se encuentra apoyada por la Universidad de Camilo José Cela.
- Red Educa: ofrece cursos homologados para oposiciones y formación de profesores. Se encuentra apoyada por la Universidad Antonio de Nebrija.
- Campus Mundo Primaria: ofrece especializaciones en educación primaria, dirigidas a padres, madres y profesores de educación primaria.
- ClassGap: ofrece cursos personalizados impartidos por profesores expertos a alumnos.
- Educación Docente: ofrece una diversidad de cursos para mejorar la formación de profesores.
- Udacity: su fin es elevar el nivel de la educación superior por medio de una plataforma accesible, atractiva y eficaz.
- Aprender gratis: ofrece cursos gratuitos y el acceso a *másters* y postgrados pagados.
- Open2Study: ofrece una variedad de cursos con apoyo de la Open Universities Australia.
- Tutellus: ofrece una gran variedad de cursos y permite obtener un certificado o diploma al finalizar el curso.
- ClassOnLive: en esta plataforma se imparten cursos a través de videos en vivo. Los temas que se imparten van desde pedagogía, filosofía, matemáticas hasta idiomas. Existe comunicación en tiempo real con el profesor y otros alumnos.
- VideoClass: es una plataforma estadounidense en la cual los docentes crean y suben videos, ejercicios y hojas de trabajo sobre varias materias.

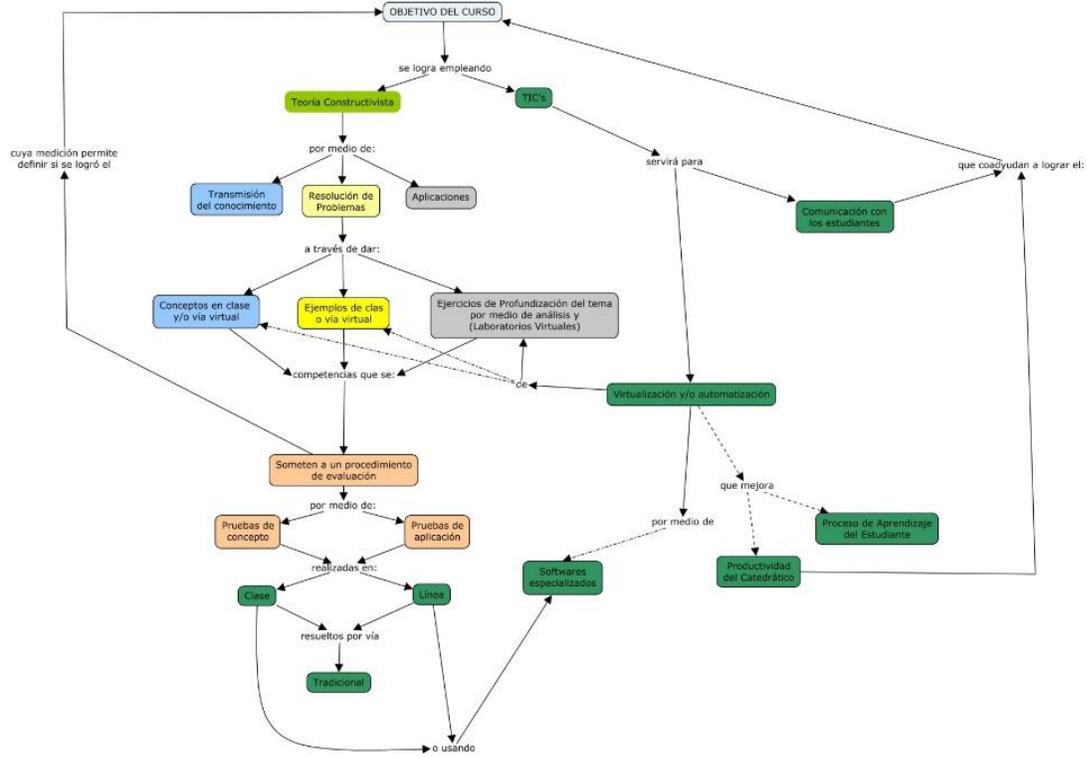
- redAlumnos: es una plataforma en la cual se imparten cursos en línea o semipresenciales. Esta plataforma cuenta con diversas herramientas en las cuales los estudiantes pueden crear apuntes personales y grupales, consultar notas y realizar exámenes y tareas.
- Free Easy Way: es una plataforma que imparte cursos a distancia, adaptándose al horario del usuario, con la posibilidad que instituciones educativas o profesores suban su propio contenido, los cursos pueden ser gratis o de pago. Dentro de las herramientas que esta plataforma incluye están: videoconferencias, biblioteca virtual, acceso a libros de texto, exámenes, tareas, enciclopedias, diccionarios y correo electrónico.
- Miríada X: es una plataforma que imparte cursos de educación superior en países de Iberoamérica
- Cursos abiertos de la UNED: la Universidad Nacional de Educación a Distancia de España ofrece varios cursos de acceso libre, los cuales no poseen fecha de inicio ni de finalización.
- OpenCourseWare: ofrece una gran variedad de cursos universitarios sin costo, esta plataforma es apoyada por la Universidad Carlos III de Madrid, que fomenta la enseñanza autodidacta.
- Flooq: es una plataforma que promueve la educación a distancia, por medio de videos. Los videos están disponibles desde la página web e incluso se pueden descargar para verlos sin conexión a Internet.
- EduPills: es una plataforma para dispositivos móviles, la cual se utiliza para elaborar un curso de forma sencilla.
- Udemy: es considerada una de las plataformas educativas virtuales más grandes. Se utiliza como complemento educativo y para educación a distancia. En esta plataforma se pueden encontrar cursos gratuitos y de pago (de bajo costo).
- Edu2: es una academia virtual colombiana que ofrece cursos por medio de videos y textos y va dirigido tanto a estudiantes, como a profesionales.

- Stanford Online Courses: es una plataforma de la Universidad de Stanford que ofrece una gran variedad de cursos gratuitos de tópicos avanzados.
- Harvard Online Learning: es una plataforma creada por la Universidad de Harvard que ofrece cursos gratuitos y de pago para la formación profesional.
- Open Yale Courses: es una plataforma abierta que ofrece cursos gratuitos por parte de la Universidad de Yale.
- Open Culture: es una plataforma que se encarga de recopilar contenido de varias universidades a nivel mundial y ofrece cursos gratuitos.

1.6. Mapa conceptual

A continuación, se presenta el mapa conceptual del curso, el cual muestra el proceso del constructivismo. En el mapa se muestra que para que exista un proceso de aprendizaje constructivista, es necesario acompañar el conocimiento con resolución de problemas y aplicaciones. El constructivismo sugiere ayudarse de la tecnología, para que obtener una mayor fijación del conocimiento.

Figura 1. Mapa conceptual del curso



Fuente: elaboración propia.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL CURSO

El curso de Ingeniería Eléctrica 2 pertenece al área de Ciencias Básicas y Electrotécnica, la cual a su vez es la encargada del estudio de los conocimientos básicos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. El curso de Ingeniería Eléctrica 2 se imparte en 3 horas semanales y se complementa con 2 horas adicionales de un laboratorio, en el cual se lleva a la práctica los conocimientos vistos en clase.

El curso de Ingeniería Eléctrica 2 va dirigido en especial a estudiantes de Ingeniería Química, Mecánica, Industrial y Mecánica Industrial, para que al final del curso los estudiantes posean conocimientos básicos acerca de instalaciones eléctricas, centrales eléctricas y sistemas de control. Este curso representa un complemento a los estudiantes de dichas carreras porque les permite tomar decisiones en problemas generales de índole eléctrica que afectan a la industria en la cual se desempeñan.

2.1. Conceptos de sistemas trifásicos

Se denomina sistema trifásico a aquel que está formado por tres corrientes alternas monofásicas con magnitud y frecuencia idéntica. Los sistemas trifásicos de potencia se utilizan para la producción, distribución y consumo de energía eléctrica. Entre cada una de las fases o corrientes existe una diferencia en la componente angular de 120° .

Entre las ventajas de utilizar un sistema trifásico se pueden enumerar:

- Disminución de costos: se utilizan conductores más delgados para transmitir la misma potencia al mismo voltaje y así mismo disminuyen los costos de construcción y mantenimiento.
- Se utilizan líneas de transmisión menos pesadas, fáciles de instalar y que se pueden situar a una mayor distancia.
- Las propiedades de operación y arranque de las máquinas eléctricas mejoran debido a un flujo más uniforme.
- Se evita el uso de circuitos especiales para el arranque de motores.

2.1.1. Fasores

Se conoce como fasor al vector radial que posee una magnitud constante y un extremo fijo, alrededor del cual gira a una frecuencia angular determinada. Los fasores son utilizados para representar ondas senoidales en un instante dado, para ello se utiliza la magnitud y desfase del vector en dicho instante.

Mediante fasores se representan los voltajes y corrientes instantáneos de la forma:

$$V = \bar{V} \angle \theta \quad \text{ó} \quad I = \bar{I} \angle \theta$$

Donde \bar{V} e \bar{I} representan la magnitud de los fasores y θ su ángulo de desfase.

Para trasladar o convertir una cantidad cuya forma se encuentra en forma de onda senoidal, se debe utilizar el valor eficaz o RMS de dicha magnitud. Para ello se divide la amplitud de la onda dentro de un factor de $\sqrt{2}$.

2.1.2. Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados

Un circuito trifásico balanceado es aquel en el que todos sus parámetros de voltaje y corriente son iguales para cada una de las tres fases. La única diferencia que existe entre las fases es el valor del ángulo de desfase; existe una diferencia de 120° entre cada uno.

La impedancia se define como la oposición al paso de corriente alterna producida por los efectos resistivos y reactivos. La impedancia resistiva se representa como una R, su efecto es modificar únicamente la magnitud de la impedancia total, mientras que la impedancia reactiva se representa mediante una X, modificando tanto la amplitud como el ángulo de desfase de la impedancia.

$$Z = R + X$$

La impedancia puede ser de dos tipos:

- Capacitiva: produce un efecto de adelanto de la corriente respecto al voltaje, ya que los capacitores guardan energía en forma de campo eléctrico. Se representa de la siguiente forma:

$$X_c = \frac{1}{j 2\pi f C}$$

- Inductiva: produce un efecto de adelanto de la corriente respecto al voltaje, ya que la bobina guarda energía en forma de campo magnético. Se representa de la siguiente forma:

$$X_L = j 2\pi f L$$

Donde f es la frecuencia en Hertz, C es la capacitancia en Faradios y L es la inductancia en Henrios.

Por su parte, la corriente alterna es el flujo de electrones en el tiempo por unidad de área, la magnitud de su valor depende del tiempo por ser parte de una onda senoidal.

$$i = i_{m\acute{a}x} \sin(\omega t + \phi)$$

El voltaje alterno se define como el potencial eléctrico entre dos puntos o bien como el trabajo por unidad de carga de un campo eléctrico sobre una partícula cargada. Según la ley de Ohm se puede representar como el producto de una impedancia y la corriente eléctrica que circula a través de ella.

$$v = v_{m\acute{a}x} \sin \omega t$$

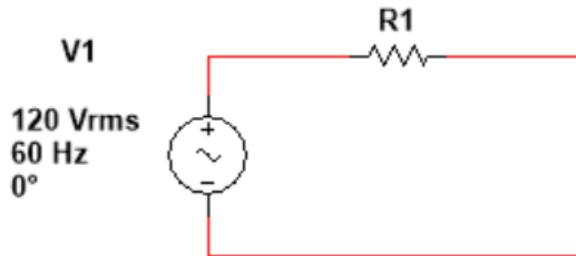
Siendo ω la velocidad angular con la que gira la onda senoidal, t el tiempo, y $i_{m\acute{a}x}$ y $v_{m\acute{a}x}$ los valores eficaces de corriente y voltaje.

2.1.3. Potencia compleja

La potencia se puede definir como el ritmo con que se consume o almacena la energía. En el análisis de redes de corriente alterna a la potencia se le asigna un número complejo debido al efecto que producen inductancias y capacitancias. Las cargas inductivas crean un desfase en atraso de la corriente respecto al voltaje, mientras que las cargas capacitivas producen adelanto de la corriente respecto al voltaje.

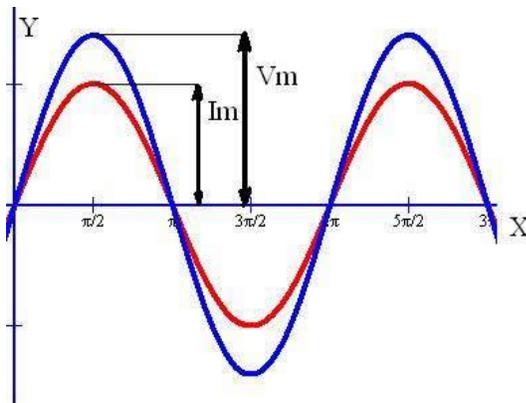
En un circuito resistivo, la corriente es limitada por la magnitud de la resistencia, por ello tanto el voltaje como la corriente poseen el mismo ángulo de fase.

Figura 2. **Circuito resistivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Voltaje y corriente en circuito resistivo**

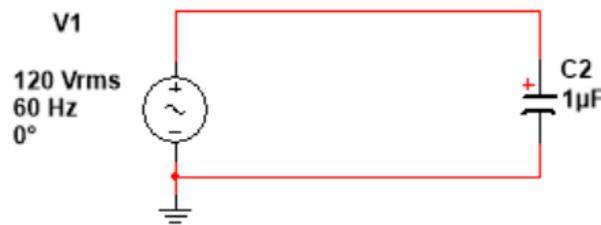


Fuente: E-ducativa. *Circuito resistivo excitado por una corriente alterna*. http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2750/2962/html/21_circuito_resistivo_excitado_por_una_corriente_alterna.html Consulta: 2018.

En un circuito capacitivo, el condensador o capacitor es un elemento que almacena energía en forma de campo eléctrico, por lo que al inicio el capacitor posee una corriente máxima y el voltaje es cero. Con el paso del tiempo el capacitor se carga, disminuyendo la corriente que circula a través de este hasta

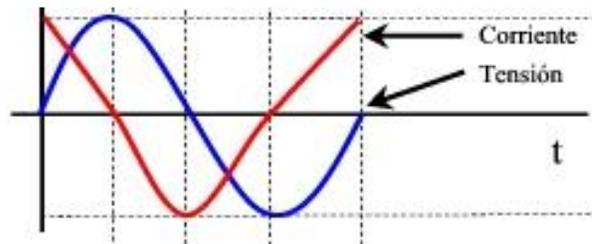
alcanzar el voltaje máximo. En dicho momento, el capacitor se comporta como un circuito abierto, no permite el paso de corriente. De esta forma la corriente se adelanta 90° respecto al voltaje.

Figura 4. **Circuito capacitivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Voltaje y corriente en un circuito capacitivo**

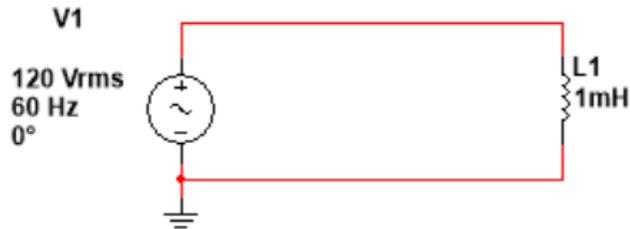


Fuente: Física Práctica. *Circuitos capacitivos en corriente alterna.*

<https://www.fisicapractica.com/capacitivos-alterna.php> Consulta: 2018.

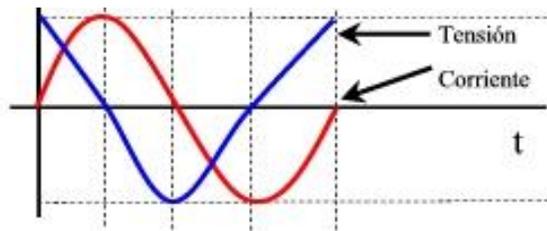
En el caso de un circuito inductivo ocurre una situación similar al circuito capacitivo. La bobina almacena energía en forma de campo magnético. Al momento de circular corriente, esta debe pasar por cada una de las espiras, por lo que no se produce una corriente instantánea. Es decir que, al inicio, el circuito se comporta como un circuito abierto; se obtiene una corriente de cero amperios y voltaje máximo. El fenómeno descrito provoca que la corriente se atrase respecto del voltaje 90° .

Figura 6. **Circuito inductivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Voltaje y corriente en un circuito inductivo**



Fuente: Apuntes Científicos. *Circuitos inductivos*. <http://apuntescientificos.org/circuitos-inductivos.html> Consulta: 2018.

Al combinarse circuitos resistivos con reactancias capacitivas o inductivas se afectará la magnitud y ángulo de desfase de la corriente. El ángulo de desfase será menor de 90° para cualquiera de los casos.

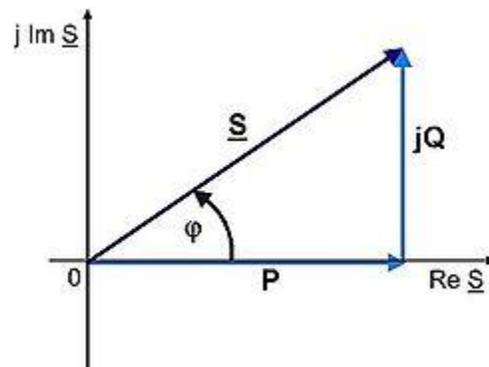
2.1.4. **Triángulo de potencia**

La potencia compleja S se puede representar como la suma algebraica de la potencia real P y la potencia reactiva Q . La razón de que ambas potencias no se puedan sumar radica en que la potencia real es aquella que se consume (para realizar un trabajo o se pierde en forma de calor) y la potencia reactiva es aquella que no se consume (se almacena o se entrega para el funcionamiento de generadores y motores).

$$S = P \pm jQ$$

Al graficar la ecuación anterior, donde la potencia real P representa el eje de las abscisas y la potencia reactiva Q representa el eje de las ordenadas, se obtiene el triángulo de potencia. El vector resultante representa la potencia aparente y el ángulo es el desfase debido al efecto de ambas cargas.

Figura 8. **Triángulo de potencia**



Fuente: Imergia, Ingeniería de Medición y Gestión de la Energía. *Qué es el factor de potencia o Cos Phi.* <http://www.imergia.es/eficiencia-energetica/que-es-el-factor-de-potencia> Consulta: 2018.

A partir de este se pueden deducir algunas ecuaciones como:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \text{ [VA]}$$

$$P = S \cos \theta \text{ [W]}$$

$$Q = S \sin \theta \text{ [VAr]}$$

2.1.5. Factor de potencia

A partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente es posible cuantificar qué porcentaje de la potencia aparente se consume realmente. El factor de potencia (FP) representa un indicador de la eficiencia con que la potencia es utilizada.

$$FP = \cos \theta = \frac{P}{S}$$

Según la Norma Técnica del Servicio de Distribución (NSTD), la medición del factor de potencia se realizará en el punto de medición o acometida del usuario, tomando valores tanto en horario de demanda en punta y en el resto del día. El valor del factor de potencia debe ser como mínimo el siguiente:

- Usuarios con potencias de hasta 11 kW: 0,85
- Usuarios con potencias superiores a 11 kW: 0,9

De lo contrario la empresa encargada de la distribución de energía eléctrica multa al usuario por los gastos en que incurren los generadores para llevarle al usuario dicha potencia. La indemnización por bajo factor de potencia se debe incluir en el contrato entre el distribuidor y el usuario.

2.2. Ahorro energético en sistemas industriales

La energía es un insumo básico para el desarrollo individual y colectivo en una sociedad. Existen dos tipos de fuentes de energía: energías no renovables o convencionales y energías renovables.

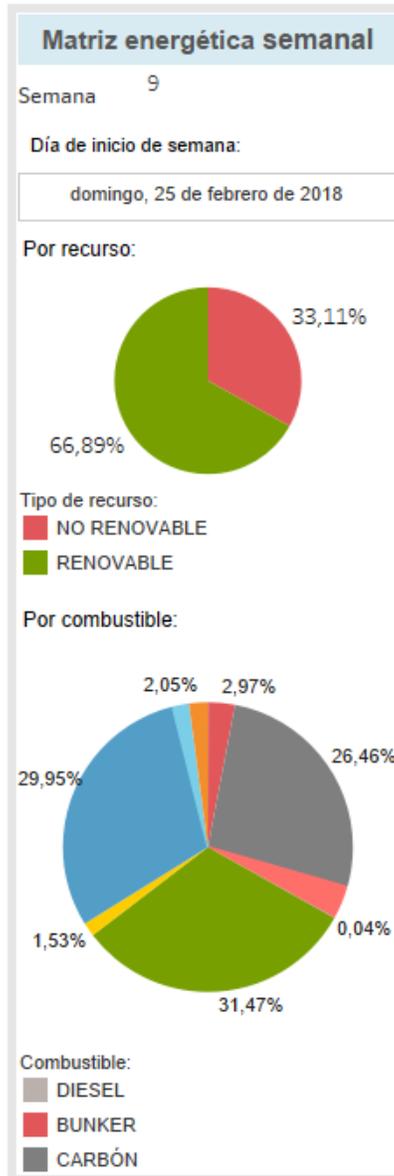
La energía no renovable es aquella que proviene de combustibles fósiles, los cuales, aunque existen en abundancia pueden llegar a agotarse; dentro de ellos se puede mencionar: carbón, gas natural, energía nuclear y petróleo. Dentro de sus principales características se puede encontrar que emiten gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático. Otra de las desventajas de la energía convencional es que genera residuos que se suspenden al ambiente durante un período de tiempo amplio y dañan el

ambiente. El precio de los combustibles fósiles generalmente es alto y volátil, es decir que depende en gran parte del mercado mundial.

Por su parte la energía renovable es aquella que proviene de recursos que se pueden utilizar al completar su ciclo, dentro de estos se pueden mencionar: solar, hidráulica, eólica, biomasa, mareomotriz y geotérmica. La energía renovable es considerada como limpia, debido a que a que no emite dióxido de carbono ni gases de efecto invernadero al ambiente (exceptuando la energía geotérmica y biomasa), además de no generar residuos de difícil eliminación.

Como se puede observar en la siguiente imagen, la matriz energética de Guatemala es mayoritariamente renovable. Sin embargo, depende en un porcentaje mayor a 30 % de recursos no renovables, cuyo precio impacta principalmente en el costo por kilowatt-hora (kWh) de la energía eléctrica. La matriz energética de Guatemala está conformada por energía no renovable (a partir de diésel, carbón, búnker y gas natural) y energía renovable a través de biomasa, biogás, solar, hidroeléctrica, eólica y geotérmica.

Figura 9. **Matriz energética**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Matriz energética*.

http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=2436 Consulta: 2018.

En la actualidad el uso intensivo e inadecuado de bienes y servicios naturales ha dañado enormemente el ambiente y los mismos recursos. El enfoque que se le debe dar a dichos daños debe ser tanto económico como

socioambiental, ya que tanto la industria como la sociedad deben tomar acciones para frenar y detener el daño que los seres humanos han provocado a la naturaleza⁶.

Es por ello que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) impulsa políticas y estrategias para hacer uso de los bienes y servicios ambientales con mínimo impacto negativo al ambiente.

2.2.1. Motores eléctricos utilizados en la industria

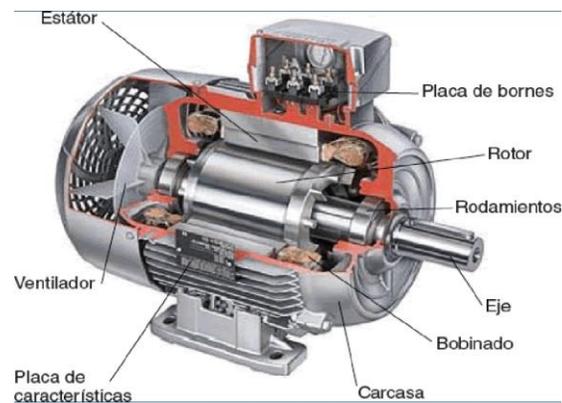
Un motor eléctrico es una máquina que transforma la energía suministrada por la red y la transforma en energía mecánica de movimiento rotacional a través de su eje. Los motores eléctricos están compuestos de las siguientes partes:

- Estator: es la parte fija de un motor, es el encargado de producir el campo magnético que permita girar al rotor. Está compuesto de láminas de acero al silicio, con el fin de que el flujo magnético circule con facilidad en los polos magnéticos.
- Rotor: es la parte móvil de un motor, está construido de acero al silicio con el fin de establecer el flujo magnético inducido por el estator y así poder girar.
- Carcasa: es la parte que cubre y protege al motor.
- Eje: es el elemento mecánico encargado de transmitir la rotación del rotor a otro elemento conectado en su extremo. Así mismo, debe impartir un par o fuerza sobre el eje de transmisión de potencia.

⁶ FERRATO FELICE, Luis Alberto. *Guía práctica para la eficiencia en el sector público guatemalteco*. p 3.

- Caja de conexiones: también es llamada caja de bornes, se encarga de proteger a los conductores que alimentan al motor.
- Ventilador: es el elemento designado para mantener funcionando el motor a una temperatura adecuada.
- Rodamientos: permiten la rotación del eje y absorben las vibraciones de las fuerzas dinámicas.

Figura 10. **Partes de un motor eléctrico**



Fuente: MATIENZO, Benjamín. *Partes fundamentales de un motor eléctrico*.

<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>

Consulta: 2018.

Los motores eléctricos se pueden clasificar según el tipo de corriente que los alimenta:

- Motores de corriente directa o continua
- Motores de corriente alterna: pueden ser
 - Síncronos: operan a velocidad de sincronismo
 - Asíncronos: operan por debajo de la velocidad de sincronismo

Los motores de corriente continua se basan en inyectar corriente directa a un circuito en el cual una espira se encuentra en presencia de un campo

magnético. La combinación anterior produce que la espira gire y así se produzca la acción de motor. La aplicación de estos motores en la industria se encuentra en aplicaciones que requieren de gran velocidad y precisión, como:

- Máquinas de laminación
- Industria de papel
- Máquinas-herramientas
- Elevadores
- Ferrocarriles
- Trefiladoras
- Grúas con precisión de movimiento

Otra aplicación de los motores de corriente continua es el uso de servomotores, los cuales son motores que se pueden ubicar en cualquier posición dentro de un rango con bastante precisión. Su funcionamiento es a base de pulsos eléctricos y se aplica en:

- Etiquetado de productos
- Automatización de industrias farmacéuticas y alimenticias
- Máquinas de corte por láser
- Producción de vehículos

Dentro de los motores de corriente alterna que se utilizan en la industria se puede mencionar que existen motores monofásicos y trifásicos. Los motores monofásicos poseen un uso mayoritario residencial. Los compresores de las refrigeradoras, las máquinas y herramientas portátiles, bombas, montacargas, ventiladores, grúas y electrodomésticos utilizan motores de corriente alterna. Los motores de corriente alterna se dividen en motores síncronos y asíncronos, según su velocidad de rotación.

Los motores síncronos son aquellos cuya rotación del eje se encuentra en sincronía con la frecuencia de la red, es decir que su frecuencia es igual a la de la red. Por su parte, los motores asíncronos son todos aquellos cuya frecuencia de rotación del eje es menor que la frecuencia de la red. En Norteamérica, Centroamérica, el Caribe y algunos países de Sudamérica y Asia utilizan 60 Hz. En Europa, África y otros países de Asia y Sudamérica se utiliza 50 Hz como frecuencia eléctrica.

Los motores síncronos se utilizan en aplicaciones de alta potencia con cargas pesadas, además permiten obtener un ahorro energético por su alto rendimiento⁷. Los motores síncronos permiten corregir el factor de potencia, ya que aportan un par elevado a velocidad constante, con cargas variables. Su rendimiento y precisión es mejor que la de los motores asíncronos. Sin embargo, los motores mayores a 10 MW poseen una construcción compleja, por lo que su costo es más elevado. Pero se tiene la ventaja que requieren poco mantenimiento, lo cual reduce su costo a mediano y largo plazo. Las aplicaciones más comunes en las que se utilizan estos motores son:

- Trituradoras, molinos y cintas transportadoras en minería
- Bombas y compresores en la siderurgia
- Extrusoras en la industria de papel
- Astilladoras y descortezadoras en la transformación de madera
- Bombas de tratamiento de aguas residuales
- Compresores y ventiladores de alta capacidad en industria química

Weg afirma también que los motores asíncronos o también llamados de inducción se utilizan en aplicaciones que requieren un torque de arranque alto,

⁷ WEG. *Motores sincrónicos*. p 2.

por lo que estos motores se fabrican para condiciones industriales severas. Otra característica es que poseen un mantenimiento bajo y su costo no es tan elevado, en comparación con los motores síncronos. Los motores asíncronos generalmente se utilizan en las siguientes industrias:

- Minería
- Saneamiento
- Cemento
- Petróleo
- Siderurgia
- Ingenios

La importancia de los motores eléctricos radica en que constituyen más del 60 % del consumo de energía eléctrica en la industria, ya que se ven empleados en bombas, ventiladores, compresores y bandas transportadoras. Por ello es muy importante considerarlos como uno de los aspectos en los cuales se puede producir un gran ahorro energético.

Las pérdidas de energía de los motores se basan en los siguientes cinco aspectos:

- Eficiencia
- Factor de carga
- Factor de servicio
- Potencia adecuada del motor
- Par en el motor⁸

⁸ FIDE. *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia*. 2010.

2.2.1.1. Eficiencia

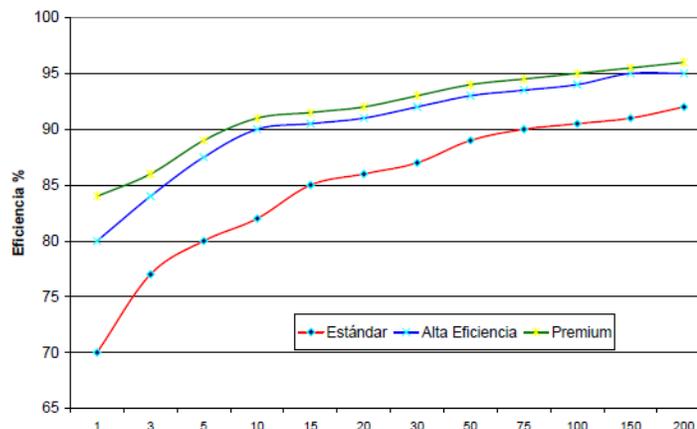
La eficiencia η se puede definir como la potencia que se transforma en movimiento y está disponible para realizar un trabajo. Matemáticamente se puede expresar como:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{IN} - \text{Pérdidas}}{P_{IN}}$$

Donde la P_{IN} corresponde a la potencia eléctrica de entrada y la P_{OUT} corresponde a la potencia mecánica de salida.

Según la eficiencia los motores se pueden clasificar en tres grandes grupos: motores de eficiencia estándar, motores de alta eficiencia y motores de eficiencia *premium*. Los primeros combinan la funcionalidad y precio, mientras que los motores de alta eficiencia buscan producir un ahorro energético con un precio más elevado. Finalmente, los motores de eficiencia *premium* corresponden a motores que han sido fabricados con materiales y procesos de manufactura más eficientes, sin embargo, son mucho más caros.

Figura 11. Comparación de eficiencia



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.* p 3.

Las acciones que generan una mayor eficiencia son las siguientes:

- Ventilación: un diseño aerodinámico disminuye las pérdidas de fricción.
- Las bobinas de los devanados deben ser de cobre de alta eficiencia, que soporte altas temperaturas.
- Se deben utilizar láminas de acero al silicio para la construcción del núcleo, para evitar dispersión de flujo magnético.
- La carcasa o armazón debe ser de hierro fundido, para evitar corrosión y mejorar la disipación de calor.
- Utilizar cojinetes o rodamientos antifricción, para evitar calentamiento, ruido y pérdidas por fricción.

2.2.1.2. Factor de carga

Indica la potencia que entrega un motor en operación, normalmente se describe como un porcentaje de la potencia nominal del mismo.

$$F.C. = \frac{\text{Potencia real entregada}}{\text{Potencia nominal}} * 100 \%$$

2.2.1.3. Factor de servicio

Indica la sobrecarga que es capaz de soportar un motor, durante un período corto de tiempo. No es aconsejable que los motores trabajen todo el tiempo sobrecargados, debido a que durante este período aumenta la corriente en su interior y se produce un mayor calentamiento y disminución de su eficiencia y vida útil.

$$P_{M\acute{A}X} = \text{Potencia nominal} * F.S.$$

2.2.1.4. Potencia adecuada

Según datos de los fabricantes, la mayoría de los motores presentan su máxima eficiencia cuando operan al 75 % de su capacidad nominal, por ello es aconsejable elegir un motor para realizar cierta tarea con una capacidad extra del 25 %.

$$\text{Potencia del motor} = \frac{\text{Potencia requerida}}{0,75}$$

2.2.1.5. Par en el motor

Define el momento de fuerza que se aplica a un eje que gira sobre sí mismo, es decir que es la fuerza que se debe aplicar a un eje para que el motor sea capaz de transmitir movimiento a los elementos mecánicos conectados a este.

Si se conoce el par del motor y la velocidad con que se desea realizar un movimiento se puede determinar la potencia del motor:

$$\text{Potencia del motor [HP]} = \frac{T * RPM}{K}$$

Donde K es una constante con valor de 7 124 si el par (T) está en Newtonmetro o K tendrá un valor de 5 250 si T posee unidades de pie-libra.

2.2.1.5.1. Par a plena carga

Se refiere al par que desarrollará el motor, cuando trabaje a su velocidad de diseño para obtener la potencia nominal. Se toma como el par de referencia para calcular el par máximo y el par de arranque.

2.2.1.5.2. Par de arranque

Es el par que se generará cuando el motor se encuentra parado y empieza a girar hasta alcanzar su valor nominal sin carga.

2.2.1.5.3. Par máximo

Es el valor máximo que puede alcanzar el motor, según sus características de construcción. Se expresa como un porcentaje del par a plena carga. Los valores usuales son de 1,5 hasta 3 veces el par a plena carga.

Figura 12. Tipo de motor y aplicación

Clasificación	Torque de Arranque (% del torque a plena carga)	Torque de Máximo (% del torque a plena carga)	Corriente de Arranque	Deslizamiento	Aplicación típica
Diseño B Torque de arranque y corriente de arranque normal	100 - 200 %	200 -250 %	Normal	< 5%	Ventiladores, sopladores, bombas centrífugas y compresores, etc. donde los requerimientos del torque de arranque son relativamente bajos.
Diseño C Torque de arranque alto y corriente de arranque normal	200- 250 %	200 -250 %	Normal	< 5%	Agitadores, bombas reciprocantes y compresores, etc. donde se requiere baja carga en el arranque.
Diseño D Torque de arranque alto y alto deslizamiento	275%	275%	Bajo	> 5%	Equipos con elevada carga en el arranque, como elevadores, extractores, bombas de pozo, etc.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.* p 6.

2.2.1.6. Arranque de motores eléctricos

En Guatemala existen diversos tipos de industrias que basan su producción en el uso de motores para distintos usos. Según CGPL la mayor parte del consumo eléctrico en la industria se realiza debido a la transformación de energía motriz; es decir, por el uso de motores⁹.

Dentro de las buenas prácticas para el uso de motores se encuentra Un buen dimensionamiento, en el cual los motores deben ser capaces de realizar una tarea determinada, según la potencia asignada. Además de ello, es importante que los motores reciban mantenimiento periódico y así evitar fallas prematuras.

El mayor consumo energético por unidad de tiempo en motores se obtiene durante el arranque, ya que la corriente de arranque se eleva de 5 a 7 veces la corriente nominal. Lo anterior se ve reflejado en la potencia máxima que debe contratar una industria, sin ser penalizada por consumir una potencia mayor a la contratada. Por ello se destaca la práctica de utilizar diferentes tipos de arranque que disminuyen dicho fenómeno.

De igual forma, es indispensable actualmente el uso de motores con una alta eficiencia, ya que cuentan con diferentes tecnologías que controlan la temperatura del refrigerante y se evitan las pérdidas ocasionadas por altas temperaturas.

En industrias que requieren varios motores, es indispensable contar con un método o sistema de arranque de motores que permita obtener ahorro

⁹ CGPL. *Guía práctica para la eficiencia energética en el sector público guatemalteco.* p 9.

energético. Existen varios métodos de arranque, dentro de los cuales se puede mencionar encendido secuencial, arranque estrella-delta y arranque electrónico.

El arranque secuencial es una técnica en la cual se arranca un conjunto de motores siguiendo la regla de arrancar el motor con mayor potencia de arranque. Si en dado caso existen dos o más motores con la misma potencia de arranque se debe arrancar primero aquel con mayor potencia nominal.

Otro método de arranque de motores consiste en utilizar el arranque estrella-delta. El criterio para un arranque secuencial es, en primer lugar, arrancar los motores con mayor potencia de arranque, continuando luego en forma descendente. Si dos o más motores poseen la misma potencia de arranque, se debe arrancar primero aquel que tenga menor potencia nominal.

2.2.2. Sistemas de bombeo

Se define un sistema de bombeo como aquel encargado de elevar la presión de un fluido con el fin de vencer la resistencia que se opone a la circulación; el proceso debe llevarse a cabo a una presión en la cual todo el fluido se mantenga en estado líquido sin evaporación del mismo¹⁰.

Una bomba es un elemento que transforma la energía recibida de un motor de combustión o eléctrico en energía de presión o velocidad de un fluido. Generalmente los sistemas de bombeo contienen diversa instrumentación (manómetros, válvula de compuerta, cheque horizontal, y una unión universal) que permite controlar varios parámetros¹¹.

¹⁰ Sistema HTF. *La función del sistema de bombeo*. p 1.

¹¹ ZUBICARAY, Manuel. *Bombas*. p 13.

Las bombas se clasifican en varias categorías, de las cuales se puede mencionar: bombas centrífugas u horizontales, verticales o tipo turbina vertical y sumergibles.

Las bombas centrífugas u horizontales son aquellas cuyo eje se encuentra paralelo al nivel del suelo. Estas bombas se caracterizan por instalarse sin tener contacto directo con el fluido, solo por medio de la tubería y accesorios. Este tipo de bombas requiere de una presión inicial, para evitar que se produzca cavitación (baja presión en la tubería de salida de la bomba). Previo a utilizar la bomba es necesario cebarla (llenar con agua la tubería de succión) y purgarla (expulsar el aire en el interior de bomba). La eficiencia de estas máquinas puede llegar a alcanzar el 60 % hoy en día.

Por su parte, las bombas verticales o tipo turbina se utilizan para trasegar líquidos o fluidos limpios o ligeramente contaminados, se caracterizan porque el motor de su eje se encuentra a altura del suelo, mientras que todos los accesorios y equipos se instalan dentro del fluido. La eficiencia de estas máquinas se puede definir como buena, con un 80 %.

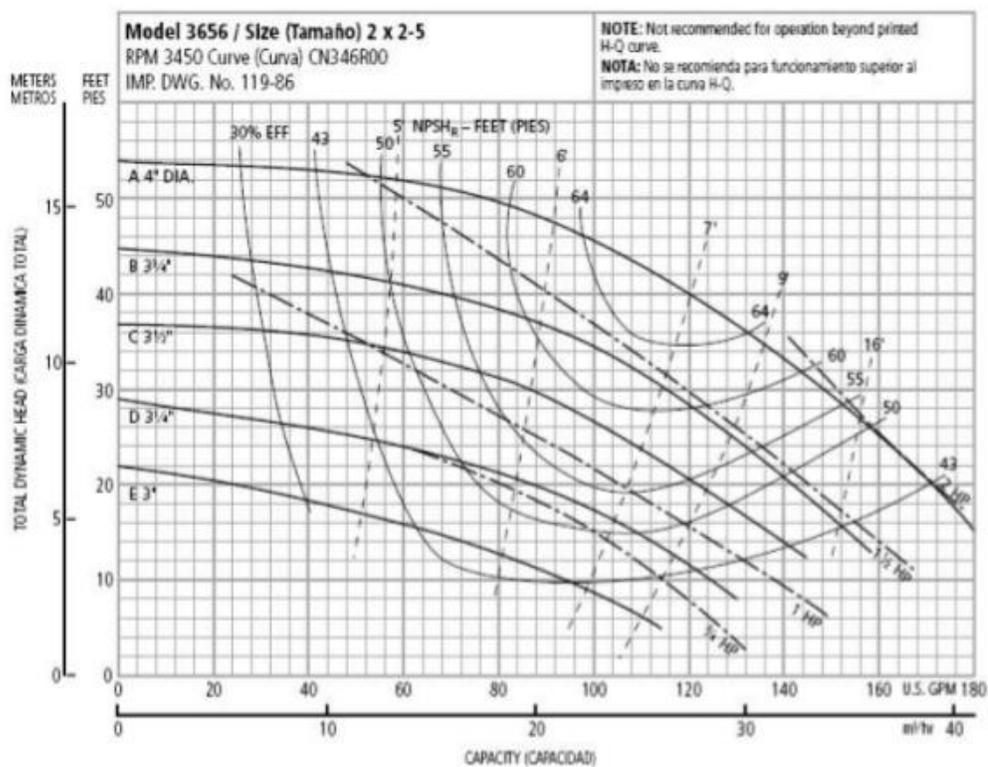
Finalmente, las bombas sumergibles son aquellas cuyo motor se encuentra sumergido en el fluido. Su costo es parecido al de las bombas tipo turbina vertical. Generalmente este equipo se utiliza para alturas mayores a 1 000 pies y posee una eficiencia de 70 % a 80 %, según la empresa BAMSA, encargada de producir bombas sumergibles.

Al trabajar con sistemas de bombeo se pueden encontrar diversos factores que permitirán un ahorro energético. Sin embargo, previo a ello se deben conocer aspectos importantes como la operación del sistema. Este proceso conlleva comprender:

- Curva del sistema
- Puntos de operación de la bomba
- Eficiencia
- Potencia al freno o absorbida
- Carga neta de succión positiva (NPSH)
- Potencia del motor
- Consumo energético y costo de operación

Las curvas características de las bombas vienen dadas por el fabricante, el cual señala cuál es la eficiencia esperada de una bomba, al operar bajo un diámetro del impulsor y caudal determinado.

Figura 13. **Curvas características de una bomba centrífuga 3450 RPM**



Fuente: Xylem, Inc. 3656/3756 S-Group bombas centrífugas en hierro fundido con accesorios de bronce. p 5.

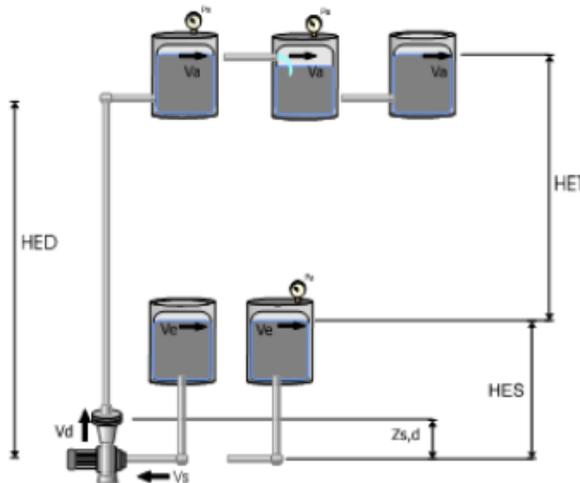
El diseño de un sistema de bombeo se define según la carga estática total y las pérdidas propias del sistema, debido a diferentes aspectos como la fricción en tuberías y accesorios¹².

La carga estática total se refiere a la altura geométrica entre los niveles de líquido en los recipientes de descarga y succión respecto al centro de la bomba. Puede ser positiva (el nivel del líquido de succión se encuentra por encima de la bomba) o negativa (el nivel del líquido de succión se encuentra por debajo de la bomba).

Para los sistemas con succión positiva se utiliza la siguiente expresión para determinar la Carga Estática Total (HET):

$$H_{ET} = H_{GD} - H_{GS} + \frac{P_D - P_S}{\gamma}$$

Figura 14. Sistema con succión positiva



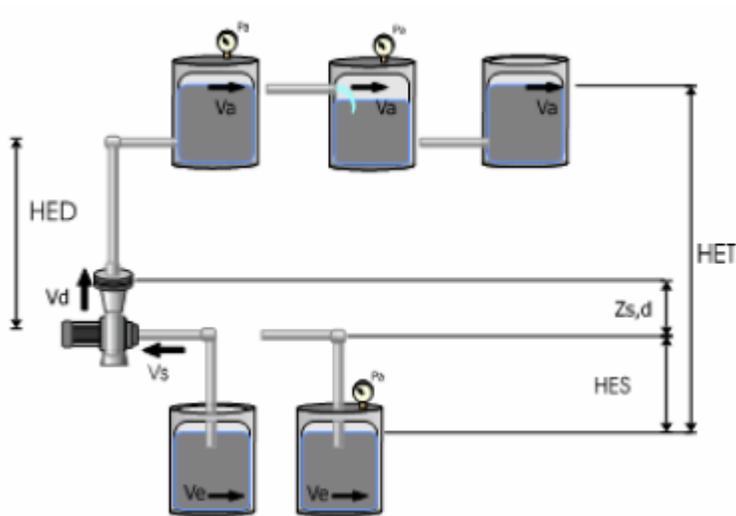
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo*. p 4.

¹² Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo*. p 4.

Por su parte, para los sistemas con succión negativa la carga estática total se determina de la siguiente forma:

$$H_{ET} = H_{GD} + H_{GS} + \frac{P_D - P_S}{\gamma}$$

Figura 15. **Sistema con succión negativa**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo*. p 4.

Donde:

H_{GD} = altura geométrica de descarga

H_{GS} = altura geométrica de succión

P_D = presión en recipiente de descarga

P_S = presión en recipiente de succión

V_D = velocidad en tubería de descarga

V_S = velocidad en tubería de succión

γ = peso específico del fluido

Las pérdidas en un sistema de bombeo se pueden determinar experimentalmente, colocando manómetros en diferentes puntos o

teóricamente mediante el cálculo según algunos teoremas. Cabe recordar que las pérdidas en un sistema dependen principalmente de los siguientes factores:

- Caudal o gasto de operación
- Características del fluido
- Características de accesorios y tuberías

Las pérdidas se calculan con la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = \frac{fLV^2}{2Dg}$$

Donde:

h_L = pérdida de carga (m)

D = diámetro de la tubería (m)

L = longitud de la tubería (m)

V = velocidad del fluido (m/s) = $Q/A = 4Q/\pi D^2$

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

f = factor de fricción

El factor de fricción se determina según la rugosidad del material, diámetro de la tubería y número de Reynolds.

Por su parte, las pérdidas en accesorios se calculan de la siguiente forma:

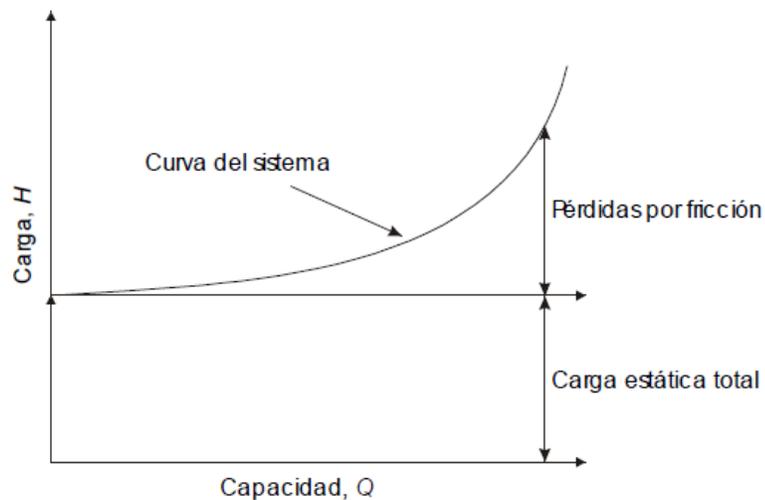
$$h_A = \frac{k * V^2}{2g}$$

Donde K es el coeficiente de resistencia (adimensional), g es la gravedad (m/s^2) y V es la velocidad del fluido (m/s).

Luego se procede a determinar la carga total del sistema, que consiste en la suma de la carga estática y la carga dinámica, conformada por las pérdidas en accesorios y por fricción en tuberías.

$$H_T = H_{ED} \pm H_{ES} + \frac{P_D - P_S}{\gamma} + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2g} + \sum \frac{fLV^2}{2Dg} + \sum \frac{k * V^2}{2g}$$

Figura 16. **Carga del sistema**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo*. p 7.

La eficiencia de las bombas se puede determinar mediante las curvas características de cada bomba, o bien mediante el procedimiento siguiente:

- Determinando la potencia absorbida: se refiere a la potencia entregada en la flecha de la bomba.

$$BHP = Potencia\ del\ motor * \eta_{motor} [HP\ o\ kW]$$

- Luego se determina la potencia hidráulica de la bomba.

$$Potencia\ hidr\acute{a}ulica = \frac{Q * H * \rho * g}{1\ 000} [kW]$$

Donde Q es el caudal, H es la carga total, ρ es la densidad del fluido y g la aceleración de la gravedad (en unidades del SI).

- Finalmente se determina la eficiencia:

$$\eta_{bomba} = \frac{Q * H * \rho * g}{BHP} * 100 \%$$

Es común observar incrustaciones tanto a lo largo de las tuberías como en el interior de las mismas bombas. Por lo tanto, es necesario realizar una limpieza y mantenimiento periódicos, para que las incrustaciones no aumenten el consumo de energía eléctrica. Otro factor importante para tomar en cuenta es el uso de tecnología en distintos sensores que permiten determinar el caudal y presión en las tuberías, y así hacer uso con mayor eficiencia del equipo de bombeo.

Como en toda instalación, es necesario que el dimensionamiento del sistema se realice de forma adecuada, seguido de la selección de equipo con mayor eficiencia en el mercado y finalmente la instalación correcta de todos los elementos.

2.2.3. Sistemas de refrigeración y aire acondicionado

Se puede obtener un ahorro energético significativo tanto en un sistema de refrigeración, como en un sistema de aire acondicionado, los cuales se desarrollarán a continuación.

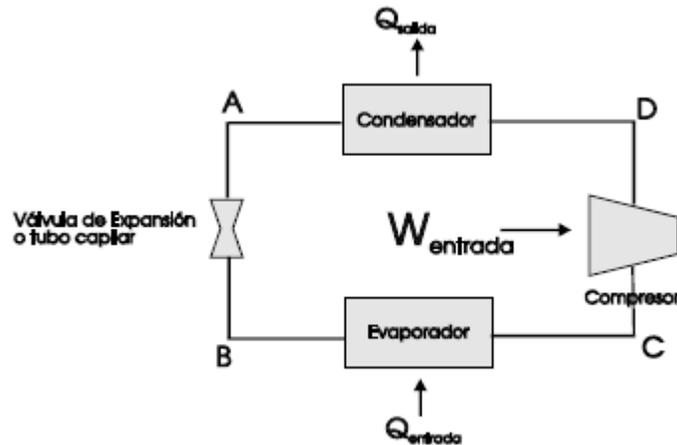
2.2.3.1. Sistemas de refrigeración

Un sistema de refrigeración es aquel que utiliza el frío para la conservación de alimentos y para disminuir o mantener la temperatura en procesos industriales. Los sistemas de refrigeración se componen de 5 elementos principales: compresor, condensador, válvula de expansión termostática, evaporador y dispositivos de control y seguridad.

El ciclo de refrigeración se basa en el ciclo de Carnot, pero de forma inversa, siguiendo el proceso:

- Válvula de expansión: se produce una expansión adiabática (sin intercambio de calor con su entorno) para el enfriamiento del fluido.
- Evaporador: el fluido refrigerante absorbe calor a baja temperatura y se evapora.
- Compresor: el vapor es comprimido adiabáticamente al calentarse hasta alcanzar la presión de condensación.
- Condensador: el calor es cedido a alta temperatura y se produce la condensación del vapor del fluido refrigerante, regresando a estado líquido.
- Luego el fluido refrigerante será almacenado en un recipiente y luego regresará a la válvula de expansión para iniciar nuevamente el proceso.

Figura 17. **Ciclo de refrigeración**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de refrigeración*. p 4.

Desde que el fluido refrigerante sale de la válvula de expansión hasta el ingreso al compresor se conoce como sistema de baja presión. Al comprimirse el fluido en el interior del compresor se elevará su presión y esta se mantendrá así hasta la entrada a la válvula de expansión, por ello recibe el nombre de sistema de alta presión.

A la hora de la elección del sistema de refrigeración es indispensable considerar la cantidad y tipo de carga a almacenar, así como las temperaturas de funcionamiento y exterior. De igual forma se debe considerar que cada refrigerante cuenta con distintas propiedades, por lo que las temperaturas y presiones de trabajo son distintas.

Es importante considerar diferentes aspectos para que los sistemas de refrigeración funcionen de forma óptima. La falta de refrigerante es uno de los problemas más comunes que afectan el funcionamiento de un sistema, ya que la extracción de calor es inferior a lo requerido y las válvulas sufren un alto desgaste, debido a la elevada velocidad con que el gas atraviesa la válvula.

Este problema se puede evidenciar con la formación de vapor en el indicador, la disminución de la presión tanto en aspiración como alimentación y el aumento de la temperatura en la tubería de alimentación.

Otro de los aspectos a tomar en consideración es el ingreso de aire al sistema. La presencia de este elemento produce que la presión de alimentación aumente y por lo tanto el refrigerante se deberá condensar a una temperatura y presión mayores de lo normal. El compresor deberá trabajar más de lo necesario y la temperatura de funcionamiento será más alta, representando bastantes pérdidas.

Es importante que el sistema de refrigeración se encuentre correctamente diseñado y limpio. Si el condensador se encuentra subdimensionado o sucio la presión de alimentación y temperatura aumentarán, dichos problemas podrían ocasionar la disipación del calor transportado por el fluido. Finalmente podría llegar a dañarse el aceite y por lo tanto la culata del compresor.

Otros problemas comunes que afectan el rendimiento de los sistemas de refrigeración pueden ocurrir debido a:

- Obstrucción del filtro
- Caída de presión excesiva en la línea de aspiración
- Caída de presión excesiva en la línea del líquido

Los problemas antes mencionados disminuyen el rendimiento frigorífico y por consiguiente hay un aumento de consumo energético.

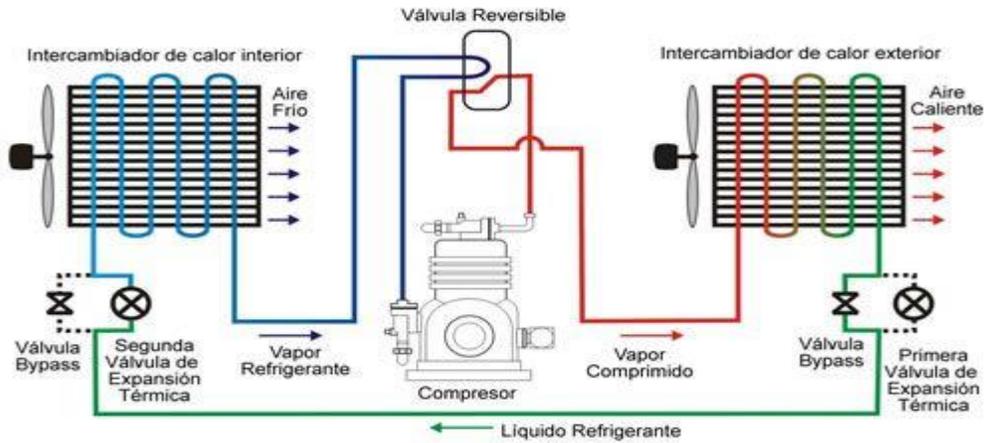
2.2.3.2. Aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado es un conjunto de elementos que crean y mantienen un ambiente con condiciones de temperatura, humedad, ventilación y pureza del aire para producir *confort* térmico o bien que un proceso se lleve a cabo bajo condiciones controladas. Los sistemas de aire acondicionado utilizan un ciclo de compresión de vapor, en el cual un fluido refrigerante circula a través del sistema. El sistema de aire acondicionado se compone de una unidad de condensación y la unidad de control del aire.

La unidad de condensación se compone de un compresor y una bobina de condensación, que deben estar ubicados bajo sombra. Mientras tanto, la unidad de control contiene la bobina del evaporador, soplador y válvula de regulación. Dicha unidad recibe el nombre de equipo mecánico interior. El proceso de acondicionamiento de aire se realiza en cuatro etapas:

- El compresor presuriza el refrigerante gaseoso, el cual se calienta en el proceso.
- El gas es soplado por medio de ventiladores hacia la bobina de condensación, a través del gas presurizado caliente. El gas refrigerante se enfría y se condensa.
- El líquido presurizado es transportado por tubos hacia la unidad de control de aire. Luego se expande y enfría por efecto de la válvula reguladora o de expansión.
- Finalmente, el líquido circula a través de las bobinas de evaporación. El aire interior es enfriado mientras que el refrigerante es calentado y se evapora. El aire enfriado es canalizado por medio de la tubería y el refrigerante es conducido a la unidad exterior.

Figura 18. **Proceso de acondicionamiento del aire**



Fuente: *Cómo funciona un aire acondicionado*. <https://tuaireacondicionado.net/como-funciona-un-aire-acondicionado/> Consulta: 2018.

Existen diferentes fuentes de calor que afectan el funcionamiento de un equipo de aire acondicionado:

- Radiación solar
- Transmisión de calor a través de paredes, ventanas y techo
- Calor proveniente del equipo de iluminación
- Calor proveniente de equipos de oficina
- Calor emitido por las personas¹³

Los problemas más comunes que se presentan en el funcionamiento de un sistema de aire acondicionado son: carga incorrecta del refrigerante, canalización incorrecta y la circulación inadecuada del flujo de aire.

Si el sistema cuenta con poco o demasiado refrigerante el consumo energético del sistema aumentará, debido a que el refrigerante fluye en dos

¹³ Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado*. p 2.

direcciones realizando la mayor parte del trabajo. Por ello es indispensable realizar la carga de refrigerante por medio de un calibrador de presión y por medio del peso del mismo. Los fabricantes recomiendan utilizar el método de temperatura de sobrecarga y para casos especiales el método de subenfriamiento.

Otro aspecto muy importante por considerar es el diseño. Un mal diseño puede generar problemas asociados a una incorrecta canalización y filtros atascados. En este caso, la distribución de aire será incorrecta y se obtendrá una reducción significativa de la eficiencia del sistema.

Si la unidad exterior se encuentra dentro de un lugar cerrado la circulación del aire será inadecuada, con lo cual la temperatura del aire alrededor del sistema se elevará y resultará más difícil enfriar el refrigerante que está en circulación. La eficiencia del sistema se reduciría en un 10 %, si la temperatura del aire exterior fuese 10 grados más caliente que la temperatura ambiente externa¹⁴.

Según la Guía de Eficiencia Energética elaborada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, existen diversas prácticas que permiten utilizar el aire acondicionado de forma correcta. Dentro de dichas prácticas se encuentra mantener tanto puertas como ventanas cerradas para evitar la entrada de aire caliente; las persianas, vidrios reflectantes y otros protectores permiten el paso de la radiación solar y entrada de calor deseados. La CNEE afirma que por cada grado adicional que se desea disminuir se consume un 8 % más de energía.

¹⁴ MCQUISTON, Faye. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p 15.

Así mismo, la CNEE recomienda utilizar el aire acondicionado solo cuando se requiere y establece para ello un procedimiento: encender el aire a una temperatura no muy fría, para refrescar el ambiente rápidamente (aproximadamente entre 23 y 25 °C). El sistema se debe apagar si las personas ya no se encuentran utilizando el lugar o bien si es de noche.

En la medida de lo posible se deben utilizar aparatos tecnológicos como termostatos con control de temperatura o programación horaria para hacer uso eficiente de la energía consumida. Finalmente se debe dar el mantenimiento periódico adecuado al sistema de ventilación, revisión de ductos y una limpieza adecuada de los filtros.

Otra de las prácticas mayormente utilizadas para hacer un uso energético eficiente del aire acondicionado es aplicar una capa de aislamiento de poliuretano tanto en el techo como en paredes. La aplicación de este aislamiento permite reducir hasta un 60 % del consumo mensual de energía eléctrica. La aplicación del aislamiento se debe realizar en un día de baja humedad y dos días después se aplica una segunda capa.

Es importante considerar que parte del calor en el interior de una vivienda o edificio se encuentra en función del calor absorbido por los materiales de construcción del mismo. Para evitar que ingrese un calor excesivo se colocan persianas y cortinas, o bien se aplican películas de tipo altamente reflejante.

Existen diferentes clasificaciones del aire acondicionado, sin embargo, en cuanto a eficiencia energética se refiere, se pueden dividir en dos grandes grupos según la sustancia que produce frío:

- Inyección de aire frío soplado sobre el refrigerante: contiene a las unidades de ventana, *mini-split*, unidades de paquete y expansión directa.
- Circulación de agua helada (*fan coil*): existe un sistema por el cual circula agua hasta los elementos que se desean enfriar, el agua circula por un serpentín que enfría aire y por medio de un ventilador es soplado al ambiente.

Uno de los aspectos principales que se deben considerar al adquirir un sistema de aire acondicionado es la relación de eficiencia energética (kW/TR). Esta relación indica la potencia eléctrica que debe consumir un equipo para producir una tonelada de refrigeración (TR). Entre menor sea este indicador, mayor será la eficiencia del equipo.

Otra forma de determinar la eficiencia energética es dividir el efecto de enfriamiento entre la potencia eléctrica. Por ello es común encontrar valores de eficiencia con unidades como: W/W, BTUh/HP, BTUh/kW. La equivalencia entre sistemas se puede determinar mediante:

$$1 \text{ W/W} = 0,2843 \text{ TR/kW} = 0,3811 \text{ TR/HP} = 3,412 \text{ BTUh/W}$$

Tabla I. **Comparación de sistemas de aire acondicionado**

Tipo de equipo	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Ventana	Cuartos individuales Recámaras Uso esporádico	Económicos No utilizan ductos Acondicionamiento individual Control de temperatura	Ruidosos Mayor consumo energético Costoso para una instalación grande Mantenimiento constante
<i>Mini-split</i>	Cuartos individuales Recámaras Salas y comedores Oficinas pequeñas	No utilizan ductos Acondicionamiento individual Operación silenciosa Son programables	Mayor costo de compra Mayor consumo energético Costoso para una instalación grande Espacio adicional para el condensador

Continuación de la tabla I.

Tipo de equipo	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Mini-split	Bibliotecas Sala de reuniones Uso esporádico	Cuentan con control de temperatura y temporizador Varios modelos	Una mala ubicación incrementa el consumo energético Inadecuados para lugares donde se pierda el aire
Unidades de paquete	Oficinas Viviendas Laboratorios no controlados Centros comerciales Edificios pequeños y medianos Escuelas Sala de reuniones	Acondicionamiento para varias áreas Menor consumo energético Acondicionamiento para zonas grandes Mayor capacidad por equipo Puede automatizarse Varios modelos	Mayor costo de compra Requiere ductor de inyección y retorno Mayor mantenimiento Mala ubicación produce incremento del consumo energético Los ductos de inyección deben ser aislados térmicamente
Sistema central con generación de agua helada	Grandes consumidores Industrias Laboratorios controlados Centros comerciales Edificios pequeños, medianos y grandes Escuelas Hoteles	Acondicionamiento para varias áreas Menor consumo energético que una unidad de paquete Acondicionamiento para zonas grandes Mayor capacidad por equipo Puede automatizarse Óptimo control de su operación Varios modelos	Mayor costo de compra e inversión en el sistema Requiere bombas, tuberías, válvulas, ductos de inyección y retorno, sistemas de control Se necesitan especialistas para la automatización Mala ubicación produce incremento del consumo energético Si no está automatizado, se produce desperdicio energético Mayor mantenimiento Si es enfriado por agua, el costo del agua es significativo Si se enfría por aire tiende a ser menos eficiente

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado.* p 21.

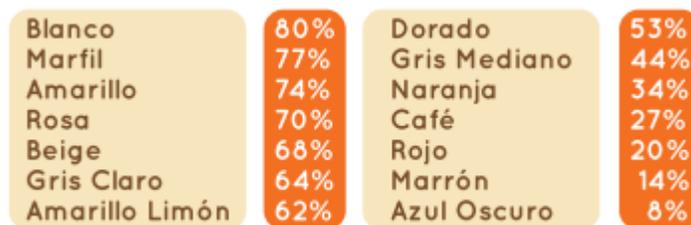
2.2.4. Sistemas de iluminación

Uno de los principales elementos de consumo en la industria corresponde a la iluminación adecuada de oficinas y lugares trabajo, por lo que las acciones que llevan a reducir el consumo energético de las luminarias son de gran importancia.

La correcta iluminación es indispensable para que se lleven a cabo todas las actividades sin dañar la vista de una persona. Según los fabricantes de luminarias, se debe cumplir con algunos requisitos para indicar que la iluminación es adecuada: nivel de iluminación adecuada (de acuerdo con la actividad que se realice), homogeneidad (la iluminación debe estar distribuida correctamente en todo el espacio), agradable (no debe molestar) y color (depende de la actividad que se realice).

Dentro de las acciones que llevan al ahorro energético en sistemas de iluminación destaca el aprovechamiento máximo de la luz natural. Para una edificación nueva se debe tener en consideración la posición, tamaño de las ventanas y la transparencia de los cristales, así como el color de paredes, suelo y mobiliario en el interior. El color de paredes, techo y suelo se ven afectados debido a la reflexión de la luz.

Figura 19. Luz reflejada por una pared según su color



Fuente: ICE. *Guía para ahorrar electricidad en el hogar.*

<https://www.grupoice.com/esp/cencom/gral/energ/consejos/ahorricelec4.htm#2>. Consulta: 2018.

Con el fin de optimizar la iluminación se debe determinar el uso de las zonas de trabajo para identificar los niveles de iluminación mínimos requeridos para las diferentes actividades. Para determinar la zona de trabajo se medirá la altura donde se ejecute la tarea, se toma una zona de trabajo general como 85 cm desde el suelo y en vías de circulación se tomará la zona de trabajo a nivel del suelo. Se deben duplicar los niveles de iluminación en lugares donde existan riesgos como choques, caídas o bien en zonas de trabajo donde un error pueda causarle daño al trabajador o a un tercero.

Figura 20. **Niveles mínimos de iluminación**

Áreas del puesto de trabajo	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con: -Exigencias visuales bajas -Exigencias visuales moderadas -Exigencias visuales altas -Exigencias visuales muy altas	100 200 500 1000
Zonas o locales de uso ocasional	50
Zonas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Fuente: *Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico*. 08/06/2001. p 96.

En las edificaciones que ya cuentan con iluminación se deben utilizar los sistemas de iluminación más eficientes disponibles. Actualmente las lámparas incandescentes se deben sustituir por lámparas fluorescentes o de bajo consumo, como la tecnología led.

2.2.4.1. Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes están constituidas por un bombillo de vidrio a base de cuarzo que es capaz de soportar altas temperaturas. El bombillo en

su interior posee un gas inerte o vacío que permite que el filamento altamente resistivo se caliente y emita luz a una longitud de onda determinada. Estas lámparas reciben el nombre de incandescentes, debido a que el filamento se calienta a tal punto que se encuentra cerca de su punto de fusión.

Las lámparas incandescentes se pueden someter a distintos niveles de voltaje. Si operan bajo su voltaje nominal consumirán determinada potencia para alcanzar una intensidad lumínica. Sin embargo, si se someten a un nivel de voltaje mayor a su voltaje nominal, la intensidad lumínica será mayor, pero su vida útil disminuirá considerablemente.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de lámparas incandescentes**

Ventajas	Desventajas
Costo muy bajo	Vida útil corta (1 000 horas)
No producen interferencias electromagnéticas	Baja eficiencia
Se puede variar su intensidad lumínica, de acuerdo con el voltaje	Se producen aumentos de consumo de corriente debido a las altas temperaturas
Existen de distintos tamaños	La mayor parte de la energía se pierde en forma de calor
Haz de luz concentrado	
Bajo mantenimiento	

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.2. Lámparas fluorescentes

Son aquellas que utilizan la descarga como método de funcionamiento, están recubiertas de un baño de fósforo, además de poseer una gota de mercurio y estar presentes en una atmósfera de gas inerte, por las altas temperaturas producidas en la descarga. Para su funcionamiento utilizan un balastro y algunas utilizan un arrancador.

Las lámparas de arranque precalentado utilizan un arrancador para producir una descarga, que desprende material cada vez que se encienden. Generalmente se operan con un ± 10 % de su voltaje nominal, se encuentran comercialmente a un alto costo y de gran longitud. Si su arranque es de tipo rápido, no poseen arrancador y pueden trabajar hasta tres veces su voltaje nominal. El arranque puede ser instantáneo cuando no se utiliza arrancador, pero el balastro que utilizan es más robusto, logrando romper el dieléctrico más rápido.

Tabla III. **Ventajas y desventajas de lámparas fluorescentes**

Ventajas	Desventajas
Poseen mayor eficiencia (75 %)	Mayor costo
Mayor vida útil (10 000 horas)	Requieren espacios más grandes
Producen menos calor	Se produce el efecto estroboscópico, en el cual las cosas en movimiento pueden parecer estar en reposo
Existen de distintas tonalidades	Interferencia en señales de radio
Poseen aplicaciones biológicas como en dentistas	Su haz no es concentrado y su intensidad no es regulable

Fuente: elaboración propia.

2.2.4.3. Lámparas led

Su nombre proviene de las siglas en inglés Light-Emitting Diode, que significa diodo emisor de luz. Esta tecnología se basa en la diferencia de potencial en los extremos de diodo. Bajo dicho potencial produce una longitud de onda. Comercialmente se pueden encontrar de diferentes colores. Su funcionamiento requiere corriente directa, por lo que requieren de un rectificador.

Tabla IV. **Ventajas y desventajas de las lámparas led**

Ventajas	Desventajas
Alta eficiencia	Muy alto costo en la actualidad; sin embargo, disminuirá con el tiempo
Vida útil prolongada (30 000 horas)	Requieren de un rectificador
Encendido instantáneo	Sensibles a altas temperaturas
Requieren menos espacio	Producen interferencia en señales de radio
No producen efecto estroboscópico ni interferencias de radio	Su haz no es concentrado y su intensidad no es regulable
	Producen armónicos

Fuente: elaboración propia.

Existe una gran variedad de equipos que permiten realizar la optimización del consumo energético ocasionado por el sistema lumínico. Se pueden mencionar el uso de células fotosensibles, que ajustan automáticamente la cantidad de luz emitida, interruptores horarios, que permiten apagar y encender las lámparas según un horario y calendario establecido, y los detectores de

presencia, que conectan o desconectan automáticamente en función de la presencia de personas.

2.3. Normas de seguridad eléctrica

Según BSI Group, una norma es un modo establecido de realizar una cosa, dentro de este concepto se pueden encontrar un proceso, un servicio o un producto. Según la pirámide de Kelsen se establece la jerarquía de las leyes, para determinar cuál predomina sobre la otra. Así mismo, se establece que nada ni nadie está por encima de la Constitución Política de la República de Guatemala.

Luego continúan en orden jerárquico las leyes creadas por el Congreso de la República, dentro de estas leyes se pueden identificar los decretos. Luego de ello se pueden encontrar los reglamentos y normas adoptadas que se encargan de regular la parte técnica. Por último, se encuentra todo lo relacionado a las sentencias, resoluciones y contratos.

Las normas de seguridad eléctrica son todas aquellas utilizadas para eliminar o mitigar el riesgo que se tiene al trabajar con electricidad o cerca de ella. Se define riesgo eléctrico como la condición de que una persona sufra un accidente derivado de la realización de un trabajo en dentro de una instalación eléctrica o en su proximidad¹⁵. La guía técnica anterior define que existen dos tipos de peligros derivados del riesgo eléctrico: contacto eléctrico y arco eléctrico.

El contacto o choque eléctrico se define como la condición en la cual circula corriente eléctrica a través del cuerpo de una persona. La severidad del

¹⁵ *Guía técnica para la evaluación del riesgo eléctrico de España.* p 5.

choque eléctrico dependerá de la magnitud de la corriente que circula a través del cuerpo y de la condición física de la persona. El contacto puede ser directo, si la persona toca un elemento energizado, creando una diferencia de potencial; o bien, indirecto, si la persona mantiene contacto con objetos que no deberían estar energizados y debido a una falla o mal aislamiento de los mismos se encuentran energizados.

Algunos órganos del cuerpo, tales como el corazón y el sistema nervioso, funcionan bajo impulsos de corriente eléctrica, por lo que el cuerpo tolera ciertos grados de corriente, durante determinado período de tiempo. Sin embargo, la exposición prolongada a ciertas magnitudes de corriente puede causar hasta la muerte. A continuación, se puede observar los efectos que tiene la corriente eléctrica en el cuerpo humano:

Tabla V. Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

Intensidad [mA]	Duración	Efectos
0,5	Independiente	Umbral de percepción, no provoca sensaciones ni consecuencias.
0,5 – 10	Independiente	Cosquilleos, calambres y movimientos musculares de reflejo.
10 – 15	Independiente	Dolor, umbral de no soltar.
15 – 25	Mayor a 1 minuto	Contracción de brazos y piernas, dificultad para respirar, aumento de presión arterial.
25 – 50	Segundos a minutos	Irregularidades cardíacas, aumento de la presión arterial, tetanización, inconsciencia, inicio de fibrilación ventricular.
50 – 200	Menor a un ciclo cardíaco	Fuertes contracciones musculares, no se produce fibrilación ventricular.
	Mayor a un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular, inconsciencia, marcas visibles de electrocución.

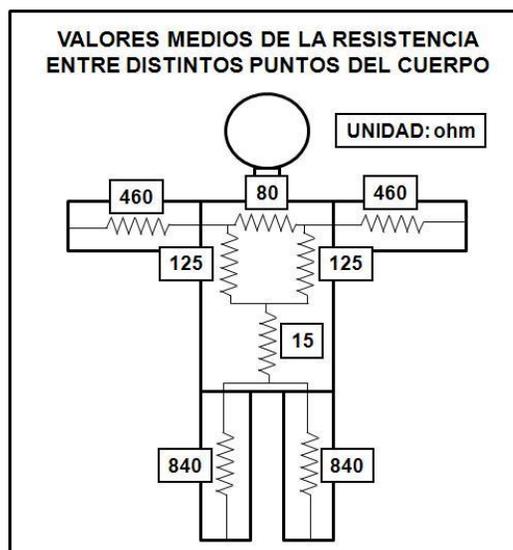
Continuación de la tabla V.

Intensidad [mA]	Duración	Efectos
200 – 1 000	Menor a un ciclo cardíaco	Fibrilación ventricular, inconsciencia, marcas visibles de electrocución.
	Mayor a un ciclo cardíaco	Paro cardíaco, inconsciencia, quemaduras, alta probabilidad de muerte.
1 – 5 Amperios	Independiente	Quemaduras muy graves, paro cardíaco, alta probabilidad de muerte.

Fuente: elaboración propia.

Además de lo ya mencionado es importante tomar en cuenta que la severidad de la lesión depende también del punto donde se realice el contacto. El choque eléctrico se caracteriza por tener un punto de entrada y otro de salida. La corriente buscará el camino más fácil, es decir el de menor resistencia eléctrica, aquel por el cual encuentre menor oposición al paso de corriente.

Figura 21. **Valores de resistencia del cuerpo humano**



Fuente: INPACO. *Seguridad en instalaciones eléctricas*. p 3.

Se consideran las rutas más mortales aquellas por las cuales el paso de corriente fluye a través del corazón. El paso de corriente que fluye de un brazo a otro o ingresa por una mano y sale por un pie son considerados de los más peligrosos. Es importante mencionar que los problemas pueden ir desde una quemadura o una amputación hasta la muerte.

El otro peligro derivado del riesgo eléctrico es el arco eléctrico, que se puede definir como la liberación de energía calorífica producida por una falla, este fenómeno ocurre debido a la ionización del aire. No se transmite al cuerpo humano por medio de contacto, si no por medio de radiación infrarroja y ultravioleta. Este tipo de peligro produce quemaduras externas, explosiones y expulsión de proyectiles y fragmentos de los elementos.

Existen ciertas distancias que se deben cumplir para que no se produzca arco eléctrico.

Figura 22. **Distancias mínimas de seguridad eléctrica**

Tensión		Distancias de
entre fases		seguridad
Hasta	1 kV	0,40 m
Hasta	10 kV	0,80 m
Hasta	15 kV	0,90 m
Hasta	20 kV	0,95 m
Hasta	25 kV	1,00 m
Hasta	30 kV	1,10 m
Hasta	45 kV	1,20 m
Hasta	68 kV	1,40 m
Hasta	110 kV	1,80 m
Hasta	132 kV	2,00 m
Hasta	220 kV	3,00 m
Hasta	380 kV	4,00 m

Fig.3: Distancias de Seguridad

Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. *Riesgos eléctricos*. p 12.

2.3.1. Normas americanas

En 1970 se creó en Estados Unidos la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), con el fin de proveer a los trabajadores de cualquier industria condiciones seguras y saludables. Desde ese entonces, dicha institución se dedica a velar porque ningún trabajador ponga en peligro su vida debido a su trabajo. Una de las principales asignaciones de OSHA fue cuantificar cuántas personas padecían una enfermedad o fallecían debido a la realización de su trabajo y buscar soluciones para disminuir dicha cantidad. Hoy en día se ha logrado reducir más del 65 % del número de lesiones y muertes relacionadas con el trabajo. Las normas OSHA incluyen diferentes disposiciones relacionadas al asbesto, polvo, protección contra caídas, maquinaria, agentes patógenos y seguridad eléctrica.

Por su parte, Estados Unidos cuenta con la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), que es una institución creada con el fin de crear y velar que se cumplieran las normas para la prevención contra incendios y el uso adecuado del equipo para prevenirlos.

En cuanto a seguridad eléctrica se refiere, Estados Unidos se basa en el capítulo de Seguridad Eléctrica de NFPA- 70, el cual se establece como el Código Eléctrico Nacional (NEC). En dicha norma existen diferentes normas relacionadas a cableado, protección, métodos de cableado y materiales, equipo para usos generales, usos especiales, equipo especial y condiciones especiales.

Dentro del NEC existen diferentes normas que tratan aspectos relacionados a la industria eléctrica:

Tabla VI. **Variantes del Código Nacional Eléctrico**

Variante	Nombre
NFPA 70A	Código Nacional Eléctrico: requerimientos para viviendas de para una o dos familias
NFPA 70B	Código Nacional Eléctrico: práctica recomendada para el mantenimiento de equipo eléctrico
NFPA 70E	Estándares para la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo

Fuente: elaboración propia.

Según Zoubek la Norma NFPA 70E se ha convertido en el mejor manual para proteger a trabajadores de los peligros eléctricos. Así mismo define que la primera protección en un trabajo energizado es la definición de condiciones seguras de trabajo, lo cual se puede realizar mediante controles técnicos¹⁶.

La norma va dirigida a las prácticas que involucran riesgos relacionados con la energía eléctrica como: instalación, inspección, operación, mantenimiento y demolición de conductores y equipo eléctrico y comunicaciones. Sin embargo, no está dirigida a instalaciones en vehículos terrestres, aéreos ni marítimos; tampoco está dirigida la norma a trabajos en instalaciones que no cumplan las normas básicas del Código Eléctrico Nacional.

Según el artículo 110 de la norma NFPA 70E se debe implementar un programa de seguridad eléctrica para evitar riesgos asociados a los peligros eléctricos, con el fin de que los empleados conozcan los riesgos eléctricos a los

¹⁶ ZOUBEK, Paul. *Una mirada a los cambios de la Norma NFPA 70E*. p 1.

que se exponen. El procedimiento de evaluación de riesgo incluye identificar los peligros, evaluar los riesgos e implementar un control de riesgo.

Existe una jerarquía de métodos de control, la cual se especifica en la norma ANSI. La jerarquía indica que en primer lugar se debe tomar método de eliminación del riesgo, si no es posible tomar dicha acción se debe verificar si se puede sustituir el riesgo por uno que cause un daño menor. Si el riesgo no se puede sustituir por otro, se deben adoptar procedimientos o controles de ingeniería, luego controles administrativos y por último se debe utilizar equipo de protección personal (EPP) que sea capaz de atenuar las lesiones que pudiese causar el desarrollo de un trabajo.

La norma aconseja realizar algunas actividades como una sesión informativa previa a la realización de un trabajo, en la cual los empleados definan los riesgos asociados a la actividad, establezcan el procedimiento que se seguirá y los controles tanto de ingeniería como administrativos. Finalmente se hará entrega y uso adecuado del EPP.

Una de las medidas más utilizadas en la actualidad corresponde a las auditorías eléctricas, en las cuales se verifica que se sigan los procedimientos de acuerdo con el programa de seguridad eléctrica. Si se determina que no se siguen los procedimientos de forma adecuada, se debe corregir mediante modificaciones al programa o bien mediante capacitación o entrenamiento. Los entrenamientos deben ir enfocados en la realización de la tarea y en respuesta a emergencias (liberación del contacto de otra persona o primeros auxilios). Según la norma los empleados no deben pasar más de tres años sin recibir entrenamiento, además de recibirlo cada vez que las evaluaciones lo requieran, si se utilizará una nueva tecnología o si se utilizan prácticas que no son comunes.

Para el uso de equipos eléctricos se deben realizar pruebas que certifiquen que los instrumentos operan dentro del rango de funcionamiento adecuado. Los empleados deben realizar inspecciones visuales previas a la realización de un trabajo. Si se detecta que los instrumentos poseen un desperfecto se deben reparar antes de su uso; sin embargo, si no es posible repararlos, este se debe sustituir por otro y en ninguna circunstancia se utilizará el instrumento dañado. Los instrumentos se deben manipular y almacenar, según las indicaciones del fabricante, ya que de lo contrario se puede afectar el funcionamiento o vida útil del instrumento.

Para que una condición de trabajo se considere eléctricamente segura debe cumplir algunos requisitos. En primer lugar, una persona debe determinar todas las fuentes posibles de suministro de energía eléctrica y desconectarlas. Luego se debe verificar que los interruptores se encuentren en posición de desconexión total. Se deben bloquear y etiquetar los dispositivos para evitar conexiones involuntarias. Después se debe verificar la ausencia de tensión mediante un equipo de prueba, utilizando un equipo debidamente calibrado y en buen estado. Para evitar tensiones inducidas de otras fuentes se deben colocar puestas a tierra con capacidad de conducir corrientes de falla de cortocircuito durante el tiempo necesario para aislar la falla.

Para los trabajos que se realizan bajo tensión, ya sea que el empleado se encuentre dentro de la frontera de aproximación o bien interactúe con elementos que se pudieran llegar a energizar por un relámpago de arco, se deben establecer condiciones eléctricas seguras de trabajo.

Una de las recomendaciones que la norma brinda respecto a trabajos energizados involucra el uso de permisos de trabajo para dichos casos. En estos se deben incluir, como mínimo, los siguientes elementos:

- Circuitos y equipos a utilizar y su respectiva localización
- Justificación de la realización del trabajo de forma energizada
- Descripción de las prácticas de seguridad que se llevarán a cabo
- Resultados de evaluación de riesgo por choque eléctrico
- Resultados de evaluación de riesgo por arco eléctrico
- Forma de restricción a personas no calificadas
- Descripción del trabajo
- Firmas de aprobación de las autoridades responsables

En todo momento el personal debe contar con su equipo de protección personal. Sin embargo, al no realizar un trabajo eléctrico como en tareas de pruebas, inspecciones visuales, termografía y limpieza general no es necesario contar con un permiso de trabajo, siempre y cuando se cuente con el EPP. La evaluación de riesgos y fronteras de protección contra choque y arco eléctrico permite definir el equipo de protección personal adecuado para la persona que realizará el trabajo.

Figura 23. **Fronteras de aproximación limitada**

Rango de tensión nominal del sistema, fase a fase ^a	Frontera de aproximación limitada ^b		Frontera de aproximación restringida ^b ; incluye el agregado de movimientos involuntarios
	Conductor móvil expuesto ^c	Parte de circuito fijo expuesto	
<50 V	No especificado	No especificado	No especificado
50 V–300 V ^d	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 6 pulg.)	Evitar Contacto
301 V–750 V	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 6 pulg.)	0.5 m (1 pies 0 pulg.)
751 V–15 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.5 m (5 pies 0 pulg.)	0.7 m (2 pies 2 pulg.)
15.1 kV–36 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.8 m (6 pies 0 pulg.)	0.8 m (2 pies 7 pulg.)
36.1 kV–46 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	0.8 m (2 pies 9 pulg.)
46.1 kV–72.5 kV	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 3 pulg.)
72.6 kV–121 kV	3.3 m (10 pies 8 pulg.)	2.5 m (8 pies 0 pulg.)	1.0 m (3 pies 4 pulg.)
138 kV–145 kV	3.4 m (11 pies 0 pulg.)	3.0 m (10 pies 0 pulg.)	1.2 m (3 pies 10 pulg.)
161 kV–169 kV	3.6 m (11 pies 8 pulg.)	3.6 m (11 pies 8 pulg.)	1.3 m (4 pies 3 pulg.)
230 kV–242 kV	4.0 m (13 pies 0 pulg.)	4.0 m (13 pies 0 pulg.)	1.7 m (5 pies 8 pulg.)
345 kV–362 kV	4.7 m (15 pies 4 pulg.)	4.7 m (15 pies 4 pulg.)	2.8 m (9 pies 2 pulg.)
500 kV–550 kV	5.8 m (19 pies 0 pulg.)	5.8 m (19 pies 0 pulg.)	3.6 m (11 pies 10 pulg.)
765 kV–800 kV	7.2 m (23 pies 9 pulg.)	7.2 m (23 pies 9 pulg.)	4.9 m (15 pies 11 pulg.)

Fuente: NFPA. *Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo*. 70E. p 24.

De la figura anterior la norma define como conductor móvil expuesto a aquel cuya distancia la persona no puede controlar con el conductor y está sujeto a condiciones externas.

Es indispensable que las personas que vayan a realizar un trabajo en condiciones energizadas cuenten con excelente iluminación, y no contar con elementos conductores tanto en prendas de vestir como herramientas. Es importante también que las personas que estén supervisando se encuentren en estado de alerta por cualquier situación que sea propia y ajena a la realización del trabajo.

En cuanto a equipos de protección personal y equipos protectores se refiere, la norma indica que se deben mantener en condiciones adecuadas, fuera de cualquier fuente que los pueda dañar como el polvo, humedad o agentes químicos. Existen hoy en día equipos de protección para cabeza, cara, cuello, mentón, ojos, protección auditiva, del cuerpo, manos, brazos y pies.

Figura 24. **Intervalos de prueba de equipo aislante de hule**

Equipo aislante de hule	Cuándo probarlos	Norma que rige ¹ la prueba de tensión
Mantas	Antes de su primer emisión; cada 12 meses a partir de ese momento en adelante ¹	ASTM F479
Cobertores	Si se duda del valor de aislamiento	ASTM F478
Guantes	Antes de primer emisión; cada 6 meses a partir de ese momento en adelante ¹	ASTM F496
Manguera de línea	Si se duda del valor de aislamiento	ASTM F478
Mangas	Antes de primer emisión; cada 12 meses a partir de ese momento en adelante ¹	ASTM F496

Fuente: NFPA. *Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo*. 70E. p 30.

Figura 25. Normas para equipo de protección

Objeto	Título del documento	Traducción del título	Nro. de Documento
Indumentaria — Resistente al arco	Standard Performance Specification for Flame Resistant and Arc Rated Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards	Estándar de especificación para desempeño de materiales textiles utilizados en la vestimenta para uso de trabajadores electricistas expuestos a riesgos de arco eléctrico momentáneo y a los riesgos termales relacionados	ASTM F1506
	Standard Guide for Industrial Laundering of Flame, Thermal, and Arc Resistant Clothing	Guía normalizada para el cuidado y mantenimiento de la ropa resistente al fuego, energía térmica, y descarga de arco	ASTM F1449
	Standard Guide for Home Laundering Care and Maintenance of Flame, Thermal and Arc Resistant Clothing	Guía normalizada para el cuidado, mantenimiento y lavado doméstico de la ropa resistente al fuego, energía térmica, y descarga de arco	ASTM F2757
Delantales aislantes	Standard Specification for Electrically Insulating Aprons	Estándar de especificación para delantales eléctricamente aislantes	ASTM F2677
Protección de los ojos y la cara — General	Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection	Práctica para la protección ocupacional y educacional de los ojos y la cara	ANSI Z87.1
Protección facial — Resistente al arco	Standard Test Method for Determining the Arc Rating and Standard Specification for Eye or Face Protective Products	Estándar de prueba para determinar el valor de resistencia al arco y especificación normalizada para productos de protección facial	ASTM F2178
Protección contra caídas	Standard Specification for Personal Climbing Equipment	Estándar de especificación para equipos contra caídas	ASTM F887
Calzado — Especificación dieléctrica	Standard Specification for Dielectric Footwear	Estándar de especificación para calzado dieléctrico	ASTM F1117
Calzado — Método de prueba dieléctrica	Standard Test Method for Determining Dielectric Strength of Dielectric Footwear	Estándar de prueba para determinar la resistencia dieléctrica del calzado dieléctrico	ASTM F1116
Calzado — Estándar de especificación de desempeño	Standard Specification for Performance Requirements for Protective (Safety) Toe Cap Footwear	Estándar de especificación de requerimientos de desempeño para el calzado de protección (seguridad) con puntera	ASTM F2413
Calzado — Estándar de método de prueba	Standard Test Methods for Foot Protection	Estándar de métodos de prueba para protecciones de los pies	ASTM F2412
Guantes — Protectores de cuero	Standard Specification for Leather Protectors for Rubber Insulating Gloves and Mittens	Estándar de especificación para protectores de cuero para mitones y guantes de goma aislantes	ASTM F696
Guantes — Aislamiento de hule	Standard Specification for Rubber Insulating Gloves, 2002a (R 2006)	Estándar de especificación para guantes de goma aislantes	ASTM D120
Guantes y mangas — Cuidado en servicio	Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves	Estándar de especificación para el cuidado en servicio de guantes y mangas aislantes	ASTM F496
Protección de la cabeza — Cascos	Requirements for Protective Headwear for Industrial Workers	Requerimientos para la protección de la cabeza para de trabajadores industriales	ANSI Z89.1
Prendas impermeables — resistentes al arco	Standard Specification for Arc and Flame Resistant Rainwear	Estándar de especificación para prendas impermeables resistentes a llamas y arcos	ASTM F1891
Productos protectores de hule — Inspección visual	Standard Guide for Visual Inspection of Electrical Protective Rubber Products	Estándar guía para la inspección visual de productos de goma para protección eléctrica	ASTM F1236
Mangas — Aislantes	Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves	Estándar de especificación para mangas de hule aislantes	ASTM D1051

Fuente: NFPA. *Norma para la seguridad eléctrica en lugares de trabajo*. 70E. p 33.

Según el artículo 205.3 de la Norma NFPA 70E, los equipos eléctricos y equipo de protección personal deben recibir mantenimiento adecuado, según

las normas del fabricante, y el dueño es el responsable. Lo anterior se debe realizar con el fin de reducir la probabilidad y severidad de las fallas.

Dentro de los equipos de seguridad y protección personal se deben considerar por lo menos los siguientes: equipos de puesta a tierra, pértigas, guantes y mangas de caucho, instrumentos de prueba, mantas y equipos de aislamiento, mallas, barreras de protección, interruptores automáticos, unidades de iluminación, equipo de puesta a tierra temporal, calzado dieléctrico, vestimenta de protección y herramientas de mano aisladas y aislantes. A todo el equipo mencionado se debe realizar una inspección tanto visual como pruebas que constaten su funcionamiento adecuado, previo a su uso.

2.3.2. Normas europeas

Según la página web de la Comisión Electrotécnica Internacional, se describe así misma como una organización a nivel mundial encargada de publicar normas relacionadas a toda tecnología eléctrica, electrónica y ramas afines. Dicha organización se conforma de 84 países miembros y 85 países en desarrollo afiliados, para un total de 169 países¹⁷.

La IEC (denominada así por sus siglas en inglés) se encarga además de elaborar documentos técnicos y llevar a cabo diferentes pruebas tanto a equipos como materiales. Lo anterior se realiza con el fin de que los equipos y material utilizados sean seguros y cumplan con las especificaciones técnicas para ser utilizados.

Las Normas de IEC se basan en el consenso de varios expertos de diferentes países alrededor del mundo. Se elabora un informe con todos los

¹⁷ Comisión Electrotécnica Internacional. *Información de la institución*. p 1.

argumentos científicos. Al llegar a un acuerdo, se realiza una votación y finalmente se publica.

IEC elabora normas para proteger tanto a personas como a animales y equipos. Lo anterior se realiza con el fin de brindar mayor calidad al proceso de diseño y fabricación, así como la operación y uso de los mismos.

La siguiente tabla muestra las normas IEC más ampliamente utilizadas en la rama eléctrica:

Tabla VII. **Normas IEC**

Norma:	Descripción:
IEC 60027	Simbología en electrotecnia
IEC 60034	Máquinas eléctricas rotativas
IEC 60035	Seguridad eléctrica en electrodomésticos
IEC 60038	Tensiones nominales para uso en sistemas de suministro en baja y alta tensión
IEC 60228	Conductores de cables aislados
IEC 60309	Tomacorrientes de uso industrial
IEC 60446	Identificación de conductores eléctricos
IEC 60601	Seguridad en equipo biomédico
IEC 60870	Monitoreo de sistemas de energía, sistemas de control y comunicación asociada
IEC 60906	Tomacorrientes de uso residencial
IEC 61131	Estandarización de equipos de automatización
IEC 62196	Automóviles eléctricos y modos de recarga

Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Normas guatemaltecas

La Constitución Política de la República de Guatemala corresponde a la ley suprema que rige al Estado y todas las leyes del país. Según dicha ley suprema, desde su última reforma en 1985, el organismo ejecutivo es el ente encargado de velar por todo lo relacionado al trabajo, a través del Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

En 1961 el Congreso de la República emitió el decreto 1441, el cual corresponde al Código de Trabajo. Este código contiene todas las leyes que regulan los derechos y obligaciones de trabajadores y patronos, con el fin de crear instituciones para resolver conflictos entre ambos.

Según el Código de Trabajo, en el artículo 61 inciso d, los patronos o empleadores están obligados a brindar a sus trabajadores útiles, instrumentos o materiales necesarios para realizar un trabajo. Así mismo, en los artículos 63 y 64 del mismo código, se hace mención de que el trabajador debe conservar en buen estado los instrumentos y útiles que se le brinden para realizar el trabajo y tiene prohibido hacer uso indebido de dichas herramientas y útiles.

Según el Título V sobre la Higiene y Seguridad en el trabajo del Código de Trabajo, los empleadores deben adoptar medidas de precaución, para proteger la vida, seguridad y salud de los trabajadores. Dentro de dichas medidas se encuentra proporcionar ropa y equipo de protección adecuados, para evitar accidentes y riesgos de trabajo.

A partir del año 2014, se creó el Acuerdo Gubernativo 229-2014, el cual fue reformado posteriormente por el Acuerdo Gubernativo 33-2016. El acuerdo mencionado hace referencia al Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional,

cuyo objetivo principal es regular las condiciones de salud y seguridad ocupacional en las cuales los trabajadores ejecutan sus actividades. Dicho reglamento posee un capítulo que hace énfasis en la salud y seguridad ocupacional relacionada a la electricidad.

En dicho capítulo se hace mención de diferentes prácticas que se deben llevar a cabo con el fin de evitar cualquier tipo de accidente que provoque algún daño al personal o cualquier equipo. Se destaca que para cualquier trabajo eléctrico el personal debe contar con calzado aislante y utilizar ropa sin accesorios metálicos o inflamables.

De la misma forma, el Reglamento indica que para trabajos sin tensión se deben seguir las conocidas “5 reglas de oro”, con el fin de evitar cualquier tipo de accidente. Las reglas antes mencionadas se resumen en los siguientes pasos:

- Abrir de forma visible todas las posibles fuentes de tensión, para ello todos los elementos de conexión (interruptores, seccionadores, fusibles y cuchillas) se abren.
- Se bloquean todos los elementos de corte o conexión, para evitar la energización accidental.
- Se verifica la ausencia de tensión mediante equipo de medición.
- Se colocan puestas a tierra, las líneas de tensión y/o equipos se conectan a un potencial de tierra (punto que no está energizado), con el fin de evitar corrientes de fuga que puedan dañar al personal.
- Delimitar la zona de trabajo, con el fin de indicar a las demás personas que se está realizando un trabajo y se deben tener las consideraciones necesarias.

2.4. Tarifas energéticas reguladas y no reguladas

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) define como una tarifa al precio de la electricidad, por lo que el pliego tarifario consiste en el conjunto de precios de la electricidad, con base en algunas características específicas, basadas en el voltaje requerido por el usuario, su demanda contratada y el horario en que será consumida mayormente su potencia.

Los valores del pliego tarifario son establecidos, según el artículo 61 de la Ley General de Electricidad, por la CNEE, la cual debe velar porque las tarifas promuevan la igualdad entre consumidores y la eficiencia del sector eléctrico.

Para establecer los precios, la CNEE debe hacer una distinción entre los usuarios según su consumo energético, por ello los clasifica como usuarios regulados y no regulados.

2.4.1. Usuarios regulados

Son todos aquellos cuya demanda de potencia es menor a 100 kW, por lo que su consumo energético lo deben hacer a través de una distribuidora de energía eléctrica. Los precios de la electricidad se deben basar en los pliegos tarifarios establecidos por la CNEE.

Según su demanda de potencia, se pueden subdividir en dos categorías:

2.4.1.1. Usuarios con servicio de baja tensión simple

Su consumo de potencia es menor o igual a 11 kW. Pueden contratar la tarifa Baja Tensión Simple Social (BTSS) o Baja Tensión Simple (BTS).

2.4.1.2. Usuarios con servicio en baja o media tensión

Su consumo de potencia es superior a 11 kW. La tarifa a contratar dependerá del voltaje de suministro (baja tensión hasta 13,8 kV y media tensión hasta 69 kV) y del horario donde se encuentre su demanda máxima (horaria, fuera de punta o en punta).

2.4.2. Usuarios no regulados

Son todos aquellos cuya demanda de potencia sobrepasa los 100 kW. También son llamados grandes usuarios. Su consumo de potencia y energía deben ser pactados con una distribuidora de energía eléctrica, o bien, mediante una entidad comercializadora. Si para satisfacer su consumo hacen uso de las instalaciones de la red de distribución, se le deberá pagar a la distribuidora por el uso de la red o peaje en función de transportista.

2.4.3. Tipos de tarifas

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece que existen diferentes tipos de tarifas, para los usuarios regulados.

2.4.3.1. Tarifa social

Representa una tarifa especial con enfoque social, dedicada a las personas que consumen una cantidad de energía menor o igual a 300 kWh durante un mes.

2.4.3.2. Tarifa horaria

Según el artículo 87 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, se refiere a aquellas en que un medidor discrimina el consumo por horas, obteniendo precios distintos por energía. Se distinguen tres bandas horarias: máxima demanda (punta), media (intermedia) y mínima (valle).

El horario de esta tarifa corresponde al período comprendido entre las 6:00 hasta las 17:59:59 horas de un mismo día.

2.4.3.2.1. Tarifa con demanda intermedia

Se utiliza para aquellos usuarios cuya demanda es superior a 11 kW y su potencia máxima ocurre entre el período de máxima y mínima demanda energética del país.

El horario de esta tarifa corresponde al período comprendido entre las 06:00 horas hasta las 17:59:59 horas de un mismo día.

2.4.3.2.2. Tarifa con demanda en punta

Se utiliza para aquellos usuarios cuya demanda de potencia es mayor a 11 kW y su potencia máxima se encuentra dentro del horario de mayor demanda energética del país.

El horario de esta tarifa corresponde al período comprendido entre las 18:00 hasta las 21:59:59 horas de un mismo día.

2.4.3.2.3. Tarifa con demanda fuera de punta

Se utiliza para aquellos usuarios cuya demanda es superior a 11 kW y su potencia máxima ocurre en el período de mínima demanda energética del país.

El horario de esta tarifa corresponde al período comprendido entre las 22:00 horas de un día hasta las 5:59:59 horas del día siguiente.

A continuación, se puede observar el pliego tarifario de la Empresa Eléctrica de Guatemala, correspondiente al mes de marzo del año 2018, el cual fue aprobado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, mediante la resolución CNEE-31-2018 y CNEE-32-2018. En el pliego se encuentran desglosados cada uno de los cargos en quetzales, según la tarifa que corresponda a cada usuario. Los valores del mismo no incluyen IVA, ni la tasa municipal de alumbrado público.

Figura 26. **Pliego tarifario de usuarios regulados. EEGSA - Marzo 2018**

RESOLUCIÓN	CNEE-31-2018 CNEE-32-2018
Tarifa: Social - TS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	10.475954
Cargo por Energía (Q/kWh)	1.079886
Tarifa: Baja Tension Simple - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	10.475954
Cargo por Energía (Q/kWh)	1.113724
Tarifa: Baja Tension con demanda fuera de punta - BTDFp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.717585
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22.814424
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	29.406222
Tarifa: Baja Tension con demanda en punta - BTDP	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.714094
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	49.877313
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	78.830934
Tarifa: Media Tension con demanda fuera de punta - MTDFp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.670935
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	26.292048
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	12.186611
Tarifa: Media Tension con demanda en punta - MTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.668928
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	24.473275
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	12.489701
Tarifa: Baja Tension Horaria - BTH	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	0.723839
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	0.722795
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	0.687597
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	27.389026
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	42.356278
Tarifa: Media Tension Horaria - MTH	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	0.678131
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	0.677146
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	0.643923
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	27.466331
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	14.313988
Tarifa: Alumbrado público - AP	Valor
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.212666
Tarifa: Peaje en función de transportista Baja Tension - PBT	Valor
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.053338
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.05326
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.05064
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	80.161179
Tarifa: Peaje en función de transportista Media Tension - PMT	Valor
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.013117
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.013098
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.012453
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	24.027946

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Pliegos tarifarios*.

<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php> Consulta: 2018.

3. EJERCICIOS Y LABORATORIOS VIRTUALES

La siguiente fase del método constructivista, luego de adquirir los conceptos básicos o elementales del tema, consiste en la explicación y aplicación de los conceptos, a través de ejemplos brindados por el catedrático. Lo anterior permitirá al estudiante analizar y profundizar los conceptos por medio de la realización de laboratorios virtuales.

La combinación de la explicación por parte del catedrático, junto con la adquisición previa de información por parte del estudiante, permitirá al mismo desarrollar ejercicios y laboratorios virtuales, cuyo nivel de dificultad incrementa paulatinamente.

3.1. Fasores

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema fasores.

3.1.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema fasores se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/yQwuGb1nIU>.

3.1.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: determinar la forma en que se pueden representar los fasores y las operaciones básicas que se pueden realizar con ellos.

Los fasores se pueden representar de varias formas, pero generalmente se pueden expresar en notación compleja o en notación angular.

Notación angular	Notación compleja
$V = \bar{V} \angle \theta$	$V = A + j B$

Para la conversión de la forma angular a la forma compleja:

$$V = \bar{V} \angle \theta = \bar{V} \cos \theta + j \bar{V} \sin \theta$$

Para la conversión de la forma compleja a la forma angular:

$$V = A + j B$$

$$\bar{V} = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A}$$

Las operaciones con fasores se realizan de la siguiente forma:

$$A = \bar{A} \angle \theta = A_x + j A_y \quad ; \quad B = \bar{B} \angle \alpha = B_x + j B_y$$

$$A \pm B = (\bar{A}_x + \bar{B}_x) \pm j (\bar{A}_y + \bar{B}_y)$$

$$A \times B = |\bar{A}| \times |\bar{B}| \angle \theta + \alpha$$

$$\frac{A}{B} = \frac{|\bar{A}|}{|\bar{B}|} \angle \theta - \alpha$$

Conclusión:

Los fasores se pueden representar de forma compleja o de forma angular, al representar cantidades mediante un número real y otro imaginario, las operaciones básicas con fasores se realizan siguiendo las reglas de números complejos.

3.1.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 1: análisis de la notación y operaciones con fasores.

Objetivo general:

- Analizar la forma en que se pueden representar los fasores y las operaciones entre ellos.

Objetivos específicos:

- Representar en notación compleja un fasor en forma polar.
- Representar en notación polar un fasor en forma compleja.
- Realizar suma de impedancias.
- Obtener la corriente que circula por una impedancia, dado una fuente de voltaje.
- Medir en Multisim los parámetros calculados teóricamente.

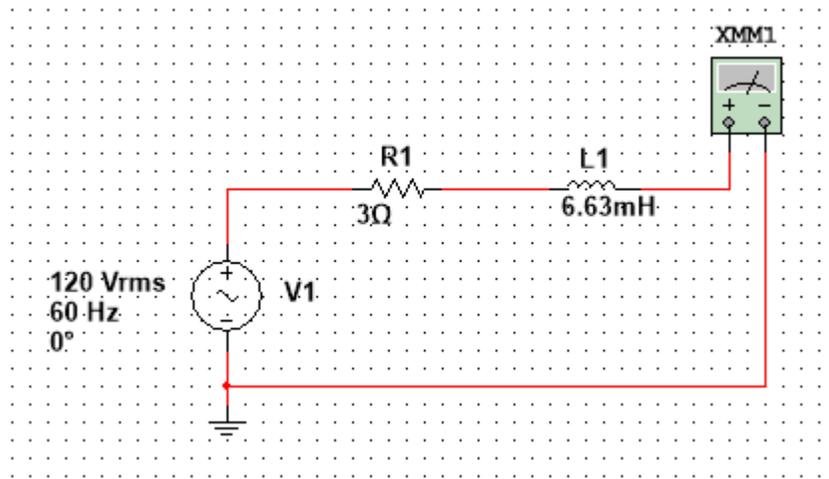
Generalidades:

Para representar un fasor de forma polar se debe determinar la magnitud y ángulo del fasor en forma compleja, o bien, para encontrar la forma compleja, se debe separar en sus respectivas componentes el fasor en forma polar. Así mismo, para las operaciones básicas se deben seguir las reglas para operar números complejos.

Instrucciones:

Dado el circuito, se realiza lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica. Debe recordarse que las cargas están dadas en Ohmios.

Figura 27. Circuito de laboratorio núm. 1



Fuente: elaboración propia.

- Escribir los siguientes valores en notación angular a notación compleja y viceversa:
 - $A = 3 + j2,5 \Omega$
 - $B = 5,18 \angle -36,87^\circ \Omega$
 - $C = -j10 \Omega$
- Determinar la corriente si el circuito mostrado al inicio cuenta únicamente con la impedancia A, luego se agrega la impedancia B y finalmente se agrega la impedancia C.
- Determinar la impedancia total del sistema.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Qué sucede con la corriente al aumentar la impedancia?
 - ¿Aumenta o disminuye la impedancia, al momento de agregar la segunda impedancia?

- ¿Cómo se comporta el sistema al obtener una carga capacitiva y una carga inductiva en serie?
- Realizar una tabla de Excel que incluya: el valor del voltaje, impedancia y corriente para cada etapa.
- Comparar los resultados obtenidos teóricamente y los medidos en la tabla de Excel. Encontrar el porcentaje de error.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.2. Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados.

3.2.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados se puede apreciar del siguiente link: https://youtu.be/5n0_qrzASOc.

3.2.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: analizar el comportamiento de la corriente en un circuito RLC.

Si se tiene un circuito RLC, conformado por una resistencia, una inductancia y un capacitor, cuyos valores son 25 Ω , 30 mH y 80 μ F respectivamente. Determinar la magnitud y ángulo de la corriente si el circuito está conectado a una fuente de 120 V $\angle 0^\circ$.

El primer paso para resolver el ejercicio es determinar la impedancia del circuito, para ello se deben convertir los valores de inductancia y capacitancia a valores óhmicos.

$$X_L = j 2\pi fL = j 2 * \pi * 60 * 0,03 = j11,31 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{j 2\pi fC} = \frac{1}{j 2\pi * 60 * 8 * 10^{-6}} = -j33,16 \Omega$$

Se determina luego la reactancia equivalente, la cual está formada por la suma de efectos inductivos y capacitivos.

$$X = X_L + X_C = j11,31 - j33,16 = -j21,85 \Omega$$

En seguida se procede a determinar la impedancia del circuito.

$$Z = R + X = 25 - j21,85 \Omega$$

O bien se puede representar según la notación angular:

$$Z = \sqrt{25^2 + 21,85^2} = 33,20 \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} = \tan^{-1} \frac{21,85}{25} = 41,15^\circ$$

A continuación, se procede a determinar la magnitud y desfase de la corriente:

$$i = \frac{V}{Z} = \frac{120 \angle 0^\circ}{33,20 \angle -41,15^\circ} = 3,61 \angle 41,15^\circ \text{ A}$$

$$i = 3,61 \angle 41,15^\circ \text{ A}$$

Conclusión:

Se obtiene una corriente en adelanto respecto del voltaje. Lo anterior sucede debido a que la carga capacitiva X_C predomina sobre la carga inductiva X_L . Debido a que la magnitud de la carga resistiva es muy parecida a la carga reactiva, se observa que el desfase entre la corriente y el voltaje es cercano a 45° .

3.2.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 2: análisis del voltaje, corriente e impedancia en un circuito.

Objetivo general:

- Analizar el comportamiento del voltaje, corriente e impedancia en un circuito.

Objetivos específicos:

- Determinar la impedancia total de un circuito.
- Determinar el efecto de las cargas resistivas, inductivas y capacitivas sobre la corriente.
- Obtener el diagrama fasorial de un circuito.
- Medir en Multisim los parámetros calculados teóricamente.

Generalidades:

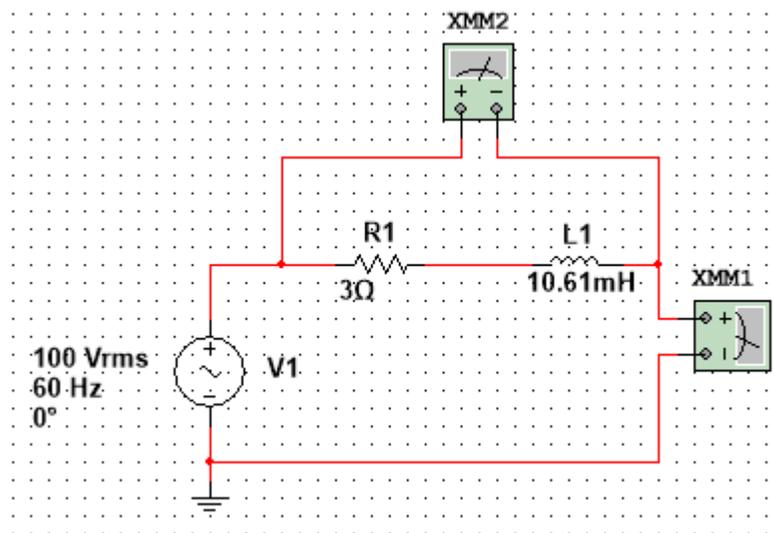
El comportamiento de la corriente en un circuito depende principalmente del tipo de carga que alimente. Las cargas resistivas no producirán ningún

desfase, mientras que las cargas capacitivas e inductivas generarán un adelanto o atraso, respectivamente, de la corriente frente al voltaje.

Instrucciones:

Dado el circuito, realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

Figura 28. **Circuito de laboratorio núm. 2**



Fuente: elaboración propia.

- Determinar la corriente (en magnitud y ángulo) que circula en un circuito RL, cuya impedancia es $Z = 3 + j 4 \Omega$. El voltaje eficaz aplicado al sistema es de $100 \text{ V} \angle 0^\circ$.
- Luego se agrega una carga de 10Ω y $200 \mu\text{F}$ de capacitancia.
- Determinar la impedancia total del sistema.

- Si se desea eliminar el efecto capacitivo de la carga, ¿cuál debe ser el valor en H de la inductancia?
- Graficar los fasores de voltaje, corriente e impedancia de los incisos anteriores.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿La corriente del inciso 1 se encuentra en atraso o adelanto?
 - ¿Qué sucede con la magnitud y desfase de la corriente en el inciso 2?
 - ¿Cómo se comporta el voltaje en cada inciso?
- Realizar una tabla de Excel que incluya: el valor del voltaje, impedancia y corriente para cada etapa.
- Comparar los resultados obtenidos teóricamente y los medidos en la tabla de Excel. Encontrar el porcentaje de error.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.3. Potencia compleja

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema potencia compleja.

3.3.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema potencia compleja se puede apreciar del siguiente link: https://youtu.be/W2-9Ryzds_E.

3.3.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: determinar las componentes real y reactiva, así como la potencia aparente que consume una carga RL.

Se determinará la potencia activa, reactiva y aparente del sistema conformado por una fuente que entrega $141,42 \text{ sen}(wt + 0^\circ)$. Dicha fuente se encarga de alimentar a una carga de $Z = 3 + j4 \Omega$.

Primero se procede a convertir el voltaje a un valor eficaz, para ello se divide la magnitud dentro de $\sqrt{2}$ para obtener el valor eficaz o RMS:

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{2}} = \frac{141,42}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V } \angle 0^\circ$$

El ángulo de desfase se obtiene a partir del ángulo dentro de la función senoidal o cosenoidal.

En segundo lugar, se debe encontrar el valor de la corriente, para ello:

$$Z = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \Omega$$
$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} = \tan^{-1} \frac{4}{3} = 53,13^\circ$$
$$i = \frac{V}{Z} = \frac{100 \angle 0^\circ}{5 \angle 53,13^\circ} = 20 \angle -53,13^\circ \text{ A}$$

Por ser una carga de tipo RL la corriente se encuentra atrasada respecto al voltaje. Luego se procede a calcular todas las potencias:

$$P = V I \cos \theta = 100 * 20 * \cos 53,13^\circ = 1\ 200\ W$$

$$Q = V I \sin \theta = 100 * 20 * \sin 53,13^\circ = 1\ 600\ VAr$$

$$S = 1\ 200 + j1\ 600\ VA$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1\ 200^2 + 1\ 600^2} = 2\ 000\ VA$$

$$S = 1\ 200 + j1\ 600\ VA = 2\ 000\ VA \angle 53,13^\circ$$

Conclusión:

Al suministrar 100 V eficaces a una carga tipo RL, se obtendrá una corriente en atraso, ya que la inductancia almacena energía en forma de campo magnético. Sin embargo, al calcular las potencias se debe utilizar el valor de ángulo conjugado, en pocas palabras se debe cambiar de signo. Para obtener la potencia aparente se debe recordar que se puede determinar encontrando la magnitud a partir de sus componentes real y reactiva.

3.3.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 3: análisis de la potencia compleja en un circuito.

Objetivo general:

- Analizar el comportamiento de la potencia aparente, real y reactiva en un circuito.

Objetivos específicos:

- Determinar la potencia que consume un circuito.

- Separar la potencia en sus respectivas componentes activa y reactiva.
- Determinar si la potencia se encuentra en atraso o adelanto.
- Medir en Multisim los parámetros calculados teóricamente.

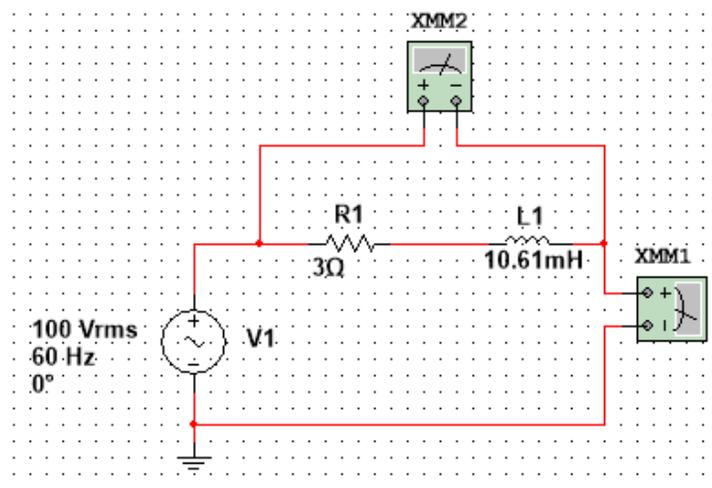
Generalidades:

La potencia de un circuito se encuentra en función del tipo de carga, de forma que una carga resistiva consumirá potencia real o activa, mientras que una carga inductiva o capacitiva, consumirán respectivamente potencia reactiva en atraso o adelanto.

Instrucciones:

Dado el circuito, realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

Figura 29. **Circuito de laboratorio núm. 3**



Fuente: elaboración propia.

- A partir de un circuito RC, conformado por una resistencia $R = 50 \Omega$ y capacitancia $C = 100 \mu\text{F}$, determinar la potencia activa, reactiva y aparente, si el sistema está conectado a una fuente de voltaje $100 \text{ V} \angle 0^\circ$ eficaces.
- Se desea obtener la potencia aparente, real y reactiva de otro circuito, el cual se encuentra alimentado con $100 \text{ V} \angle 0^\circ$ eficaces. Dicho circuito posee una carga de $R = 25 \Omega$ e inductancia = 80 mH.
- Si ambas cargas son alimentadas con la misma fuente, ¿cuál es la potencia consumida?
- Para la simulación en Multisim, utilizar el Wattmeter para determinar la potencia de cada circuito.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Qué diferencias existen entre los incisos 1 y 2?
 - ¿Qué sucede al unir ambas cargas?
 - ¿Cómo se comporta la potencia en cada inciso? ¿Se encuentra en atraso o adelanto?
- Realizar una tabla de Excel que incluya: el valor de la potencia aparente, real y reactiva para cada etapa.
- Comparar los resultados obtenidos teóricamente y los medidos en la tabla de Excel. Encontrar el porcentaje de error.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.4. Triángulo de potencia

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema triángulo de potencia.

3.4.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema triángulo de potencia se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/V3k7w-qxvw0>.

3.4.2. Ejercicios de análisis

Objetivo: determinar el triángulo de potencia de una industria, cuyas cargas son tres motores que realizan todo el proceso productivo.

En cierta industria se poseen varios equipos cuyas potencias son las siguientes:

$$M1 \rightarrow S_1 = 125 + j216,5 \text{ VA}$$

$$M2 \rightarrow S_2 = 300 \text{ VA } \angle 19,47^\circ \text{ en adelante}$$

$$M3 \rightarrow S_3 = 180 \text{ VA } \angle 0^\circ$$

En primer lugar, se debe recordar que la potencia compleja está compuesta por la potencia real P , que es aquella que se consume, y la potencia reactiva Q , la cual es aquella que requieren algunas máquinas para su funcionamiento pero que no se convierte en trabajo.

Las potencias aparentes deben descomponerse en sus componentes de potencia activa y reactiva para poder sumarse algebraicamente.

La potencia de M1 se encuentra ya en sus respectivas componentes, por lo que se continúa con M2. Es importante considerar que, como el ángulo es en adelanto, se refiere a una carga capacitiva, por lo que el ángulo se toma como negativo.

$$P = S \cos \theta = 300 \cos -19,47^\circ = 282,84 \text{ W}$$

$$Q = S \sin \theta = 300 \sin -19,47^\circ = -99,99 \text{ VA}$$

Por lo tanto:

$$M2 \rightarrow S_2 = 282,84 - j99,99 \text{ VA}$$

Para el equipo núm. 3 se puede observar que la potencia aparente S_3 posee un ángulo de desfase de 0° , lo cual indica que la carga es netamente resistiva, por lo que la potencia reactiva es igual a cero.

$$M3 \rightarrow S_3 = 180 + j0 \text{ VA}$$

Por último, se procede a sumar algebraicamente cada una de las potencias.

$$M1 \rightarrow S_1 = 125 + j216,5 \text{ VA}$$

$$M2 \rightarrow S_2 = 282,84 - j99,99 \text{ VA}$$

$$\oplus \quad M3 \rightarrow S_3 = 180,00 + j 0,00 \text{ VA}$$

$$S_T = 587,84 + j 116,51 \text{ VA}$$

La potencia total consumida por los tres equipos es:

$$P_T = 587,84 \text{ W}$$

La potencia total reactiva, requerida para el funcionamiento de los equipos es:

$$Q_T = 116,51 \text{ VA}$$

Finalmente, la potencia aparente del sistema se obtiene de la siguiente forma:

$$S_T = \sqrt{587,84^2 + 116,51^2} = 599,27 \text{ VA}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{116,51}{587,84} = 11,21^\circ \text{ en atraso}$$

$$S_T = 599,27 \text{ VA} \angle 11,21^\circ \text{ en atraso}$$

Figura 30. **Triángulo de potencia**



Fuente: *Calculadora de triángulos online*. <http://triancal.esy.es/> Consulta: 2018.

Conclusión:

El triángulo de potencia de la industria está compuesto por 587,84 W, los cuales son consumidos directamente para producir trabajo, 116,51 Var, los cuales se utilizan para producir el campo magnético para el funcionamiento de los motores. Lo anterior da como resultado aproximadamente 600 VA de potencia aparente. Se puede apreciar que la industria posee una eficiencia bastante alta, ya que la mayor parte de la potencia se consume como potencia útil.

3.4.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 4: análisis del triángulo de potencia en un circuito.

Objetivo general:

- Analizar el comportamiento de la potencia aparente, real y reactiva mediante el triángulo de potencia.

Objetivos específicos:

- Determinar la potencia real que consume un equipo.
- Determinar la potencia reactiva consumida.
- Calcular la potencia aparente a partir de la potencia real y reactiva.
- Medir en Multisim los parámetros calculados teóricamente.

Generalidades:

El triángulo de potencia es una representación gráfica del comportamiento de las potencias real, reactiva y aparente. A partir de dos elementos, ya sea cualquiera de las potencias o el ángulo de desfase, es posible construir el triángulo de potencia y determinar los demás elementos.

Instrucciones:

Dadas las cargas, realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- Dibujar el triángulo de potencia para cada una de las siguientes cargas:
 - A: 250 VA, $\angle 60^\circ$ en atraso

- B: 180 W, $\angle 36,87^\circ$ en adelanto
 - C: 100 VAr en retraso
- Si las cargas del inciso anterior pertenecen al mismo sistema, determinar la potencia aparente y dibujar el triángulo de potencia del sistema.
 - Para la simulación en Multisim, utilizar el Wattmeter para determinar la potencia de cada circuito.
 - Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Qué diferencias existen entre las cargas A, B y C?
 - ¿Qué sucede al alimentar las tres cargas con la misma fuente?
 - ¿Cómo se comporta la potencia en cada inciso? ¿Se encuentra en atraso o adelanto?
 - ¿Qué características presenta el triángulo de potencia del segundo inciso ?
 - Realizar una tabla de Excel que incluya: el valor de la potencia aparente, real y reactiva para cada etapa.
 - Comparar los triángulos de cada carga y el triángulo de las tres cargas juntas.
 - Comparar los resultados obtenidos teóricamente y los medidos en la tabla de Excel. Encontrar el porcentaje de error.
 - Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.5. Factor de potencia

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema factor de potencia.

3.5.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema factor de potencia se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/Ds8km-6KAHA>.

3.5.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: determinar el factor de potencia de cierta industria y analizar si se debe realizar algún ajuste para mejorar el bajo factor de potencia, en caso de ser necesario.

En una industria se tienen las siguientes cargas: 5 kW con factor de potencia 0,8 en atraso, la segunda carga tiene una potencia en placa de 4 kVA y se ha determinado que la potencia reactiva es de 2 kVAr en adelanto, y finalmente la última carga es de 6 kVA con factor de potencia 0,9 en retraso.

Para determinar el factor de potencia global de la industria se debe encontrar la potencia aparente de cada una de las cargas en sus componentes activa y reactiva. Para ello se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$FP = \cos \theta$$
$$\tan \theta = \frac{Q}{P}$$
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Carga núm. 1:

$$\theta = \cos^{-1} FP = \cos^{-1} 0,8 = 36,87^\circ$$

$$Q = P \tan \theta = 5 \tan 36,87^\circ = 3,75 \text{ kVAr}$$

$$S = 5 + j3,75 \text{ kVA}$$

Carga núm. 2:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \rightarrow P = \sqrt{S^2 - Q^2} = 3,46 \text{ kW}$$

$$S = 3,46 - j2 \text{ kVA}$$

Carga núm. 3:

$$P = S \cos \theta = 6 * 0,9 = 5,4 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{6^2 - 5,4^2} = 2,62 \text{ kVAr}$$

$$S = 5,4 + j2,62 \text{ kVA}$$

Total del sistema:

$$C1 \rightarrow S_1 = 5,00 + j3,75 \text{ VA}$$

$$C2 \rightarrow S_2 = 3,46 - j2,00 \text{ VA}$$

$$\oplus \quad C3 \rightarrow S_3 = 5,40 + j 2,62 \text{ VA}$$

$$S_T = 13,86 + j 4,37 \text{ VA}$$

Luego se procede a determinar el factor de potencia:

$$\tan \theta = \frac{Q}{P} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{4,37}{13,86} = 17,50^\circ$$

$$FP = \cos \theta = \cos 17,5 = 0,95 \text{ retraso}$$

Conclusión:

La industria posee un factor de potencia de 0,95, es decir que su proceso está compuesto de una alta carga resistiva, que se transforma en energía útil para realizar un trabajo. Sin embargo, posee en menor cantidad potencia reactiva, la cual es utilizada para el funcionamiento de cada uno de los motores. No se requerirá ningún tipo de ajuste a la carga por bajo factor de potencia, ya que es 0,95 y supera el 0,9 mínimo que se requiere, según la normativa para industrias con carga mayor a 11 kW.

3.5.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 5: análisis del factor de potencia en un circuito.

Objetivo general:

- Analizar el comportamiento del factor de potencia bajo distintos tipos de cargas.

Objetivos específicos:

- Determinar el factor de potencia.
- Describir las formas en las que se puede mejorar el factor de potencia.
- Diferenciar el factor de potencia en adelanto y en atraso.

Generalidades:

El factor de potencia es una medida de la eficiencia con que se consume la potencia, ya que la potencia real o activa es aquella que se transforma en

potencia útil, mientras que la potencia reactiva se utiliza para el funcionamiento de equipo, sin embargo, no es útil para realizar un trabajo.

Instrucciones:

Dadas las cargas, realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- Determinar la capacitancia en μF que se le debe agregar a un sistema, cuya potencia es de 4 500 VA y factor de potencia de 0,75 en atraso, para que el factor de potencia sea 0,9 en atraso. El voltaje aplicado al sistema es de 240 V, con una frecuencia de 60 Hz.
- Si se desea que el factor de potencia del inciso anterior sea en adelanto, ¿cuál debe ser la carga que se debe aplicar?
- Si al problema del inciso 1 se le agrega una carga de un motor de $\frac{3}{4}$ de HP, con factor de potencia 0,95, determinar el factor de potencia resultante.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Qué diferencias existen entre el factor de potencia en adelanto y atraso?
 - ¿Cómo se comporta un sistema al agregar una carga capacitiva?
 - ¿Cómo se comporta un sistema al agregar factor de potencia cercano a 1?
 - ¿Qué otras formas existen de mejorar un factor de potencia?

- Realizar una tabla de Excel que incluya: el valor de la potencia aparente, real y reactiva, además de ello incluir las gráficas del triángulo de potencia de los incisos 1, 2 y 3.
- Comparar el factor de potencia del inciso 1, 2 y 3.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.6. Ahorro energético con motores utilizados en la industria

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema ahorro energético con motores utilizados en la industria.

3.6.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema ahorro energético con motores utilizados en la industria se puede apreciar del siguiente link:
<https://youtu.be/AWQnaw8rntl>.

3.6.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: determinar la forma de arranque secuencial óptimo para obtener un ahorro energético significativo.

Una industria cuenta con la siguiente serie de máquinas para su funcionamiento:

Tabla VIII. **Ejercicio de arranque de motores**

Máquina	Potencia Nominal HP	Código de Arranque	Tipo de Arranque
M1	50	A	Directo
M2	30	C	Estrella-delta
M3	10	D	Directo
M4	20	J	Electrónico
M5	35	K	Estrella-delta

Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, se debe tomar en cuenta que un arranque secuencial es una de las acciones que debe tomar en cuenta cualquier compañía para tener un ahorro en su consumo energético. Existen diversas formas de arrancar motores o cualquier maquinaria, esto puede ser observado en las placas de los motores, así como sus diferentes características.

El código de arranque indica el factor por el cual debe multiplicarse la potencia nominal en HP de cualquier máquina para obtener la potencia de arranque. Este factor realiza la conversión de unidades de HP a kW. Los códigos pueden observarse en la siguiente imagen:

Figura 31. **Código de arranque de motores**

Code Letter	Kilovolt-Ampere per Horsepower with Locked Rotor	Code Letter	Kilovolt-Ampere per Horsepower with Locked Rotor
A	0 - 3.14	L	9.0 - 9.99
B	3.15 - 3.54	M	10.0 - 11.19
C	3.55 - 3.99	N	11.2 - 12.49
D	4.0 - 4.49	P	12.5 - 13.99
E	4.5 - 4.99	R	14.0 - 15.99
F	5.0 - 5.59	S	16.0 - 17.99
G	5.6 - 6.29	T	18.0 - 19.99
H	6.3 - 7.09	U	20.0 - 22.39
J	7.1 - 7.99	V	22.4 and up
K	8.0 - 8.99		

Fuente: *NEMA locked rotor design code letters*. https://www.engineeringtoolbox.com/locked-rotor-code-d_917.html Consulta: 2018.

Es muy importante considerar el tipo de arranque que se utilizará, ya que un arranque directo se refiere a conectar una máquina directamente a la tensión, lo cual puede provocar una elevada corriente de arranque. Sin embargo, si se utiliza un arranque tipo estrella-delta se logra reducir la potencia de arranque a 1/3 del valor nominal, este tipo de arranque solo se puede realizar en aquellas máquinas que así lo dispongan en su placa característica. Además de ello existe un tercer tipo de arranque, electrónico, en el cual se utiliza un variador de frecuencia que permite arrancar y detener un motor de forma gradual. Con este último, el arranque se produce a su potencia nominal, es decir, sin ningún tipo de arranque.

Luego se procede a determinar la potencia según su tipo de arranque:

$$P_{M1} = 50 * 3,14 = 157 \text{ kW}$$

$$P_{M2} = \frac{30 * 3,99}{3} = 39,9 \text{ kW}$$

$$P_{M3} = 10 * 4,49 = 44,9 \text{ kW}$$

$$P_{M4} = 20 * 0,746 = 14,92 \text{ kW} (*)$$

$$P_{M5} = \frac{35 * 8,99}{3} = 104,88 \text{ kW}$$

Para el motor M4 no se multiplicó por el valor de su código de arranque, ya que se tiene un arranque tipo electrónico, en que la maquinaria arranca a su potencia nominal. Sin embargo, al estar todos los datos en kW se procedió a convertir el valor en HP a kW por medio de un factor de conversión de 0,746.

Luego se procede a ordenar las potencias y establecer la secuencia de arranque. El criterio que se debe tomar, según lo expuesto en el marco teórico, es ordenar las potencias de mayor a menor con base en su potencia de arranque. Si dos o más potencias tienen el mismo valor de arranque, se debe

tomar primero aquella que tenga menor potencia nominal. Siguiendo el criterio anterior la secuencia de arranque sería:

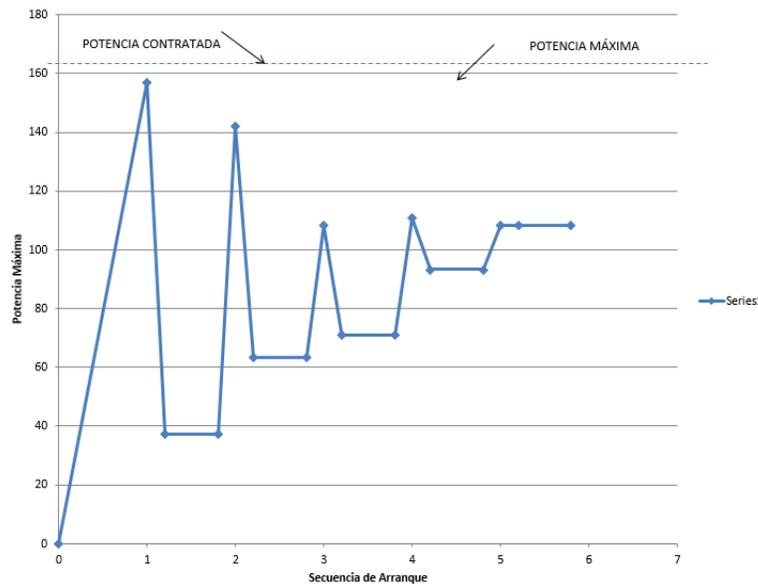
Tabla IX. **Secuencia de arranque**

Orden	Máquina	Potencia Nominal kW	Potencia de Arranque kW
1.	M1	37,30	157,00
2.	M5	26,11	104,88
3.	M3	7,46	44,90
4.	M2	22,38	39,90
5.	M4	14,92	14,92

Fuente: elaboración propia.

Luego se procede a realizar el arranque, de forma que se enciende la primera máquina y luego se espera a que alcance sus valores nominales para encender la siguiente.

Figura 32. **Secuencia de arranque de motores**



Fuente: elaboración propia.

Conclusión:

La secuencia de arranque óptima será: M1, M5, M3, M2 y por último M4. En la gráfica se puede observar que la potencia máxima con la secuencia de arranque óptima es de 157 kW, por lo que se podría contratar una potencia de 165 a 175 kW por cualquier consumo extra que se pudiese producir en la instalación. Se debe considerar una potencia mayor, ya que, si se contrata una potencia, pero en realidad se consume una mayor, existirán cargos adicionales en la factura de consumo energético.

3.6.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 6: análisis de la elección de un motor y arranque secuencial de un conjunto de motores.

Objetivo general:

- Analizar el proceso de selección de un motor y la forma de arranque secuencial.

Objetivos específicos:

- Seleccionar un motor a partir de sus características de funcionamiento.
- Diferenciar los tipos de arranque de un motor.
- Diseñar la secuencia de arranque óptima.

Generalidades:

Un motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica en energía de rotación, hoy en día los motores están presentes en prácticamente

todas las industrias, por lo que es indispensable conocer la forma de cómo deben ser tanto seleccionados como operados.

Instrucciones:

Realice lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- En un proceso industrial se necesita un agitador que gire a 3 600 RPM con un torque de 30 Nm. A partir de los datos anteriores, determinar la capacidad en HP del motor que se debe comprar, si el factor de carga es 75 %.
- Del inciso anterior determinar la potencia máxima de sobrecarga a la cual puede operar el motor, si su FS es de 1,1. Además de ello determinar la eficiencia si la potencia real entregada es de 13 kW y con ello determinar si el motor es estándar, de alta eficiencia o eficiencia *premium*.
- Determinar cuál es la forma óptima de arrancar los siguientes motores:
 - Motor 37,3 kW, 480 V, FP 0,76, Parranque = 3,05 Pn, Arranque estrella-delta.
 - Elevador 31 kW, 480 V, FP 0,8, Parranque = 7,09 Pn, Directo.
 - Motor 7,46 kW, 480 V, FP 0,77, Parranque = 8,99 Pn, electrónico.
 - Maquinaria 15,61 kW, 480 V, FP 0,7, Parranque = 8,99 Pn, Arranque Directo.
- Graficar la forma de arranque del inciso anterior e indicar la potencia máxima y la potencia contratada.

- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Qué sucede si el motor del inciso 1 gira a 1 800 RPM?
 - ¿Qué sucede si el factor de carga y el factor de servicio aumentan? ¿Qué sucede si ambos disminuyen?
 - ¿Qué se puede realizar para que el motor del inciso 1 sea de categoría *premium*?
 - ¿Cuál es la diferencia entre un arranque directo, electrónico y uno estrella-delta?
 - Si todos los motores se arrancaran directamente, ¿cuál sería la nueva secuencia de arranque?

- Realizar una tabla de Excel, para el inciso 1, que incluya: la velocidad del motor, torque, factor de carga, factor de servicio y eficiencia del motor.

- Realizar una tabla de Excel, para el inciso 3, que incluya: la potencia nominal, tipo de arranque, factor de arranque, potencia de arranque y el orden de la secuencia de arranque.

- Comparar las tablas realizadas en Excel con las modificaciones citadas en el inciso 5.

- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.7. Ahorro energético en sistemas de bombeo

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema ahorro energético en sistemas de bombeo.

3.7.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema ahorro energético en sistemas de bombeo se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/TgeWGN83ac4>.

3.7.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: determinar la eficiencia de una bomba de agua.

Una bomba de $\frac{1}{2}$ HP tarda 1 minuto en elevar 30 litros de agua a una altura de 50 metros. ¿Cuál es la eficiencia de la bomba?

En primer lugar, se deben convertir los datos a un solo sistema de unidades. En este caso se utilizará el Sistema Internacional (SI):

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \text{ HP} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}} &= 373 \text{ W} \\ 30 \text{ litros} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} &= 0,03 \text{ m}^3 \\ 1 \text{ minuto} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} &= 60 \text{ segundos}\end{aligned}$$

Luego se procede a determinar la energía potencial o trabajo que realiza la bomba para elevar los 30 litros de agua a dicha altura, para ello:

$$E_p = mgh$$

Se debe recordar que la masa del fluido se obtiene a partir de su densidad:

$$m = \rho * V = 1\,000 \frac{Kg}{m^3} * 0,03 m^3 = 30 Kg$$

Entonces:

$$E_p = 30 * 9,81 * 50 = 14\,715 \text{ Joules}$$

Para calcular la potencia o el trabajo realizado durante determinado tiempo, se procede a dividir la energía dentro del tiempo que le tomó realizarlo:

$$P_{\text{útil}} = \frac{E}{t} = \frac{14\,715}{60} = 245,25 W$$

Por último, se calcula la eficiencia de la bomba:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{teórica}}} = \frac{245,25}{373} = 65,75 \%$$

Conclusión:

La bomba realmente está funcionando a un valor cercano a dos tercios de su capacidad. Cabe recordar que las bombas se encuentran bajo la influencia de varios factores que afectan su eficiencia: todo tipo de accesorios, pérdidas por la tubería, por la velocidad a la que viaja el fluido, la distancia que recorre y el desgaste de los elementos internos o cavitación.

3.7.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 7: análisis del funcionamiento de un sistema de bombeo.

Objetivo general:

- Analizar el proceso de selección de una bomba y los factores que intervienen.

Objetivos específicos:

- Seleccionar una bomba a partir de sus características de funcionamiento.
- Determinar la carga estática total de una bomba.
- Calcular las pérdidas de fricción en tubería y accesorios.

Generalidades:

Una bomba es una máquina que transforma la energía de un motor en energía de presión o velocidad de un fluido. Los sistemas de bombeo se utilizan con el fin de transportar un fluido de un punto a otro, sin embargo, existen pérdidas asociadas al sistema debido a la fricción en accesorios y en la tubería.

Instrucciones:

Realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- En un sistema de bombeo de agua se tiene un sistema con succión positiva, el cual cuenta con una altura geométrica de descarga de 10 m y una altura geométrica de succión de 2 m. Las presiones de descarga y succión son 10 kPa y 4 kPa, respectivamente. Determinar la carga estática total.

- El sistema anterior utiliza una tubería de 4" con una longitud equivalente de 10 m, la velocidad con la que circula el agua es de 1 m/s. El factor de fricción equivalente del sistema es de 0,5. A partir de los datos anteriores se debe determinar las pérdidas por fricción.
- El sistema de bombeo del inciso 1 cuenta con algunos accesorios como 2 codos normales de 90°, 1 codo de 45° y una válvula esférica. Determinar las pérdidas en accesorios si se tienen los siguientes valores de coeficientes de fricción K:

Figura 33. **Valores de coeficientes k para diversos accesorios**

Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pie con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta, totalmente abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

Fuente: ESTRADA, Paula. *Diseño de un túnel de transporte de tabaco por corriente de aire*.

2016. Anexo 3.4. p 19.

- A partir de los incisos anteriores determinar la carga total del sistema y realizar una gráfica de esta.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Cuál es el efecto de las pérdidas de fricción? ¿Qué sucede si la velocidad aumenta a 1,5 m/s?

- ¿Qué sucede si la longitud equivalente de la tubería aumenta a 20 m? ¿Es posible que el sistema opere a dicha longitud?
 - ¿Qué se puede realizar para disminuir las pérdidas de fricción en la tubería y en accesorios?
 - ¿Es posible determinar la eficiencia de la bomba con los datos anteriores? Explicar.
- Si la bomba utiliza un motor de 15 HP con eficiencia del 80 %, ¿cuál es la eficiencia del sistema de bombeo? Tomar en cuenta la carga total obtenida, incluyendo las pérdidas del inciso 2 y 3. Aproximar el caudal a 0,010 m³/s.
 - Realizar una tabla de Excel para los incisos 1, 2, 3 y 4.
 - Comparar los resultados obtenidos de la tabla de Excel con los resultados de las modificaciones del inciso 5.
 - Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.8. Ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

3.8.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/-810TJnzBvs>.

3.8.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: analizar y determinar el coeficiente de rendimiento del siguiente ciclo de refrigeración.

Se tiene un sistema de refrigeración, el cual opera con el refrigerante R-12, que se utiliza normalmente para refrigeración doméstica o aire acondicionado automotriz. Se tienen algunos datos recopilados del proceso:

Figura 34. **Propiedades del refrigerante R12**

Tabla 1. Propiedades termodinámicas para el refrigerante R-12.					
PUNTO	PRESIÓN	TEMPERATURA	ENTALPIA	ENTROPIA	VOLUMEN
	Psia	°F	Btu/lb	Btu/lb.°F	ft ³ /lb
A	131.6	100	31.16	0.0631	0.0127
B	35.75	20	31.16	0.1354	0.06657
C	35.75	20	80.49	0.1694	1.121
D	131.6	112	90.6	0.1694	0.33
E	131.6	100	88.62	0.1658	0.319

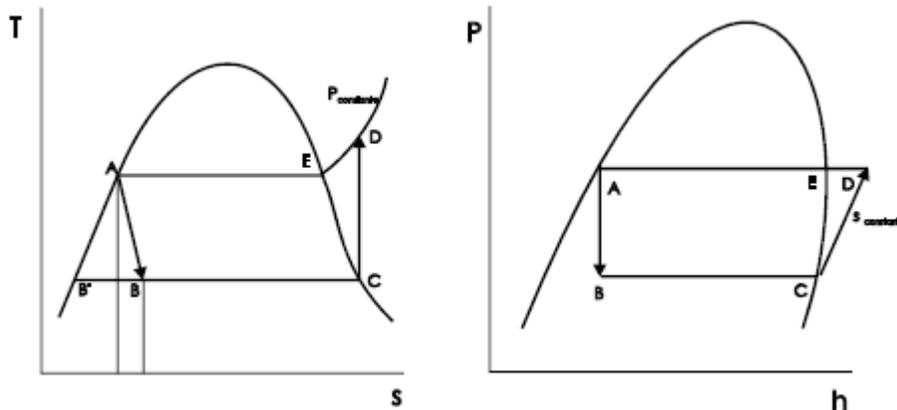
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de refrigeración*. p 5.

A partir de los diagramas de temperatura-entropía y presión-entalpía se puede determinar la posición de cada elemento:

- Válvula de expansión: A-B
- Evaporador: B-C

- Compresor: C-D
- Condensador: D-A

Figura 35. Diagramas de temperatura-entropía y presión-entalpía



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de refrigeración*. p 5.

En el punto A, el refrigerante se encuentra como líquido saturado, cuando el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión A-B. Durante este proceso la temperatura del refrigerante disminuye y el líquido se transforma en una mezcla líquido-vapor.

La vaporización del refrigerante se produce en el evaporador B-C, a temperatura y presión constante, por lo cual se tiene que el refrigerante se encuentra como vapor saturado en el punto C. Durante la vaporización el refrigerante absorbe calor, incrementando su entalpía. El efecto refrigerante representa el calor absorbido por el refrigerante en su paso por el evaporador.

$$q_e = h_c - h_a; h_a = h_b$$

$$q_e = 80,49 - 31,16 = 49,33 \text{ Btu/lb}$$

Como siguiente punto, se encuentra el proceso de compresión C-D. En esta etapa se eleva la presión de vaporización hasta alcanzar la presión de condensación. Este proceso idealmente es adiabático, es decir que no tiene pérdidas por fricción o intercambio de calor. Además de ello, el proceso es isentrópico, lo cual quiere decir que la entropía se mantiene constante.

Sin embargo, en este proceso existe trabajo mecánico del compresor sobre el refrigerante, aumentando la energía del vapor refrigerante. El trabajo del compresor por libra de refrigerante se puede determinar con la diferencia de entalpía entre los puntos:

$$q_w = h_d - h_c$$
$$q_w = 90,6 - 80,49 = 10,11 \text{ Btu/lb}$$

A su vez el trabajo mecánico del pistón sobre el vapor se obtiene multiplicando el trabajo por libra de refrigerante por el factor equivalente mecánico del calor J ($J = 778 \text{ pies/lb/Btu}$):

$$W = J * q_w$$
$$W = 778 * 10,11 = 7\ 865,68 \text{ pies} * \text{lb/lb}$$

El vapor en esta etapa se encuentra como vapor sobrecalentado, por lo cual antes de llegar al condensador debe disminuir su temperatura.

Durante el proceso de condensación se reduce la temperatura del fluido refrigerante a presión constante, las propiedades se pueden determinar según el diagrama, ya que a una presión dada se buscan los valores de entropía, entalpía, temperatura y volumen según las propiedades de cada refrigerante.

En el tramo D-E se puede determinar el calor sensible (aquel en el cual existe cambio de temperatura), que representa la energía necesaria para enfriar

el refrigerante antes de entrar al condensador. De igual forma se puede determinar el calor latente (no existe cambio de temperatura, pero se produce un cambio de estado) que representa la energía cedida al medio condensante, en el tramo E-A.

Por su parte, el calor total cedido se determina con la suma del calor latente y sensible:

$$q_c = h_d - h_a$$

$$q_c = 90,6 - 31,16 = 59,44 \text{ Btu/lb}$$

Finalmente se cierra el ciclo, si el punto final e inicial A coincide se dice que el calor absorbido en el evaporador y trabajo mecánico de compresión será igual al calor total cedido.

$$q_c = q_w + q_e$$

$$59,44 = 10,11 + 49,33 = 59,44 \text{ Btu/lb}$$

Se procede a continuación a determinar la razón de flujo másico de refrigerante que se requiere para producir una tonelada de refrigeración ($Q_E = 200 \frac{\text{Btu}}{\text{min} * \text{ton}}$).

$$\dot{m} = \frac{Q_E}{q_e}$$

$$\dot{m} = \frac{200 \frac{\text{Btu}}{\text{min} * \text{ton}}}{49,33 \text{ Btu/lb}} = 4,05 \frac{\text{lb}}{\text{min} * \text{ton}}$$

Al determinar el flujo másico se procede a calcular el flujo de calor eliminado en el condensador:

$$Q_c = \dot{m} * q_c$$

$$Q_c = 4,05 * 59,44 = 240,73 \frac{\text{Btu}}{\text{min} * \text{ton}}$$

Luego se procede a determinar el trabajo de compresión mediante:

$$Q_w = \dot{m} * q_w = \dot{m} * (h_d - h_c)$$

$$Q_w = 4,05 * (90,6 - 80,49) = 40,95 \frac{Btu}{min * ton}$$

$$W = J * Q_w$$

$$W = 778 * 40,95 = 31\,855,60 \frac{pies - lb}{min * ton}$$

La potencia teórica requerida para comprimir el vapor por tonelada de refrigeración en HP/ton, en el cual el sistema es 100 % eficiente:

$$P_t = \frac{W}{3\,300}$$

$$P_t = \frac{31\,855,60}{3\,300} = 9,65 \frac{HP}{ton}$$

La potencia real requerida será 30 % a 50 % mayor que la potencia teórica.

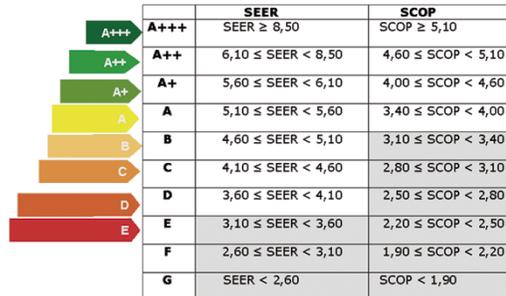
La eficiencia de un ciclo de refrigeración se puede obtener mediante el Coeficiente de Rendimiento (COP), que se obtiene de la relación entre el calor absorbido y la energía suministrada por el compresor.

$$COP = \frac{\text{Efecto refrigerante}}{\text{Calor de compresión}} = \frac{q_e}{q_w} = \frac{h_c - h_a}{h_d - h_c}$$

$$COP = \frac{49,33}{10,11} = 4,88$$

A continuación, se presenta la clasificación de los sistemas de refrigeración, según su coeficiente de rendimiento.

Figura 36. **Clasificación de eficiencia en ciclos de refrigeración**



	SEER	SCOP
A+++	SEER ≥ 8,50	SCOP ≥ 5,10
A++	6,10 ≤ SEER < 8,50	4,60 ≤ SCOP < 5,10
A+	5,60 ≤ SEER < 6,10	4,00 ≤ SCOP < 4,60
A	5,10 ≤ SEER < 5,60	3,40 ≤ SCOP < 4,00
B	4,60 ≤ SEER < 5,10	3,10 ≤ SCOP < 3,40
C	4,10 ≤ SEER < 4,60	2,80 ≤ SCOP < 3,10
D	3,60 ≤ SEER < 4,10	2,50 ≤ SCOP < 2,80
E	3,10 ≤ SEER < 3,60	2,20 ≤ SCOP < 2,50
F	2,60 ≤ SEER < 3,10	1,90 ≤ SCOP < 2,20
G	SEER < 2,60	SCOP < 1,90

Fuente: ¿Qué significa las etiquetas energéticas el (COP) y (EER) en eficiencia energética?
<https://www.serviciotecnico2011.com/2016/09/22/que-significa-las-etiquetas-energeticas-el-cop-yeer-en-eficiencia-energetica/> Consulta: 2018.

Conclusión:

El ciclo anterior corresponde a un ciclo de refrigeración simple, el cual se compone de una válvula de expansión, un evaporador, un compresor y un condensador. El proceso dio como resultado un COP de 4,88, es decir que el refrigerante absorbió 4,88 unidades de calor por cada ciclo de trabajo del compresor. Según el reglamento CE 626/2011 de la Unión Europea, el ciclo del problema anterior obtiene una clasificación tipo A++, lo cual indica que el ciclo de refrigeración es muy eficiente.

3.8.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 8: análisis de un ciclo de refrigeración.

Objetivo general:

- Analizar el proceso que interviene para que un ciclo de refrigeración se desarrolle exitosamente.

Objetivos específicos:

- Determinar el Coeficiente de Rendimiento (COP).
- Calcular el calor absorbido durante la evaporación del refrigerante.
- Determinar el calor liberado al ambiente al condensarse el refrigerante.
- Calcular el trabajo realizado por el compresor.

Generalidades:

Un ciclo de refrigeración es aquel que se utiliza para mantener una temperatura durante un proceso o bien para la conservación de alimentos. Su base teórica se fundamenta en el ciclo de Carnot inverso, en el cual intervienen: válvula de expansión, evaporador, compresor, condensador y elementos de control.

Instrucciones:

Realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones de la práctica.

- Se tiene un ciclo de refrigeración ideal, el cual utiliza refrigerante R134a, las condiciones de operación son 1 000 kPa de presión para el condensador y 4°C para el evaporador. Determinar el COP del sistema.
- Para el inciso anterior, manteniendo las condiciones de operación, determinar la potencia necesaria para proporcionar una carga de enfriamiento de 500 kW.

- Determinar el calor absorbido durante la evaporación del refrigerante, el trabajo realizado por el compresor y el calor liberado al entorno al condensarse el refrigerante, a partir de los datos de los incisos 1 y 2.
- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿Cómo se ve afectado el COP, si el evaporador trabaja a 2°C?
 - ¿Qué sucede si la presión de condensación disminuye a un valor de 0,7 MPa?
 - Según el COP del sistema, ¿cuál es la clasificación del ciclo, según el Reglamento CE 626/2011?
- Realizar una tabla de Excel para los incisos 1, 2 y 3.
- Comparar los resultados obtenidos de la tabla de Excel con los resultados de las modificaciones del inciso 4.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.9. Ahorro energético en sistemas de iluminación

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema ahorro energético en sistemas de iluminación.

3.9.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema ahorro energético en sistemas de iluminación se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/Nt5nIHGi6p8>.

3.9.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: elaborar el diseño de un sistema de iluminación para un gimnasio, tomando en cuenta algunos aspectos constructivos del mismo.

Se desea realizar un diseño lumínico para un gimnasio con medidas de 30 x 10 m y una altura de 3,1 m. El techo del gimnasio es de lámina galvanizada y las paredes están pintadas con un color verde claro. En una de las paredes de 10 m se encuentra una vidriera. ¿Cuántas luminarias se deben utilizar para obtener una iluminación apropiada?

En primer lugar, se debe definir el procedimiento que se utilizará para resolver el diseño. Se utilizará el método de lúmenes, el cual establece que para que un sistema de iluminación sea adecuado debe cumplir con dos requisitos: contar con el número de luminarias correcto según el nivel de iluminación recomendado, y el segundo requisito a cumplir es que el nivel de iluminación sea uniforme en todo el lugar.

El primer requisito se cumple mediante la siguiente ecuación:

$$No. de luminarias = \frac{NI * A}{\Phi / Lámparas * Lámparas / Luminarias * CU * FM}$$

Donde:

NI = nivel de iluminación recomendado (según tablas)

A = área a iluminar

Φ = flujo luminoso que produce cada lámpara

CU = coeficiente de utilización

FM = factor de mantenimiento

El nivel de iluminación es recomendado por fabricantes según la actividad que se realice:

Figura 37. Niveles de iluminación recomendados

ACTIVITY	LIGHTING LEVELS (LUX)			SUGGEST LIGHT TONES		
	MINIMUM	GOOD	VERY GOOD	WARM	WHITE	WARM WHITE
ELEVATORS						
Inside	300	500	700	-	-	-
Hallway	50	100	200	-	-	-
FARMING BUILDINGS						
Garages, parking, general lighting	50	100	200	-	-	-
Repairs	200	300	500	-	-	-
Feed stock rooms, general lighting	50	150	300	-	-	-
Chicken coops, pork sties, rabbit hutches	50	150	300	-	-	-
Animal food preparation	100	200	400	-	-	-
EDUCATION						
Art and industrial drawing and sawing	500	700	1000	-	-	-
Gymnasiums	150	300	500	-	-	-
Blackboards	300	500	700	-	-	-
Classrooms and laboratories	200	500	1000	-	-	-
Conference rooms	200	500	1000	-	-	-
Hallways - pass through rooms	150	500	700	-	-	-
Locker rooms, dressers, washbasins	50	100	250	-	-	-
GARAGES						
Parking Structures	100	150	300	-	-	-
Repair shops	200	300	500	-	-	-
ROOMS						
Bathrooms: general lighting	50	100	250	-	-	-
Mirrors	200	500	1000	-	-	-
Kitchens	150	300	600	-	-	-
Family rooms: general lighting	70	200	400	-	-	-
Reading	200	500	700	-	-	-
Children's rooms	70	200	400	-	-	-
Bedrooms: general lighting	50	100	250	-	-	-
Beds	200	500	800	-	-	-
Staircases	100	150	300	-	-	-
Homework areas	300	500	750	-	-	-
HOSPITALS AND CLINICS						
Beds	100	200	400	-	-	-
Rooms and halls: general lighting	50	100	250	-	-	-
Night lighting	10	-	-	-	-	-
Bed overhead: examining and reading	300	500	750	-	-	-
Dental practices, chairs	700	2500	5000	-	-	-
Waiting rooms	200	400	600	-	-	-
Laboratories, Pathology and information	300	500	1000	-	-	-
Surgery tables	3000	6000	8000	-	-	-
Surgery rooms	300	500	1000	-	-	-
Examining rooms	300	500	1000	-	-	-
Reception and waiting rooms	200	400	600	-	-	-
HOTELS, CAFES AND RESTAURANTS						
Kitchens	200	400	700	-	-	-
Dining rooms and halls	100	300	600	-	-	-
Bedrooms: general lighting	100	200	400	-	-	-
Beds	200	500	800	-	-	-
Reception: general lighting	100	200	400	-	-	-
Localized lighting	300	500	750	-	-	-

Fuente: Airfal International. *Optimum levels of activity by sector.*

<https://www.airfal.com/luminarias-tecnicas-noticias/niveles-iluminacion-recomendados-actividad-2883/> Consulta: 2018.

Así mismo se hace la recomendación del color de la luminaria a utilizar, lo anterior se realiza con el fin de que sea agradable y no sature la vista e impida realizar la actividad.

Figura 38. **Flujo luminoso de las lámparas fluorescentes**

COLOR	20W PH	40W RS	75W SL
Cool White	1260	3150	6300
Cool White Deluxe	875	2100	4400
Day Light	1075	2700	5400
Natural White	850	2120	4250
White	1300	3200	6400
Warm White	1300	3200	640
Warm White Deluxe	875	2200	4400

Fuente: elaboración propia.

Para el ejercicio propuesto se tomará un nivel de iluminación de 300 y se utilizarán las lámparas Cool White Deluxe 40 W RS.

Luego se define el coeficiente de utilización, para ello se deben tomar en cuenta varios aspectos:

- Tipo de alumbrado: define si la iluminación es concentrada (directa) o tiene un mayor ángulo de apertura (semidirecto).
- Tipo de mantenimiento: define la calidad con las que se mantienen las instalaciones, puede ser bueno, intermedio o malo.
- Factor de reflexión: determina según los colores del techo y las paredes cuánta luz es absorbida por estos elementos.

Los diseños se deben realizar con las condiciones más críticas, por lo que se toma un escenario de noche, para determinar el factor de reflexión se realiza el siguiente procedimiento:

Figura 39. Factores de reflexión de superficies en función del color

1.	Blanco	75-85%	CL
2.	Marfil	70-75%	CL
3.	Colores Pálidos	60-70%	CL
4.	Amarillo	55-65%	SC
5.	Café Claro	45-55%	SC
6.	Verde Claro	40-50%	SC
7.	Gris	30-50%	SC
8.	Azul	25-35%	OS
9.	Rojo	15-20%	OS
10.	Café Oscuro	10-15%	OS

Fuente: elaboración propia.

Para la ventana que posee una vidriera se tomará el valor más bajo de reflexión, que en este caso corresponde de 10 %. Para las demás paredes se tomará como un valor de 45 %.

$$\text{Factor de Reflexión} = FR = \sum \left[\frac{l}{P} * R \right]$$

Donde:

L es la longitud de la pared que se analiza

P es el perímetro del área que se analiza

R es el factor de reflexión según el color de la superficie

$$FR = \frac{30}{80} * 0,45 + \frac{10}{80} * 0,45 + \frac{30}{80} * 0,45 + \frac{10}{80} * 0,10 = 0,4063$$

El techo por ser de lámina galvanizada se tomará con un FR de 50 %.

Para el factor de mantenimiento y tipo de alumbrado se hace uso de la siguiente tabla:

Figura 40. **Tipo de alumbrado, espaciamiento máximo y factor de mantenimiento**

LUMINARIA	LAMP.	ALUMBRADO	EM	FM		
				BUE.	INT.	MALO
Liston	F	Semidirecto	$1.4 * h_m$	0.75	0.65	0.55
Industrial	F	Semidirecto	$1.3 * h_m$	0.70	0.60	0.50
Empotrable	F	Directo	$1.0 * h_m$	0.70	0.60	0.50
Comercial	F	Directo	$1.1 * h_m$	0.70	0.60	0.50
Empotrable	I	Directo	$1.5 * h_m$	0.70	0.60	0.50
Reflectores	I	Directo	$1.2 * h_m$	0.80	0.77	0.73
Reflectores	VM	Directo	$0.8 * h_m$	0.75	0.70	0.65

Fuente: elaboración propia.

Se debe determinar además una constante K que se obtiene mediante:

$$K = \frac{A}{h_m * \frac{P}{2}}$$

Donde:

A es el área de la planta.

P es el perímetro, se divide dentro de dos ya que se requiere el semiperímetro.

h_m es la altura de montaje.

$$h_m = \text{altura media} - \text{plano de trabajo}$$

$$h_m = 3,1 - 1 = 2,1$$

El plano de trabajo es el punto más bajo para el cual se tendrá el nivel de iluminación de diseño.

$$K = \frac{10 * 30}{2,1 * \frac{80}{2}} = 3,57$$

Figura 41. Valor del coeficiente de utilización

TIPO DE ALUMBRADO	INDICE LOCAL K	70 % (techo)			50 % (techo)		
		50%	30%	10%	50%	30%	10%
SEMIDIRECTO	0.6	0.33	0.28	0.24	0.31	0.26	0.24
	0.8	0.40	0.35	0.31	0.38	0.33	0.30
	1.0	0.47	0.41	0.37	0.44	0.39	0.36
	1.25	0.52	0.47	0.43	0.49	0.45	0.41
	1.5	0.56	0.51	0.47	0.53	0.49	0.45
	2.0	0.63	0.57	0.54	0.58	0.54	0.51
	2.5	0.65	0.61	0.58	0.60	0.57	0.54
	3.0	0.68	0.64	0.61	0.63	0.60	0.57
	4.0	0.70	0.67	0.65	0.66	0.63	0.61
5.0	0.72	0.70	0.68	0.68	0.65	0.63	
DIRECTO	0.6	0.34	0.28	0.23	0.33	0.27	0.24
	0.8	0.42	0.36	0.31	0.41	0.35	0.31
	1.0	0.48	0.42	0.38	0.47	0.42	0.37
	1.25	0.55	0.48	0.44	0.53	0.48	0.45
	1.5	0.59	0.53	0.49	0.57	0.52	0.48
	2.0	0.64	0.60	0.55	0.63	0.59	0.56
	2.5	0.68	0.64	0.60	0.66	0.63	0.59
	3.0	0.71	0.67	0.63	0.69	0.66	0.63
	4.0	0.75	0.71	0.69	0.73	0.70	0.68
5.0	0.77	0.74	0.72	0.75	0.73	0.71	

Fuente: elaboración propia.

Con un factor de reflexión del techo de 50 %, el tipo de alumbrado directo y un valor $k = 3,57$, se procede a determinar el valor del coeficiente de utilización. El valor se busca entre las columnas de 50 % y 30 % que corresponden al valor de las paredes.

Tabla X. **Interpolación de coeficiente de utilización**

k / FR (Pared)	FR = 50 % (Techo)	
	50 %	30 %
3	0,69	0,66
4	0,73	0,70

Fuente: elaboración propia.

Interpolando para un valor de $k = 3,57$ y FR de pared 40,63% se obtiene un valor $CU = 0,699$.

$$\begin{aligned} \text{No. de luminarias} &= \frac{300 * 10 * 30}{2\ 100 * 1 * 0,699 * 0,7} = 87,6 \text{ luminarias} \\ &\cong 88 \text{ luminarias} \end{aligned}$$

Para obtener un nivel de iluminación uniforme y cumplir con ello el segundo requisito se realiza el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se determina el espaciamiento máximo, este se obtiene a partir de la tabla de tipo de alumbrado, espaciamiento máximo y factor de mantenimiento:

$$\begin{aligned} E_M &= 1,1 * h_m \\ E_M &= 1,1 * 2,1 = 2,31 \text{ m} \end{aligned}$$

Luego se procede a calcular el número de luminarias que se requieren como mínimo a lo largo y a lo ancho:

$$\begin{aligned} \text{Luminarias}_{\text{min,largo}} &= \frac{\text{largo}}{E_M} \\ \text{Luminarias}_{\text{min,ancho}} &= \frac{\text{ancho}}{E_M} \\ \text{Luminarias}_{\text{min,largo}} &= \frac{30}{2,31} = 4,33 \cong 5 \end{aligned}$$

$$Luminarias_{min,ancho} = \frac{10}{2,31} = 12,99 \cong 13$$

Se obtiene el número de luminarias mínimas que se necesitan, multiplicando las luminarias a lo largo y las luminarias a lo ancho:

$$Luminarias_{totales} = X * Y$$

$$Luminarias_{totales} = 5 * 13 = 65$$

Finalmente se comparan los valores de cada uno de los requisitos y se escoge el mayor de ambos.

Conclusión:

En este caso se utilizarán 88 luminarias, ya que cumple con el requisito de un nivel de iluminación correcto como un nivel de iluminación homogéneo. Es indispensable considerar los aspectos constructivos, como el color del techo y paredes, así como la presencia de ventanas. Además de ello, se debe tomar en cuenta el tipo de luminarias, mantenimiento y considerar el diseño para las condiciones más críticas.

3.9.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 9: análisis de un sistema de iluminación.

Objetivo general:

- Analizar el proceso que conlleva la iluminación de un recinto.

Objetivos específicos:

- Comparar las diferentes tecnologías que existen para la iluminación en la actualidad.
- Diseñar el sistema de iluminación para una industria farmacéutica.
- Determinar los factores principales que intervienen en un diseño.

Generalidades:

El sistema de iluminación es uno de los principales ejes de ahorro energético en los que puede trabajar cualquier industria. Sin embargo, es indispensable que se mantengan las condiciones de nivel de iluminación adecuado, iluminación homogénea y que la iluminación sea agradable.

Instrucciones:

Realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- Se recopilaron algunos datos sobre el funcionamiento de las lámparas incandescentes, fluorescentes y led. Determinar el costo total debido a la compra y uso de las diferentes tecnologías durante 30 000 horas. ¿Cuál es la mejor tecnología?

Tabla XI. **Comparación de tecnologías de iluminación**

Tecnología	Incandescente	Fluorescente	Led
Vida útil (horas)	1 000	10 000	30 000
Potencia equivalente (W)	60	14	10
Costo del foco	Q 4,00	Q 16,00	Q 40,00
Tiempo a utilizarse	30 000 horas		

Continuación de la tabla XI.

Focos necesarios	30	3	1
kWh consumidos en 30 000 horas	1 800	420	300
Costo kWh (Q1,08 por kWh)	Q 1 944,00	Q 453,60	Q 324,00

Fuente: elaboración propia.

- Se solicita iluminar un laboratorio de una industria farmacéutica, se utilizarán luminarias Cool White de 40 W y se ha solicitado que la iluminación sea óptima. El laboratorio cuenta con un espacio de 15 x 10 m y una altura de 2,5 m. El color de las paredes es blanco y el techo es de un color claro. ¿Cuál es el nivel de iluminación requerido para el laboratorio?
- Para el inciso anterior, si el plano de trabajo se ubica en las mesas de trabajo que se encuentran a 1 m de altura desde el suelo, ¿cuántas luminarias se deben colocar en el recinto? Considerar un factor de mantenimiento bueno.
- Responder los siguientes enunciados:
 - Si se hace una comparación a las 1 000 y 10 000 horas de las tecnologías incandescente, fluorescente y led, ¿cuál es mejor?
 - ¿Qué tipos de luminarias se deberían colocar en la industria farmacéutica, si se coloca un ventanal en una de las paredes de 10 m?
 - ¿Cómo se podría reducir el número de luminarias a utilizar en el inciso 2?
- Realizar una tabla de Excel para los resultados de los incisos 1, 2 y 3.

- Comparar los resultados obtenidos de la tabla de Excel con los resultados de las modificaciones del inciso 4.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

3.10. Tarifas energéticas reguladas y no reguladas

A continuación, se presenta el desarrollo, según el método constructivista, del tema tarifas energéticas reguladas y no reguladas.

3.10.1. Material audiovisual

El material audiovisual del tema tarifas energéticas reguladas y no reguladas se puede apreciar del siguiente link: <https://youtu.be/wxXMIOfa3rs>.

3.10.2. Ejercicios de análisis

Objetivo general: analizar la facturación por consumo de energía eléctrica de un negocio.

Se tiene un cliente cuyas lecturas de consumo energético en su factura fueron las siguientes:

Tabla XII. **Lecturas en kWh**

23/12/2017	24/01/2018
19 136	19 484

Fuente: elaboración propia.

Se debe calcular el monto que debe pagar a la Empresa Eléctrica por concepto de energía eléctrica y detallar cada rubro de la factura. Considerar un valor fijo de Q 10,296241, un precio de Q 1,089764 por kWh (ambos valores sin IVA) y una tasa de alumbrado público de 13 %.

La factura del cliente no posee demanda, es decir que la potencia consumida es menor a 11 kW. Los clientes que consuman menos de 100 kW se encuentran bajo una tarifa regulada, la cual es establecida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), mediante el Pliego Tarifario. En primer lugar, se debe determinar cuánta energía se consumió durante el mes a facturar y se multiplica por el valor en quetzales de cada kWh:

$$\text{Consumo: } 19\,484 - 19\,136 = 348 \text{ kWh}$$

$$348 \text{ kWh} * 1,089764 \frac{\text{Q}}{\text{kWh}} = \text{Q}379,24$$

El cargo fijo es Q 10,296241, el cual se cobra por concepto de la generación y transporte de la energía eléctrica desde el punto donde se generó hasta el punto de suministro.

Consumo:	Q 379,24
Cargo fijo:	Q 10,30
TOTAL:	Q 389,54 (SIN IVA)

A partir del total por concepto de energía se le agrega un 13 % adicional, que corresponde al valor de la tasa municipal. La tasa municipal es un cargo que se realiza debido al servicio de alumbrado público. Cabe destacar que dicho porcentaje varía según cada municipalidad y este monto solo es

recaudado por la distribuidora, pero es transferido a la municipalidad correspondiente para realizar las tareas de mantenimiento.

$$Q379,24 * 13 \% = Q50,64$$

Por último, se debe agregar el IVA a la factura, el cual solo se debe agregar por concepto de energía. Es decir que no se agrega IVA a la tasa municipal.

$$Q379,24 * 1,12 = Q436,28$$

Finalmente se suman cada uno de los valores totales:

Por concepto de energía:

Cargo fijo:	Q 10,30
Consumo:	Q 379,24
Subtotal:	Q 389,54 (sin IVA)
Total:	Q 436,28 (IVA incluido)

Por concepto de tasa municipal

Tasa M. 13 %	Q 50,64
Total:	Q 486,92

Conclusión:

Se deberá cancelar un total de Q486,92 a la Empresa Eléctrica de Guatemala, por concepto de energía eléctrica. Sin embargo, Q50,64 serán transferidos directamente a la municipalidad por trabajos de mantenimiento. La tarifa utilizada corresponde a una tarifa no social, sin demanda.

3.10.3. Laboratorios

- Laboratorio núm. 10: análisis de la facturación según un pliego tarifario.

Objetivo general:

- Analizar la facturación por concepto de potencia y energía de una industria.

Objetivos específicos:

- Comparar los diferentes precios de la energía que se manejan según el horario de consumo.
- Determinar cuál es la mejor tarifa que un cliente puede contratar.
- Analizar otras formas en las que se puede obtener un ahorro energético.

Generalidades:

Una tarifa corresponde al precio asignado a la electricidad. En Guatemala, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica es el ente encargado de fijar dichos precios, según el voltaje, potencias contratadas y hábitos de consumo en cuanto a los horarios. Se hace distinción para usuarios con consumos mayores a 100 kW, los cuales pueden contratar potencia y energía a través de una distribuidora, una comercializadora o ellos mismos en el mercado eléctrico. Por lo contrario, si la potencia de un usuario es menor a 100 kW, debe contratar su potencia y energía según las tarifas establecidas en el pliego tarifario.

Instrucciones:

Realizar lo que se solicita, dejando memoria de cálculo y el análisis respectivo mediante un reporte, agregando conclusiones obtenidas de la práctica.

- Dados los siguientes datos, determinar cuál es la mejor tarifa que puede contratar cierta industria, sabiendo sus hábitos de consumo. Tomar como referencia el pliego tarifario de este documento.

Tabla XIII. **Ejercicio de laboratorio**

Energía Consumida en Valle	39 923,1253 kWh
Energía Consumida en Punta	20 894,0627 kWh
Energía Consumida Intermedia	72 571,3195 kWh
Energía Total Consumida	133 388,5080 kWh
Potencia Máxima	258,46 kW
Potencia contratada	270 kW
Pérdida de energía en Valle	39 923,1253 kWh
Pérdida de energía en Punta	20 894,0627 kWh
Pérdida de energía Intermedia	72 571,3195 kWh
Alumbrado público	133 388,5080 kWh

Fuente: elaboración propia.

- Responder los siguientes enunciados:
 - ¿En qué horario tiene mayor consumo la industria?
 - Si los hábitos de la industria cambiaran, y el período de valle fuese el de mayor consumo energético, ¿cuál sería el ahorro?
 - ¿Existe alguna otra forma de producir algún ahorro energético?
 - ¿Puede el usuario contratar su potencia y energía mediante una comercializadora o directamente en el mercado eléctrico?

- Realizar una tabla de Excel para los resultados del inciso 1.
- Comparar los resultados obtenidos de la tabla de Excel con los resultados de las modificaciones del inciso 2.
- Describir las conclusiones de cada ejercicio.

4. AUTOEVALUACIONES

Finalmente, el método constructivista culmina con una evaluación, la cual busca determinar no solo el grado de comprensión, si no la capacidad de análisis adquirida por el estudiante. Al finalizar el proceso se espera que el estudiante supere las pruebas tanto conceptuales como de aplicación, y así pueda demostrar la fijación de conceptos y un aprendizaje significativo.

4.1. Fasores

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema fasores.

4.1.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: fasores.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- ¿Cuál es la característica principal de un fasor?
 - Posee magnitud
 - Posee un ángulo de desfase
 - Es adimensional
 - Opciones 1 y 2 son correctas

- Los fasores representan valores instantáneos de una cantidad que oscila en el tiempo.
 - Verdadero
 - Falso

- La magnitud de un fasor es el valor eficaz o RMS de una cantidad que se encuentra en función del tiempo, para ello se debe dividir la cantidad en un factor de $\sqrt{2}$.
 - Verdadero
 - Falso

- La notación de la forma $Z = 20 - j4 \Omega$ corresponde al tipo de notación:
 - Angular
 - Compleja
 - Opciones 1 y 2 son correctas.
 - Ninguna es correcta.

- Se tiene un voltaje de la forma $V = 141,42 \text{ sen}(wt + 60^\circ)$, indique el mismo voltaje de forma angular:
 - $V = 141,42 \angle 60^\circ$
 - $V = 100,00 \angle 0^\circ$
 - $V = 100,00 \angle 60^\circ$
 - Ninguna es correcta.

- ¿Qué indica el valor RMS?
 - Indica que el valor aprovechable de cualquier señal es cercano al 70 %.
 - Representa el equivalente de una señal constante en el tiempo, su valor depende de la forma de onda de la señal.

- Indica el valor promedio de los valores instantáneos de una forma de onda durante un intervalo de tiempo.
- Ninguna es correcta.
- Obtener el valor del voltaje si se tiene la corriente $i = 5 \angle -30^\circ A$ y una impedancia $Z = 12 + j8 \Omega$.
- Calcule el valor de la corriente, si se tiene un voltaje $120 \angle 0^\circ V$ y una carga de $Z = 8 + j4 \Omega$.
- Determine la impedancia total del sistema si se cuenta con $Z1 = 3 - j4 \Omega$, $Z2 = 10 \angle 60^\circ \Omega$ y $Z3 = -j2 \Omega$. Indique los valores en notación compleja y determine el voltaje aplicado para obtener una corriente de $i = 5,68 \angle -70^\circ A$.
- Grafique las ondas senoidales de voltaje y corriente e identifique si se encuentra en adelanto o atraso, así mismo realice un diagrama fasorial de la impedancia.

4.2. Voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados.

4.2.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: voltaje, corriente e impedancia en circuitos trifásicos balanceados.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- ¿Cuál es la característica principal de un circuito trifásico balanceado?
 - La magnitud de voltaje en las tres fases es igual.
 - La magnitud de corriente en las tres fases es igual.
 - Existe un ángulo de desfase entre cada fase de 120° .
 - Todas son correctas.

- Las impedancias inductivas y capacitivas solo varían la amplitud, mientras que el ángulo de desfase permanece constante.
 - Verdadero
 - Falso

- La impedancia total de un sistema se obtiene de la suma de las impedancias:
 - Resistiva
 - Capacitiva
 - Inductiva
 - Todas son correctas.

- La ley de Ohm no se aplica en circuitos trifásicos balanceados.
 - Verdadero
 - Falso

- Se tiene un circuito con impedancia RC y otro con impedancia RL, las corrientes de cada uno se encuentran respectivamente en:
 - Adelanto y atraso
 - Atraso y adelanto
 - Sin desfase
 - Ninguna es correcta.

- Determinar la magnitud, ángulo de fase y tipo de carga de un sistema, a partir del voltaje eficaz $100\text{ V} \angle 120^\circ$ que consume una corriente de $8,6\text{ A} \angle 100^\circ$.

- Si se tiene un circuito cuya impedancia está determinada con $10\ \Omega$ y $100\ \mu\text{F}$ de capacitancia, determinar la capacidad de corriente que debe soportar el conductor del circuito cuyo voltaje eficaz es $120\text{ V} \angle 0^\circ$. Determine si la corriente se encuentra en atraso o en adelanto.

- En una industria, se desea eliminar el efecto inductivo que posee un circuito debido a longitud del conductor. ¿Cuál debe ser el valor en nF de los capacitores colocados en el sistema? La impedancia del sistema es $Z = 5 + j6\ \Omega$, el voltaje eficaz aplicado es $120\text{ V} \angle 0^\circ$.

- Dibuje el diagrama fasorial del voltaje y corriente antes y después de introducir los capacitores al sistema del problema del inciso anterior.

- Demuestre que el ángulo asociado a la impedancia total es el ángulo por el cual el voltaje adelanta o atrasa la corriente. Indique cuándo es negativo o positivo.

4.3. Potencia compleja

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema potencia compleja

4.3.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: potencia compleja.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- La potencia es el ritmo con que se consume la energía:
 - Verdadero
 - Falso
- ¿Cuál es la función principal de un capacitor?
 - Almacenar energía en forma de campo eléctrico
 - Almacenar energía en forma de campo magnético
 - Todas son correctas.
 - Ninguna es correcta.
- ¿Cuál es la función principal de una inductancia?
 - Almacenar energía en forma de campo eléctrico

- Almacenar energía en forma de campo magnético
 - Todas son correctas.
 - Ninguna es correcta.
- La potencia compleja es la suma algebraica de:
 - Potencia aparente
 - Potencia reactiva
 - Potencia real
 - Opciones 2 y 3 son correctas.
- ¿Cuál es el efecto de la impedancia en la potencia compleja?
 - La potencia tendrá una componente reactiva en atraso si la impedancia es inductiva.
 - La potencia tendrá una componente reactiva en adelanto si la impedancia es capacitiva.
 - La potencia no tiene relación directa con la impedancia de un circuito.
 - Opciones 1 y 2 son correctas.
- Determine la potencia real consumida de un circuito cuyos parámetros son: $V = 200 \text{ sen}(wt + 110^\circ) \text{ V}$ y una corriente en amperios de $i = 5 \text{ sen}(wt + 20^\circ)$. La potencia aparente se encuentra en adelanto o atraso, justifique.
- A partir de un circuito RC, conformado por una resistencia $R = 100 \text{ } \Omega$ y capacitancia $C = 100 \text{ } \mu\text{F}$, determine la potencia activa, reactiva y aparente, si el sistema está conectado a una fuente de voltaje $100 \text{ V } \angle 0^\circ$ eficaces.

- Encuentre la potencia activa, reactiva y aparente, si una carga consume una corriente de $13,3 \text{ sen}(wt - 48,7^\circ)$ al aplicarle una tensión de $340 \text{ sen}(wt - 60^\circ) \text{ V}$. Considere que el voltaje y la corriente no corresponden a valores eficaces.
- Se le aplica un voltaje de $50 \angle 90^\circ \text{ V}$ a una carga conformada por una resistencia y un capacitor de 8Ω y 6Ω respectivamente. Determine la potencia activa y reactiva que consume el sistema.
- A una carga RL con valor $Z = 5 + j15 \Omega$ se le aplica una tensión eficaz de $31,6 \text{ V}$, determine las tres potencias del sistema. La potencia aparente se encuentra en adelanto o atraso, explique.

4.4. Triángulo de potencia

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema triángulo de potencia.

4.4.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: triángulo de potencia.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- El triángulo de potencia representa de forma gráfica la suma de las potencias real, reactiva y aparente:
 - Verdadero
 - Falso

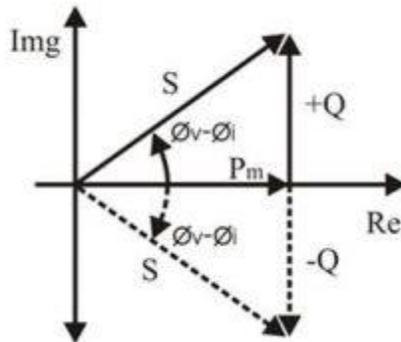
- ¿Cuál es la potencia que se consume, ya sea para realizar un trabajo o se pierde en forma de calor, y que es llamada potencia útil?
 - Potencia aparente
 - Potencia real
 - Potencia reactiva
 - Ninguna es correcta

- ¿Cuál es la potencia que no se consume, si no que se almacena o entrega para el funcionamiento de motores o generadores?
 - Potencia aparente
 - Potencia real
 - Potencia reactiva
 - Ninguna es correcta

- ¿Cuál es la potencia que presumiblemente se consume, sin embargo, se obtiene a través de la suma de potencia útil y aquella que se almacena o entrega?
 - Potencia aparente
 - Potencia real
 - Potencia reactiva
 - Ninguna es correcta

- Según la figura, de la página siguiente, indique el enunciado que es correcto:

Figura 42. **Triángulo de potencia**



Fuente: elaboración propia.

- Q+ y Q- corresponden a las potencias reactivas inductivas y capacitivas respectivamente
 - Q- y Q+ corresponden a las potencias reactivas inductivas y capacitivas respectivamente
 - Pm representa la potencia aparente
 - Ninguna es correcta
- Dibuje el triángulo de potencia para cada una de las siguientes cargas:
 - 250 VA, $\angle 60^\circ$ en atraso
 - 180 W, $\angle 36,87^\circ$ en adelanto
 - 100 VAr, en retraso
 - Si las cargas del inciso anterior pertenecen al mismo sistema, determine la potencia aparente y dibuje el triángulo de potencia del sistema.

- Dada la potencia real consumida por un motor y su potencia aparente, encuentre la potencia reactiva que requiere para su funcionamiento y su respectivo triángulo de potencia. $S = 400 \text{ VA}$, $P = 350 \text{ W}$.
- Determine el triángulo de potencia de la siguiente carga, recuerde que debe utilizar los valores eficaces.
 - $V = 14,14 \cos (wt) \text{ V}$
 - $i = 17,1 \cos (wt - 14,05^\circ) \text{ A}$
- En un sistema se ha determinado que se consumen 300 W de potencia con un factor de potencia de $0,6$. Se conoce que la impedancia cuenta con una parte resistiva e inductiva, siendo la resistencia de $R = 3 \Omega$. Si la carga es alimentada con una tensión de $50 \text{ V} \angle 30^\circ$ eficaces, determine el valor de la reactancia inductiva, la potencia aparente y dibuje el triángulo de potencia.

4.5. Factor de potencia

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema factor de potencia.

4.5.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: factor de potencia.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- El factor de potencia es un indicador de la eficiencia con la cual es utilizado el suministro de potencia:
 - Verdadero
 - Falso

- ¿Cuáles de las siguientes son causas de un bajo factor de potencia?
 - Inductancia de los motores
 - Cargas no lineales de transformadores y balastos
 - Funcionamiento de motores a una capacidad no recomendada
 - Todas son correctas.

- ¿Cuáles de las siguientes son consecuencias de un bajo factor de potencia?
 - Baja calidad de energía (fluctuaciones de voltaje, armónicos, desbalances, sobretensiones)
 - Sobrecalentamiento de generadores, transformadores y conductores
 - Incremento en la facturación de energía eléctrica
 - Todas son correctas.

- ¿Cómo se puede mejorar el factor de potencia?
 - Instalación de un banco de capacitores
 - Instalación de motores síncronos
 - Aumentando el consumo de potencia reactiva
 - Opciones 1 y 2 son correctas

- El factor de potencia con un valor cercano a 0 indica que la eficiencia del consumo energético es correcta:
 - Verdadero
 - Falso

- Determinar el factor de potencia de una carga $Z = 5 + j8,66 \Omega$, la cual se encuentra bajo una tensión de $10 \text{ V} \angle 60^\circ$ eficaces.

- Una industria está siendo penalizada con bajo factor de potencia, el gerente desea saber si está incumpliendo la norma, con su factor de potencia menor a 90 %. La industria opera con un voltaje de 100 V eficaces y cuenta con dos máquinas cuyas impedancias son las siguientes:
 - $Z_1 = 2 + j3 \Omega$
 - $Z_2 = 3 + j6 \Omega$, $S = 1\,490 \text{ VA}$

- Un sistema de 300 kW cuenta con un factor de potencia de 65 %, si se desea que el factor de potencia sea 90 %, ¿cuánta carga reactiva VAR se debe agregar con capacitores? ¿Qué porcentaje de la potencia aparente se reduce con este cambio?

- Una industria divide su consumo energético en dos grandes cargas, la primera consiste en todos los motores utilizados en el proceso y la segunda se compone de elementos de iluminación y servicios complementarios. La carga de los motores se compone de 2 000 VA con $\text{FP} = 0,8$ en retraso. Se desea que el FP de potencia global sea de 0,9 en retraso para evitar penalizaciones. ¿Cuál debe ser el FP de la segunda carga, si se sabe que la potencia aparente de esta es 500 VA?

- Se cuenta con un sistema en el cual dos cargas conectadas en paralelo se alimentan de una fuente de voltaje. El sistema en conjunto consume una potencia reactiva total de $Q = 2\ 500\ \text{VAr}$ con factor de potencia en atraso. Las impedancias conectadas en paralelo tienen valores de $Z1 = 4 + j4\ \Omega$ y $Z2 = 12 + j6\ \Omega$. Determine los valores de:
 - Voltaje que alimenta a las cargas
 - Potencia real y aparente total del sistema
 - Factor de potencia global

4.6. Ahorro energético con motores utilizados en la industria

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema ahorro energético con motores utilizados en la industria.

4.6.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: motores utilizados en la industria.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- Un motor es una máquina que convierte la energía mecánica de movimiento rotacional en energía eléctrica para ser suministrada a la red:
 - Verdadero
 - Falso

- Tipo de motor que se utiliza en aplicaciones que requieren gran velocidad y precisión, como etiquetadoras, trefiladoras y laminadoras:
 - Motores síncronos de corriente alterna
 - Motores asíncronos de corriente alterna
 - Motores de corriente directa
 - Ninguna es correcta.

- Tipo de motor que se utiliza en aplicaciones de alta potencia, ya que trabajan con cargas pesadas, como trituradoras, extrusoras de papel y compresores:
 - Motores síncronos de corriente alterna
 - Motores asíncronos de corriente alterna
 - Motores de corriente directa
 - Ninguna es correcta.

- Tipo de motor que se utiliza en aplicaciones que requieren un torque de arranque alto y son utilizados en condiciones severas como minería, petroleras, siderúrgicas:
 - Motores síncronos de corriente alterna
 - Motores asíncronos de corriente alterna
 - Motores de corriente directa
 - Ninguna es correcta.

- Indique cuál de los siguientes enunciados es correcto:
 - El mayor consumo energético por unidad de tiempo se produce en el arranque de un motor.
 - Para obtener un ahorro energético significativo existen diversas formas de arranque: secuencial, estrella-delta y arranque electrónico.

- En el arranque secuencial se deben arrancar los motores con mayor potencia de arranque y luego se continúa en forma descendente.
 - Todas son correctas.
- En una industria se requiere un motor de 40 HP. Un proveedor le ofrece dos opciones:
 - Motor de 40 HP, 2 polos, 3 600 RPM y eficiencia estándar $\eta = 88,5 \%$. Valor: Q 7 350,00.
 - Motor de 40 HP, 2 polos, 3 600 RPM y eficiencia alta $\eta = 93,6 \%$. Valor: Q 10 000.00.
 - A partir de las dos opciones determine cuál es mejor. Si se elige el motor de alta eficiencia, ¿cuánto tiempo tomaría recuperar la inversión?
- En una industria de extrusión de plástico se cuenta con cuatro motores, los cuales son de baja eficiencia y cuentan con las siguientes características de trabajo anual y las características de los motores propuestos:

Tabla XIV. **Característica de los motores actuales**

ID	HP	Horas de trabajo	Eficiencia	Demanda kW	Consumo kWh
M1	100	8 280	80 %	54,25	449 190,00
M2	100	8 280	80 %	58,50	484 380,00
M3	50	8 280	80 %	33,33	275 972,40
M4	50	8 280	80 %	33,33	275 972,40
				TOTAL	1 485 514,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Características de los motores propuestos**

ID	HP	Horas de trabajo	Eficiencia	Demanda kW	Consumo kWh
M1	100	8 280	92,30 %	50,00	414 000,00
M2	100	8 280	92,60 %	54,25	449 190,00
M3	50	8 280	91,75 %	30,90	255 852,00
M4	50	8 280	91,75 %	30,90	255 852,00
				TOTAL	1 374 894,00

Fuente: elaboración propia.

- Determine el ahorro en demanda y consumo y el tiempo de recuperación de la inversión, si la compra e instalación de los motores se ha calculado alrededor de Q 150 000,00 y los ahorros por el cambio se estiman a partir del valor de kWh. Tome como referencia el valor de Q 0,78 / kWh.
- Un gerente desea saber por qué la factura de energía eléctrica de su industria es demasiado alta. El proceso principal cuenta con un horno eléctrico de 25 kW con arranque directo código C, el cual pasa encendido todo el día; una serie de bandas transportadoras, las cuales se utilizan solo 4 horas diarias con un consumo global de 60 kW, con arranque estrella-delta código A y un molino de bolas de 10 kW que pasa encendido 16 horas con un arranque electrónico. Determine cuál máquina tiene un mayor impacto en el consumo energético, a lo largo de un mes de 30 días. Explique.
- A partir de las siguientes cargas trifásicas conectadas en voltaje de 480 V en estrella, determine:
 - Potencia en kW de cada una de las cargas.
 - Secuencia de encendido de las cargas, para obtener la menor demanda máxima y demanda contratada.

- Definir la demanda contratada y demanda máxima.
 - Determinar la energía consumida mensualmente por las cargas.
 - Determinar el banco de capacitores (kVAR) necesario para mantener un factor de potencia mayor a 0,9.
 - Determinar el valor en quetzales de cada una de las tarifas según el pliego tarifario correspondiente y escoger la mejor tarifa.
- Se debe realizar una memoria de cálculo en Excel para todo lo solicitado anteriormente. Las cargas son las siguientes:
- Para la realización de los cálculos se deben utilizar las fórmulas que se establecen en la parte de anexos.
- Motores
 - 50 HP código K con FP = 0,76 arranque estrella delta, encendido todo el mes (24/7), Se encienden el primer día del mes.
 - 25 HP código A y FP = 0,78 arranque directo, encendido todo el mes (24/7).
 - 25 HP código J y FP = 0,8 arranque estrella delta encendido 20 horas diarias 25 días, domingos no se arranca.
 - 10 HP código K y FP = 0,77 arranque electrónico encendido 24/7.
 - 10 HP código R y FP = 0,72 arranque directo encendido 24/7.
 - 7,5 HP código U y FP = 0,68 arranque estrella delta encendido 24/7.
- Máquinas (código K arranque directo):
 - M = 64,118, n = 1 000 rpm, nm = 0,9, FP = 0,76 encendida 4 horas diarias de 8 a 12 horas, código J arranque directo.

- $M = 128,236$ n = 1 000 rpm, $\eta_m = 0.86$, FP = 0,7 encendida 12 horas diarias de 6 a 6 PM.
- Mecanismos de elevación:
 - $M = 64,118$, n = 1 000 rpm, $\eta = 0,7$, FP = 0,75, encendido 2 horas diarias intermitentes a lo largo del día (6 a 6), código J arranque directo
- Mecanismo giratorio
 - $M = 17,7868$, n = 3 600, $\eta = 0,9$, FP= 0,8 encendido 24/7, código A con arranque electrónico.
- Mecanismo de traslación
 - $F = 562,47$, $w = 0,02$, $V = 5$ m/s, $\eta = 0,8$, FP = 0,8, encendido 24/7 código M con arranque estrella delta.
- Motor para ascensor
 - $F = 11\ 190$, $V = 5$ m/s, $\eta = 0,9$, FP = 0,8, encendido 3 horas diarias, código H con arranque directo.
- Motor para accionar bomba:
 - $Q = 0,6089$ m³/s, $d = 9,8$, $H = 10$ m, $\eta = 0,8$, FP = 0,8, código A con arranque electrónico y está encendido 24/7.

4.7. Ahorro energético en sistemas de bombeo

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema sistemas de bombeo.

4.7.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: sistemas de bombeo.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- Una bomba es una máquina que transforma la energía de un motor en energía de presión o velocidad para un fluido, con el fin de transportar un fluido de un punto a otro:
 - Verdadero
 - Falso

- Las bombas se pueden clasificar según la posición de su eje y la posición con relación al fluido, como:
 - Bombas centrífugas, verticales y horizontales
 - Bombas sumergibles, de golpe de ariete y horizontales
 - Bombas horizontales, verticales y sumergibles
 - Ninguna es correcta.

- ¿Qué información brinda una curva característica de una bomba?
 - Eficiencia de la bomba
 - Diámetro del impulsor y caudal de operación
 - Altura o carga de operación
 - Todas son correctas.

- Las principales pérdidas que se encuentran en un sistema de bombeo son:
 - Pérdidas por fricción en accesorios
 - Pérdidas por fricción en tubería
 - Incrustaciones, golpe de ariete y cavitación
 - Todas son correctas.

- La eficiencia de una bomba se encuentra determinada por:
 - Potencia entregada por el motor de la bomba, incluyendo la eficiencia del motor
 - Altura o carga del sistema, incluyendo las pérdidas respectivas
 - Capacidad o caudal de operación
 - Todas son correctas.

- Un sistema de bombeo de agua potable tiene un sistema con succión negativa, el cual cuenta con una altura geométrica de descarga de 14 m y una altura geométrica de succión de 1 m. Las presiones de descarga y succión son 12 kPa y 5 kPa, respectivamente. Determine la carga estática total.

- Determine las pérdidas por fricción de un sistema con una tubería de 2" de 8 m de longitud, velocidad 2 m/s y factor de fricción de la tubería de 0,75.

- Se desea elevar un fluido a una altura efectiva de 80 m, determine las características de la bomba (potencia entregada, potencia hidráulica y eficiencia). El fluido tiene densidad de $0,91 \text{ kg/m}^3$ y caudal 150 gpm, el motor es de 15 HP con 90 % de eficiencia.

4.8. Ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema ahorro energético en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

4.8.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- El ciclo de refrigeración se compone de una válvula de expansión, evaporador, compresor, condensador y dispositivos de seguridad y control, para poder mantener una determinada temperatura para la conservación de alimentos o procesos industriales:
 - Verdadero
 - Falso

- Indique cuáles de los siguientes aspectos son causantes de aumentar el consumo energético en sistemas de refrigeración:
 - Falta de refrigerante
 - Ingreso de aire al sistema
 - Obstrucción y suciedad del filtro
 - Todas son correctas.

- Indique las partes que componen un aire acondicionado:
 - Compresor y válvulas de expansión
 - Condensador y evaporador (intercambiadores de calor)
 - Rotor y estator
 - Opciones 1 y 2 son correctas.

- Indique cuáles de las siguientes son prácticas que permiten un ahorro en el consumo energético en sistemas de aire acondicionado:
 - Evitar la entrada de aire caliente, manteniendo puertas y ventanas cerradas, o aplicar una capa de aislamiento en techo y paredes.
 - Utilizar el aire acondicionado solo cuando se requiere, apagándolo durante la noche.
 - Realizar un mantenimiento periódico al sistema de ventilación, ductos y limpieza de filtros.
 - Todas son correctas.

- En la compra de cualquier equipo de refrigeración o aire acondicionado, se debe tomar en cuenta la relación de eficiencia energética, la cual indica la potencia eléctrica que se debe consumir para producir una tonelada de refrigeración:
 - Verdadero
 - Falso

- Se utiliza un sistema de refrigeración con presiones de operación 0,7 y 0,12 MPa en el lado de alta y baja presión, respectivamente. Se utiliza un flujo másico de 0,05 kg/s de R134a. Determine el coeficiente de desempeño COP del sistema y dibuje el diagrama de T-s.

- Del problema anterior, determine el calor absorbido durante la evaporación del refrigerante, el trabajo realizado por el compresor y el calor liberado al entorno al condensarse el refrigerante.
- Entra refrigerante 134a al compresor de un refrigerador como vapor sobrecalentado a 0,20 MPa y $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a razón de 0,7 kg/s, y sale a 1,2 MPa y $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. El refrigerante se enfría en el condensador a $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1,15 MPa, y se estrangula a 0,2 MPa. Despreciando cualquier transferencia de calor y cualquier caída de presión en las líneas de conexión entre los componentes, muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación, y determine a) la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y la entrada de potencia al compresor, b) la eficiencia isentrópica del compresor, y c) el COP del refrigerador.

4.9. Ahorro energético en sistemas de iluminación

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema ahorro energético en sistemas de iluminación.

4.9.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: sistemas de iluminación.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- ¿Cuáles son los requisitos con los que debe contar un sistema de iluminación?
 - Homogeneidad
 - Ser agradable a la vista
 - Nivel de iluminación y color, según la actividad que se realice
 - Todas son correctas.

- El color de paredes y techo, así como la presencia de ventanas, afectan la reflexión de la luz, por lo que se deben considerar a la hora de un diseño lumínico:
 - Verdadero
 - Falso

- Las lámparas incandescentes pueden operar en distintos niveles de voltaje, de forma que, si operan debajo del voltaje nominal, aumentará su vida útil pero la iluminación disminuirá considerablemente:
 - Verdadero
 - Falso

- Indique cuáles de las siguientes son desventajas de las lámparas fluorescentes:
 - Su intensidad lumínica no puede ser regulada.
 - Se produce efecto estroboscópico.
 - La mayor parte de su energía se pierde en forma de calor.
 - Opciones 1 y 2 son correctas.
 - Opciones 1 y 3 son correctas.

- Las lámparas tipo led a pesar de tener un alto costo en la actualidad y producir armónicos, representan las lámparas con mayor eficiencia y vida útil del mercado:
 - Verdadero
 - Falso
- Durante la noche los reflectores de una garita de seguridad pasan encendidos desde las 18:30 horas hasta las 5:30 horas del siguiente día. Actualmente se cuenta con reflectores halógenos, los cuales tienen una potencia de 150 W. Sin embargo, se ha visto que existen reflectores led, los cuales otorgan el mismo nivel de iluminación con 30 W. Determine el ahorro energético que se obtiene al mes, debido al cambio de tecnología.

$$E = P * t$$

- Realice una comparación de las diferentes tecnologías de iluminación para un período de evaluación de 25 000 horas. ¿Qué tecnología es mejor?

Tabla XVI. **Comparación de tecnologías de iluminación**

Tecnología	Incandescente	Fluorescente	Led
Vida útil (horas)	1 000	10 000	30 000
Potencia equivalente (W)	60	14	10
Costo del foco	Q 4,00	Q 16,00	Q 40,00
Tiempo a utilizarse	25 000 horas		
Focos necesarios	30	3	1
kWh consumidos en 30 000 horas	1 800	420	300
Costo kWh (Q1,08 por kWh)	Q 1 944,00	Q 453,6	Q 324,00

Fuente: elaboración propia.

- Se solicita iluminar un salón de clases de una universidad, se utilizarán luminarias Cool White de 40 W y se ha solicitado que la iluminación sea óptima. El salón de clases cuenta con un espacio de 12 x 6 m y una altura de 2,5 m. El color de las paredes es marfil y el techo es de un color claro. Realice un diseño tomando en cuenta el plano de trabajo, se ubica a 0,85 m desde el nivel del suelo, en una de las paredes de 12 m se ubica un ventanal, el factor de mantenimiento es bueno. Si es necesario asuma datos faltantes, pero justifique su criterio.

4.10. Tarifas energéticas reguladas y no reguladas

A continuación, se presenta la evaluación conceptual y de aplicación, del tema tarifas energéticas reguladas y no reguladas.

4.10.1. Pruebas de autoevaluación

Objetivo general: determinar el nivel de conocimiento del estudiante en relación con el tema: tarifas energéticas reguladas y no reguladas.

Instrucciones: seleccionar la respuesta correcta en los siguientes enunciados:

- La diferencia entre las tarifas reguladas y no reguladas radica en que las tarifas no reguladas se aplican a aquellos usuarios con una potencia menor de 100 kW:
 - Verdadero
 - Falso

- Es aquel usuario cuya demanda sobrepasa los 100 kW, su consumo de potencia y energía los debe pactar ya sea con una distribuidora de energía eléctrica o bien mediante una comercializadora:
 - Usuario regulado
 - Usuario no regulado
 - Gran usuario
 - Opciones 2 y 3 son correctas.

- ¿Cuál debe ser el consumo mensual de un usuario para obtener una tarifa social?
 - Mayor o igual a 300 kW
 - Menor o igual a 300 kW
 - Mayor o igual a 300 kWh
 - Menor o igual a 300 kWh

- ¿Qué es una tarifa horaria?:
 - Es una tarifa especial dedicada a usuarios que consumen una energía menor o igual a 1 000 kWh.
 - Tarifa que discrimina el consumo por horas, obteniendo precios distintos por energía consumida durante el pico, valle y horario intermedio. Se aplica a usuarios que poseen una demanda superior a 11 kW.
 - Tarifa que discrimina el consumo por horas, obteniendo precios distintos por energía consumida durante el pico, valle y horario intermedio. Se aplica a usuarios que poseen una demanda menor a 11 kW.
 - Todas son correctas.

- Indique cuáles de los siguientes enunciados son correctos:
 - La tarifa con demanda en punta se aplica en el horario de máxima demanda energética del país y corresponde al horario entre las 18:00 y 22:00 horas.
 - La tarifa con demanda intermedia se aplica entre el horario de máxima y mínima demanda energética del país y corresponde al horario entre las 06:00 y 18:00 horas.
 - La tarifa con demanda fuera de punta se aplica en el horario de mínima demanda energética del país y corresponde al horario entre las 22:00 horas y 06:00 horas del día siguiente.
 - Opciones 1 y 2 son correctas.
 - Opciones 2 y 3 son correctas.
 - Opciones 1 y 2 son correctas.
 - Todas son correctas.

- Realizar la facturación de un cliente cuya lectura de consumo del mes anterior fue de 20 353 kWh y la lectura del mes actual fue de 20 648 kWh. Determine el tipo de tarifa que le corresponde, el total por concepto de energía y la tasa municipal correspondiente (considere 13 %).

- Determine el valor que debe pagar un usuario por concepto de potencia y energía según los valores siguientes:

Tabla XVII. **Problema de evaluación**

Energía Consumida en Valle	27 354,7340 kWh
Energía Consumida en Punta	14 316,3022 kWh
Energía Consumida Intermedia	49 724,7930 kWh
Energía Total Consumida	91 395,8292 kWh
Potencia Máxima	258,46 kW
Potencia contratada	185 kW
Pérdida de energía en Valle	27 354,7340 kWh
Pérdida de energía en Punta	14 316,3022 kWh

Continuación de la tabla XVII.

Pérdida de energía Intermedia	49 724,7930 kWh
Alumbrado público	91 395,8292 kWh

Fuente: elaboración propia.

Para los problemas de los últimos dos incisos, considere los valores del pliego tarifario adjunto en la siguiente página.

Figura 43. **Pliego tarifario para problema de evaluación**

RESOLUCIÓN	CNEE-31-2018 CNEE-32-2018
Tarifa: Social - TS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	10.475954
Cargo por Energía (Q/kWh)	1.079886
Tarifa: Baja Tension Simple - BTS	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	10.475954
Cargo por Energía (Q/kWh)	1.113724
Tarifa: Baja Tension con demanda fuera de punta - BTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.717585
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	22.814424
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	29.406222
Tarifa: Baja Tension con demanda en punta - BTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.714094
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	49.877313
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	78.830934
Tarifa: Media Tension con demanda fuera de punta - MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.670935
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	26.292048
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	12.186611
Tarifa: Media Tension con demanda en punta - MTDp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.668928
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	24.473275
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	12.489701
Tarifa: Baja Tension Horaria - BTH	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	240.946937
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	0.723839
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	0.722795
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	0.687597
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	27.389026
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	42.356278
Tarifa: Media Tension Horaria - MTH	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	838.076304
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	0.678131
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	0.677146
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	0.643923
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	27.466331
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	14.313988
Tarifa: Alumbrado público - AP	Valor
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.212666
Tarifa: Peaje en función de transportista Baja Tension - PBT	Valor
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.053338
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.05326
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.05064
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	80.161179
Tarifa: Peaje en función de transportista Media Tension - PMT	Valor
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.013117
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.013098
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.012453
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	24.027946

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Pliegos tarifarios*.

<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>. Consulta: 2018.

CONCLUSIONES

1. El método constructivista se basa en el pilar fundamental de crear estructuras cognitivas a través de conceptos básicos, así como la interacción e intercambio de información entre el estudiante y el catedrático.
2. Se estructuró una metodología de enseñanza innovadora, basada en el método constructivista, que permite a estudiantes aprender de forma dinámica aspectos acerca de los temas de sistemas trifásicos, ahorro energético y seguridad eléctrica en la industria, los cuales constituyen nociones indispensables hoy en día.
3. Las aplicaciones y problemas prácticos constituyen una forma real del empleo del conocimiento, ya que estas representan situaciones de la vida cotidiana y proponen soluciones que se pueden plantear y desarrollar en el ámbito laboral.
4. Los laboratorios prácticos constituyen una de las mejores herramientas para el aprendizaje de los alumnos, ya que luego de 24 horas el porcentaje de retención de los conocimientos es del 75 %, dejando de ser un aprendizaje pasivo, para convertirse en un aprendizaje activo.
5. Los métodos de evaluación constituyen herramientas que permiten determinar, tanto el nivel de aprendizaje de los alumnos, como la capacidad de análisis adquirida por el estudiante durante el proceso de aprendizaje constructivista y que este sea significativo.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar softwares libres como E-Motores, iCircuit, Calculadoras de Costo de Energía, Multisim y otros que complementen el aprendizaje o permitan realizar simulaciones de casos reales.
2. Durante la etapa de aprendizaje lo recomendable es que el estudiante realice una lectura previa del tema, ya que de esta forma podrán surgir interrogantes al recibir la explicación por parte del catedrático, o que pueda realizar un análisis más profundo del tema.
3. Los medios audiovisuales constituyen una forma idónea para la adquisición de nuevos conocimientos, debido a que se aprenden y asimilan conceptos a través del oído y de la vista.
4. El aprendizaje se debe acompañar de ejercicios de análisis en los cuales el alumno pueda aplicar los conocimientos adquiridos, al principio de la mano del catedrático y luego que se realicen en grupo con la finalidad de compartir criterios.
5. Las prácticas de laboratorio deben estructurarse de tal forma que el estudiante pueda ser guiado a través de estas para poder comprobar de forma empírica el fundamento teórico que se relaciona con el tema. Una de las formas más precisas es la formulación de preguntas a través de la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo: 229-14. *Título VII, capítulo I: electricidad*. Guatemala: 23 de julio de 2004. 82 p.
2. Asamblea Nacional Constituyente. *Constitución Política de la República de Guatemala. Capítulo II: derechos sociales, sección octava: trabajo*. Guatemala: 1985. 100 p.
3. BELLOCH ORTÍ, Consuelo. *Las tecnologías de la información y comunicación (T.I.C.)*. [en línea]. <https://www.uv.es/~bellochc/pdf/pwtic1.pdf>. [Consulta: 06 de febrero de 2018].
4. BLANCO, Scarlett. *Teorías constructivistas del aprendizaje*. Trabajo de graduación de Licda. en Educación. Universidad Academia de Humanismo Cristiano, 2014. 98 p.
5. BOYLESTAD, Robert. *Introducción al análisis de circuitos*. 10a ed. México: Pearson Educación, 2004. 1248 p.
6. CENGEL, Yunus. *Termodinámica*. 7a ed. México: McGRAW-HILL, 2012. 1009 p.
7. Comisión Electrotécnica Internacional. *Bienvenidos a IEC*. Ginebra: 2016. 36 p.

8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado.* [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/005%20M%C3%B3dulo%20V%20\(AEE%20Aire%20Acondicionado\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/005%20M%C3%B3dulo%20V%20(AEE%20Aire%20Acondicionado).pdf)>. [Consulta: 06 de abril de 2018]
9. ————. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo.* [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20\(AEE%20Bombeo\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20(AEE%20Bombeo).pdf)>. [Consulta: 03 de abril de 2018].
10. ————. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de iluminación.* [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/002%20M%C3%B3dulo%20II%20\(AEE%20Sistemas%20de%20Iluminaci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/002%20M%C3%B3dulo%20II%20(AEE%20Sistemas%20de%20Iluminaci%C3%B3n).pdf)>. [Consulta: 08 de abril de 2018].
11. ————. *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de refrigeración.* [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/006%20M%C3%B3dulo%20VI%20\(AEE%20Refrigeraci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/006%20M%C3%B3dulo%20VI%20(AEE%20Refrigeraci%C3%B3n).pdf)>. [Consulta: 06 de abril de 2018].
12. ————. *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.* [en línea]. <[http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf)>. [Consulta: 30 de marzo de 2018].

13. ————. *Eficiencia energética en alumbrado público*. [en línea]. <http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/Docs/Alumbrado_publico-CNEE-2-11-2014_Miniforo_MEM-CYTED.pdf>. [Consulta: 26 de marzo de 2018].
14. ————. *Guía práctica para la eficiencia energética en el sector público guatemalteco*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/Docs/Guatemala%20energia.pdf>>. [Consulta: 25 de marzo de 2018].
15. ————. *Marco legal del subsector eléctrico de Guatemala. Compendio de leyes y reglamentos*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LeyGeneraldeElectricidad2014.pdf>>. [Consulta: 18 de febrero de 2018].
16. Constru Sur. *Procedimiento general operativo para trabajos en media tensión*. [en línea]. <<http://www.construsur.com.ar/Article414.html>> [Consulta: 8 de junio de 2018].
17. Decreto 1441 del Congreso de la República de Guatemala. *Código de Trabajo. Capítulo V: obligaciones de los patronos*. Guatemala: 5 de mayo de 1971. 200 p.
18. Departamento de Trabajo de los EE. UU. *Administración de seguridad y salud ocupacional. Todo sobre la OSHA*. Estados Unidos: 2016. 44 p.

19. DÍAZ, Frida. *Constructivismo y aprendizaje significativo*. [en línea]. <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/virtuami/file/Diaz_Barriga1.pdf>. [Consulta: 06 de febrero de 2018].
20. Elettronica Veneta. *Manual general de refrigeración*. [en línea]. <<http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/ManualesIng/03/MANUAL-G-REF-O.pdf>>. [Consulta: 11 de marzo de 2018].
21. MCQUISTON, Faye. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. México: Limusa Wiley, 2007. 613 p.
22. NFPA 70 E. *Standard for electrical safety in the workplace*. Estados Unidos: 2018. 102 p.
23. Real Decreto 614/2001. *Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico*. España: 8 de junio de 2001. 96 p.
24. ROSALES, José. *Motores eléctricos para la industria*. [en línea]. <http://www.usmp.edu.pe/vision2016/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf>. [Consulta: 13 de abril de 2018].
25. Sistema HTF. *La función del sistema de bombeo*. [en línea]. <<http://www.sistemahtf.com/index.php/el-sistema-de-bombeo>>. [Consulta: 30 de abril de 2018].
26. WEG. *Motores de inducción trifásicos – Línea máster*. [en línea]. <<http://www.weg.net/catalog/weg/ES/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Motores-de-Inducci%C3%B3n---Media-Alta-Tensi%C3%B3n/Motores-de-Inducci%C3%B3n->

Trif%C3%A1sico/Motores-NEMA/L%C3%ADnea-Master/Motores-de-Inducci%C3%B3n-Trif%C3%A1sico---L%C3%ADnea-Master/p/MKT_WEN_MLINE>. [Consulta: 13 de abril de 2018].

27. _____ . *Motores de inducción.* [en línea]. <<http://www.electricmachinery.com/products-Induction-Motors.html>>. [Consulta: 14 de abril de 2018].
28. _____ . *Motores sincrónicos.* [en línea]. <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-sincronicos-50027895-catalogo-espanol.pdf>>. [Consulta: 13 de abril de 2018].

ANEXOS

Para realizar el inciso 9 de la autoevaluación del capítulo 4.6.1 se debe hacer uso de las siguientes fórmulas.

Anexo 1. Código de arranque de motores

Letter Designation	kVA per Horsepower*	Letter Designation	kVA per Horsepower*
A	0.00-3.15	K	8.0-9.0
B	3.15-3.55	L	9.0-10.0
C	3.55-4.0	M	10.0-11.2
D	4.0-4.5	N	11.2-12.5
E	4.5-5.0	P	12.5-14.0
F	5.0-5.6	R	14.0-16.0
G	5.6-6.3	S	16.0-18.0
H	6.3-7.1	T	18.0-20.0
J	7.1-8.0	U	20.0-22.4
		V	22.4-and up

*Locked kVA per horsepower range includes the lower figure up to, but not including, the higher figure. For example, 3.14 is designated by letter A and 3.15 by letter B.

Fuente: National Electrical Manufacturers Association. *Nema standards publication MG 1-2009: motors and generators*. 2009. Section II, part 10, page 8.

Anexo 2. Fórmulas para cálculos eléctricos

To Find...	Direct Current	Alternating Current		
		Single Phase	Two-Phase* Four-Wire	Three Phase
Amperes when Horsepower is known	$\frac{HP \times 746}{E \times EFF}$	$\frac{HP \times 746}{E \times EFF \times PF}$	$\frac{HP \times 746}{2 \times E \times EFF \times PF}$	$\frac{HP \times 746}{E \times EFF \times PF \times 1.73}$
Amperes when Kilowatts are known	$\frac{KW \times 1000}{E}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times PF}$	$\frac{KW \times 1000}{2 \times E \times PF}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times PF \times 1.73}$
Amperes when "KVA" is known		$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{2 \times E}$	$\frac{KVA \times 1000}{E \times 1.73}$
Kilowatts	$\frac{E \times I}{1000}$	$\frac{E \times I \times PF}{1000}$	$\frac{I \times E \times 2 \times PF}{1000}$	$\frac{E \times I \times 1.73 \times PF}{1000}$
Kilovolt-Amperes "KVA"		$\frac{I \times E}{1000}$	$\frac{I \times E \times 2}{1000}$	$\frac{E \times I \times 1.73}{1000}$
Horsepower (Output)	$\frac{E \times I \times EFF}{746}$	$\frac{E \times I \times EFF \times PF}{746}$	$\frac{I \times E \times 2 \times EFF \times PF}{746}$	$\frac{E \times I \times EFF \times PF \times 1.73}{746}$
E = Voltage / I = Amps / PF = Power Factor / EFF = Efficiency / HP = Horsepower				

NOTE: Direct Current formulae do not use (PF, 2, or 1.73); Single phase formulas do not use (2 or 1.73); Two phase-four wire formulas do not use (1.73); Three phase formulas do not use (2)

* For three-wire, two phase circuits, the current in the common conductor is 1.41 times the current in either of the other two conductors.

Fuente: Elliot Electric Supply. *Electrical formulae for calculating amps, horsepower, kilowatts & KVA.*

http://www.elliotelectric.com/StaticPages/ElectricalReferences/Calculations/Electrical_Formulas.aspx Consulta: 2018.

Anexo 3. Cálculo de potencias para motores

POTENCIAS PARA MOTORES		5 99
<p>1) Potencia necesaria en una máquina</p> $P = \frac{M \cdot n}{9.550 \cdot \eta m}$ $P = \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta m}$ <p style="text-align: right;"> P — potencia en Kw. M — par de giro de la máquina en Nm. n — número de revoluciones por minuto. ηm — rendimiento de la máquina. F — fuerza (peso, fricción) en N. v — velocidad en m/s. </p>		
<p>2) Potencia absorbida por un motor trifásico</p> $P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$ $P_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{735}$ $P_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1.000}$ <p style="text-align: right;"> P₁ — en W. P₂ — en CV. P₃ — en Kw. U — tensión nominal en V. I — intensidad nominal en A. cos φ — factor de potencia. </p>		
<p>3) Potencia desarrollada por un motor trifásico</p> $P = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{1.000}$ <p style="text-align: right;"> P — en Kw. η — rendimiento del motor a la potencia nominal. </p>		
<p>4) Potencia absorbida por un motor de corriente continua</p> $P = U \cdot I$ $P_1 = \frac{U \cdot I}{1.000}$ <p style="text-align: right;"> P — en W. U — tensión de inducido en V. I — intensidad nominal en A. P₁ — en Kw. </p>		
<p>5) Potencia absorbida por un motor monofásico de corriente alterna</p> $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ $P_1 = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1.000}$ <p style="text-align: right;"> P — en W. P₁ — en Kw. </p>		
<p>6) Equivalencias</p> <p> 1 CV ≈ 736 W (735,4987 W) 1 HP ≈ 746 W (745,6999 W), caballo de vapor inglés 1 Kw = 1.000 W 1 Kw = 1,36 CV 1 MW = 10⁶ W = 1.000 Kw </p>		

Fuente: ANDRINO, Otto. *Potencias para motores*. p 99.

Anexo 4. Cálculo de potencias para máquinas

POTENCIAS PARA MAQUINAS		5 100
POTENCIA DE UN MOTOR PARA MECANISMOS DE ELEVACION		
$P = \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta}$ $F = m \cdot g$	P — potencia mínima del motor en Kw. F — fuerza resistente a la marcha en N. v — velocidad en m/s. η — rendimiento mecánico. g — aceleración (9,81).	
POTENCIA DE UN MOTOR PARA UN MECANISMO GIRATORIO		
$P = \frac{M \cdot n}{9.550 \cdot \eta}$	P — potencia mínima del motor en Kw. M — par de giro en Nm. n — revoluciones · min ⁻¹ . η — rendimiento.	
POTENCIA DE UN MOTOR PARA EL ACCIONAMIENTO DE GRUAS CON ACCIONAMIENTO UNILATERAL DEL CARRO		
$P = P_1 \cdot \frac{mg + 2 (mc + mcar)}{\Sigma m}$	P — potencia en Kw. P ₁ — potencia mínima necesaria en Kw. mg — masa de la grúa en Kg. mc — masa del carro en Kg. mcar — masa de la carga en Kg.	
POTENCIA DE UN MOTOR PARA MECANISMO DE TRASLACION		
$P = \frac{F \cdot w \cdot v}{2 \pi \cdot 9.550 \cdot \eta}$	P — potencia en Kw. F — peso total en N. w — resistencia de traslación. 0,007 para cojinetes de rodillo. 0,020 para cojinetes de fricción. v — velocidad de traslación en m · min ⁻¹ . η — rendimiento mecánico.	
POTENCIA DE UN MOTOR PARA UN ASCENSOR		
$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta}$	P — potencia en Kw. F — fuerza en N. v — velocidad en m/s. η — rendimiento mecánico.	En ascensores y montacargas, el peso de la cabina y la mitad de la carga útil queda compensado por el contrapeso.
POTENCIA DE UN MOTOR PARA MECANISMOS DE ELEVACION		
$P = \frac{F \cdot v}{1.000 \cdot \eta}$	Esta fórmula es igual a la anterior, suprimiendo 1/2 por los conceptos de peso de la cabina y la mitad de la carga útil.	

Fuente: ANDRINO, Otto. *Potencias para máquinas*. p 100.

Anexo 5. Cálculo de potencias para máquinas

Potencias para máquinas		5 101
POTENCIA ABSORBIDA POR UN VENTILADOR		
$P = \frac{Q \cdot p \cdot 9,81}{1.000 \cdot \eta}$	P — potencia en Kw. Q — caudal en m ³ /s. p — presión en mm c.d.a. (columna de agua). η — rendimiento mecánico.	
POTENCIA PARA EL MOTOR QUE ACCIONA UNA BOMBA		
$P = \frac{Q \cdot d \cdot h}{\eta}$	P — potencia en Kw. Q — caudal en m ³ /s. d — peso específico en N/dm ³ . h — altura de la elevación en m. η — rendimiento mecánico.	
POTENCIA PARA ELEVACION DE AGUA		
$P = \frac{Q \cdot h}{75 \eta}$	P — potencia en CV. Q — caudal en m ³ /s. h — altura de la elevación en m. η — rendimiento mecánico.	
POTENCIAS PARA MAQUINAS DIVERSAS (Orientativas)		
a) Máquina herramienta para metales.		
— Torno revolver.	3 a	20
— Torno paralelo.	3 a	45
— Torno automático	1 a	15
— Fresadora	1 a	25
— Rectificadora.	1 a	30
— Martillos pilón	10 a	100
— Cizallas	1 a	40
— Máquinas de cortar y roscar.	1 a	20
— Taladradoras verticales	1 a	10
— Taladradoras radiales.	10 a	40
— Mandrinadoras.	10 a	30
b) Industria de la construcción.		
— Hormigoneras	3 a	6
— Muelas, perforadoras, sierras	1 a	3
— Cintas transportadoras.	2 a	5
c) Máquinas para trabajar madera.		
— Sierra de cinta	0,5 a	6
— Sierra circular	2 a	6
— Taladradoras	2 a	4
— Cepilladoras.	20 a	75
— Tornos.	1 a	15
d) Máquinas agrícolas.		
— Empacadoras de paja	2 a	5
— Trilladoras.	7 a	15
— Centrifugadoras de leche	0,5 a	3
— Elevadores de grano	1 a	3
— Elevadores de sacos	1 a	3
— Limpiadores de grano	1 a	3

Fuente: ANDRINO, Otto. *Potencias para máquinas*. p 101.

