

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECA'NICOS

17



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÓNICOS

COMISIÓCN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Selección de Equipo y Materiales Electromecánicos

ISBN: 978-607-626-025-8

D.R. © Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.
Tel. (55) 5174•4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México
Distribución gratuita. Prohibida su venta.
Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.
Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente

CONTENIDO

Presentación	IX
Objetivo general	XI
Antecedentes	XIII
1. Instrumentos de gestión	1
1.1. Marco jurídico	2
1.2. Marco normativo	2
2. Equipo eléctrico	5
2.1. Introducción	5
2.2. Motores	5
2.2.1. Tensión	5
2.2.2. Potencia	6
2.2.3. Eficiencia de motores de corriente alterna trifásicos de inducción	12
2.2.4. Enclaustramiento	13
2.2.5. Clase de aislamiento	15
2.2.6. Velocidad síncrona	16
2.2.7. Factor de servicio	16
2.2.8. Condiciones atmosféricas	17
2.3. Tipo de subestación	56
2.3.1. Condiciones de los locales y espacios.	56
2.3.2. Subestaciones abiertas	58
2.3.3. Subestación intemperie en poste o marco de postes	58
2.3.4. Subestación intemperie en marco de estructura metálica	60
2.3.5. Subestación intemperie en cuadro de estructura metálica	60
2.3.6. Subestaciones compactas	60
2.3.7. Subestación blindada en gas SF ₆	60
2.3.8. Subestaciones unitarias	76
2.4. Transformadores de distribución y potencia	80
2.4.1. Tipo de alimentación	80
2.4.2. Capacidad	80
2.4.3. Nivel básico de aislamiento	83
2.4.4. Clase de enfriamiento	83
2.4.5. Condiciones atmosféricas	83
2.4.6. Características de operación	84

2.5. Interruptores	95
2.5.1. Corriente nominal	95
2.5.2. Corrientes interruptivas de corto circuito	97
2.5.3. Tensión nominal	98
2.5.4. Tensión máxima	98
2.5.5. Tensión de control	98
2.5.6. Marco	98
2.5.7. Banda de tiempo	98
2.5.8. Secuencias de operación	99
2.5.9. Condiciones de operación	99
2.5.10. Condiciones atmosféricas	102
2.6. Coordinación de aislamiento	107
2.6.1. Tensión y sobretensiones	107
2.6.2. Tensión de aguante de coordinación	107
2.6.3. Nivel de aislamiento	107
2.6.4. Tensión máxima de los equipos	108
2.6.5. Condiciones atmosféricas	108
2.7. Aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado	112
2.7.1. Clasificación	112
2.7.2. Designación	112
2.7.3. Características eléctricas, mecánicas y dimensionales	112
2.8. Cuchillas seccionadoras en aire	116
2.8.1. Características	116
2.8.2. Tensión	116
2.8.3. Corriente	117
2.8.4. Nivel básico al impulso	117
2.8.5. Características operativas	118
2.8.6. Recomendaciones	118
2.8.7. Tipos de cuchillas	120
2.8.8. Cuchilla de doble apertura lateral central (TTT-7)	121
2.8.9. Condiciones atmosféricas	121
2.9. Selección de tableros	122
2.9.1. Características	122
2.9.2. Tensión nominal	130
2.9.3. Características normativas	130
2.9.4. Tensión de impulso y sostenida	130
2.9.5. Corriente	131
2.9.6. Grados de protección	132
2.9.7. Características de operación	132
2.9.8. Condiciones Atmosféricas	140
2.9.9. Tableros de transferencia	142

2.9.10. Variadores e inversores	143
2.10. Selección de Conductores	143
2.10.1. Tensión y ampacidad a temperatura nominal	158
2.10.2. Nivel de aislamiento	158
2.10.3. Materiales	160
2.10.4. Resistencia eléctrica	161
2.10.5. Aislamientos	164
2.10.6. Tamaño o designación	165
2.10.7. Aplicación	165
2.11. Transformadores de instrumentos	189
2.11.1. Tensión	190
2.11.2. Corriente	191
2.11.3. Relación de transformación	191
2.11.4. Clase de Precisión	192
2.11.5. Carga	193
2.11.6. Características de operación	197
2.11.7. Condiciones atmosféricas	198
2.12. Apartarrayos de óxido metálico	209
2.12.1. Clase	209
2.12.2. Tensión nominal y máxima continua del sistema	209
2.12.3. Tensión nominal	209
2.12.4. Corriente de descarga nominal	210
2.12.5. Tensión de aguante	210
2.12.6. Aguante del aislamiento	210
2.12.7. Aguante al impulso de corriente de larga duración	210
2.12.8. Nivel de contaminación	210
2.12.9. Condiciones de servicio	210
2.12.10. Condiciones de operación	212
2.13. Cortacircuitos fusible	217
2.13.1. Tensión	217
2.13.2. Corriente	217
2.13.3. Nivel básico de aislamiento	218
2.13.4. Corriente interruptiva	218
2.13.5. Condiciones de operación	218
2.13.6. Condiciones atmosféricas	219
2.13.7. Recomendaciones	219
2.14. Bancos y cargadores de baterías	227
2.14.1. Cargadores de baterías	227
2.14.2. Banco de baterías	230
2.14.3. Condiciones ambientales y atmosféricas	231
2.14.4. Condiciones de operación	231

2.15. Equipos auxiliares de control	235
2.15.1. Tipos de equipos o dispositivos	235
2.15.2. Clase	236
2.15.3. Características eléctricas	236
2.15.4. Condiciones de operación	238
2.15.5. Condiciones atmosféricas	239
2.15.6. Recomendaciones	240
2.16. Selección de arrancadores	246
2.16.1. Tamaño	246
2.16.2. Capacidad interruptiva	246
2.16.3. Fases	246
2.16.4. Tensión	248
2.16.5. Tipo de arranque	248
2.16.6. Clase	249
2.16.7. Tipo de bloqueo	250
2.16.8. Aplicación	250
2.16.9. Tipo de alambrado	250
2.16.10. Condiciones atmosféricas	251
2.16.11. Tipos de envolvente	251
2.16.12. Condiciones operativas	251
2.17. Lámparas de alta eficiencia	257
2.17.1. Lámparas fluorescentes	257
2.17.2. Lámparas de diodo emisor de luz (led)	257
2.17.3. Luminarias	258
3. Equipo mecánico	267
3.1. Bomba vertical rotodinámica	267
3.1.1. Definición de bomba vertical rotodinámica	267
3.1.2. Flujo radial	267
3.1.3. Flujo Axial	267
3.1.4. Flujo Mixto	267
3.1.5. Clasificación por configuración	267
3.2. Bombas rotodinámicas centrífugas	272
3.2.1. Definición de bomba rotodinámica centrífuga	272
3.2.2. Tipos de bombas centrífugas	272
3.2.3. Diagramas constitutivos	275
3.2.4. Tamaño de una bomba rotodinámica centrífuga	275
3.2.5. Bombas dimensionalmente intercambiables	275
3.2.6. Bombas idénticas	275
3.2.7. Rotor descubierto y conjunto rotatorio	275
3.2.8. Posición de la carcasa	277
3.2.9. Rotación de la flecha	278

3.3. Consideraciones generales	279
3.3.1. Velocidad	279
3.3.2. Cargas	279
3.3.3. Punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP)	281
3.3.4. Condiciones de succión	281
3.3.5. Potencia	282
3.3.6. Presiones de bombeo	283
3.3.7. Equilibrio del impulsor	283
3.4. Velocidad específica y velocidad específica de succión	284
3.4.1. Velocidad específica	284
3.4.2. Velocidad específica de succión	284
3.5. Introducción a la clasificación de bombas	285
3.6. Rendimiento de la bomba, criterios de selección	285
3.6.1. Requisitos del sistema de bombeo	285
3.6.2. Curvas del sistema contra curva de bomba	285
3.6.3. Transitorios hidráulicos	286
3.6.4. Análisis de puesta en marcha y apagado	287
3.6.5. Curva velocidad - par de bomba y motor	288
3.6.6. Consideraciones para el NPSH marginal	293
3.6.7. Niveles de Ruido	293
3.6.8. Gasto mínimo	294
3.6.9. Nomenclatura de bombas centrifugas	317
3.7. Válvulas	323
3.8. Tubería	324
3.8.1. Tubería de acero	324
3.8.2. Tubería plástica	325
3.9. Materiales	325
3.9.1. Corrosión y erosión en bombas de turbina vertical	325
3.9.2. Recubrimientos protectores	328
3.9.3. Materiales para bombas verticales rotodinámicas	328
4. Selección de grúas	329
4.1. Introducción	329
4.2. Alcances	329
4.3. Definición y clasificación	330
4.3.1. Grúas	330
4.3.2. Polipasto	330
4.4. Selección de grúas	330
4.4.1. Capacidad, claro e izaje	331
4.4.2. Clasificación de grúas	331
4.4.3. Velocidades de operación	333
4.4.4. Equipamiento	333

4.5. Selección de Polipastos	334
4.5.1. Clase	334
4.6. Selección de accesorios	335
4.6.1. Aparejo para todos los tipos	335
4.6.2. Gancho	335
4.6.3. Cable	335
4.6.4. Cadena	335
Conclusiones	339
Anexos	
A. Problemas	341
B. Listado de normas para selección de equipo y materiales electromecánicos	347
C. Glosario	351
D. Notas aclaratorias	367
D. Bibliografía	369
Índice de ilustraciones	371
Índice de tablas	375
Índice alfabético	382

PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: como una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por agua tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México.**

Director General de la Comisión Nacional del Agua



OBJETIVO GENERAL

El Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la República Mexicana y la labor de los centros de enseñanza.



ANTECEDENTES

Para cumplir con su objetivo, el Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS) está estructurado en cinco módulos, los cuales están organizados de acuerdo a funciones específicas dentro del organismo operador. El Módulo tres *Proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento* incluye 32 libros de diseño para los distintos elementos que intervienen en el proceso de producción y distribución de agua potable, así como de la captación, desalojo y tratamiento de aguas residuales. Específicamente, dentro de este módulo el MAPAS ofrece cuatro libros enfocados al diseño, selección e instalación de los equipos electromecánicos, los cuales son:

- LIBRO 15. CÁLCULO, ESTUDIO Y DISEÑO DE INSTALACIONES MECÁNICAS
- LIBRO 16. CÁLCULO, ESTUDIO Y DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS
- LIBRO 16. SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÑICOS
- LIBRO 18. INSTALACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPO ELECTROMECAÑICO

Por su parte el módulo cuatro *Operación y mantenimiento* cuenta con 14 libros que presentan procedimientos y recomendaciones para la operación y mantenimiento de redes de agua potable, alcantarillado y sistemas de tratamiento. Dentro de estos dos libros están enfocados al mantenimiento y optimización de los elementos y materiales electromecánicos, estos son:

- LIBRO 41. EFICIENCIA ENERGÉTICA, USO EFICIENTE Y AHORRO DE LA ENERGÍA
- LIBRO 43. PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO, OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE EQUIPO Y MATERIALES
ELECTROMECAÑICOS

Estos seis libros se interrelacionan y se complementan entre sí y con los 49 libros restantes del manual, por lo que para una correcta interpretación de la información contenida en estos, se debe considerar de forma integral el contenido de los seis libros.

De forma particular, este libro está enfocado a dar información necesaria para la selección del equipo eléctrico y mecánico de las instalaciones de un sistema de bombeo.

Este libro nos guiará de cierta forma para hacer la selección correcta de equipos y componentes eléctricos tales como el motor eléctrico, transformadores, cuchillas, tableros, conductores, apartarrayos, bancos y cargadores para acumuladores eléctricos, controles de estado sólido y otros aspectos que debemos considerar para realizar una buena elección de cada uno de ellos.

De igual forma se mencionará la parte mecánica para plantas de agua cruda y potable, las consideraciones y criterios a tomar para la selección de una bomba adecuada.

Se considera también de suma importancia mencionar que está íntimamente ligado a las instalaciones mecánicas el tema de pozos profundos y sus arreglos más típicos, que se presentan de cierta forma y que se interrelacionan a los datos del aforo y características técnicas del equipo de bombeo.

Sin ser menospreciadas las plantas de aguas residuales se brinda la información para la selección de su equipo ya que son de suma importancia para abastecer las necesidades y favorecer los recursos ambientales de la comunidad.

NOTA IMPORTANTE:

Considere que los lineamientos y recomendaciones indicadas en este libro, obedecen a la experiencia de los especialistas en el sector hídrico. En ningún caso se pretende sustituir a las normas oficiales, internacionales, extranjeras, ni la aplicación de la mejor práctica de la ingeniería por lo que debe considerarse como una guía para la instalación de equipos.

Palabras clave:

Motores eléctricos, transformadores de distribución y potencia, interruptores, cuchillas, tableros, conductores eléctricos, apartarrayos, cortacircuitos fusible, bancos y cargadores de baterías, equipos auxiliares de control, bombas verticales, bombas sumergibles, grúas.

1

INSTRUMENTOS DE GESTIÓN

En la actualidad en nuestro país enfrentamos grandes problemas energéticos, por lo que es conveniente contar con lineamientos que permitan a los organismos operadores ser eficientes al seleccionar equipos y materiales para un proyecto electromecánico, pues esto no solo consiste en la selección correcta del equipo de bombeo, sino también, en conocer el sistema hidráulico al cual está ligado; los niveles de eficiencia, dispositivos y accesorios necesarios para su funcionamiento, de lo contrario llevará a una baja eficiencia sin obtener ahorros sustantivos en su operación.

Aunado a ello debemos también considerar que el uso adecuado de la energía hará más eficiente la oferta del servicio de abastecimiento de agua potable a la población, así como la mejor operación de plantas de aguas residuales que favorezcan el uso racional de los recursos ambientales.

El personal responsable del organismo operador deberá ser personal calificado, cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, cálculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica. Deberá a su vez tomar en consideración el marco jurídico y normativo exis-

tente para justificar los criterios en la selección de equipo y material electromecánico requerido. El método utilizado para la determinación de la eficiencia electromecánica está fundamentado en Normas Oficiales Mexicanas, en tanto que para la predicción, causas de ineficiencia y otras recomendaciones, se basan en las Normas ANSI/HI, en publicaciones y experiencias.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano Administrativo, normativo, técnico, consultivo y desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para llevar a cabo las atribuciones que le han sido conferidas, y para apoyar lo anterior, trabaja en conjunto con diversas instancias en el ámbito federal, estatal y municipal; asociaciones de usuarios y empresas; instituciones del sector privado y social así como organizaciones internacionales. Por lo que tiene la misión y visión de:

Misión

Preservar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica con la responsabilidad de los órdenes de gobierno y la sociedad en general.

Visión

Ser una institución de excelencia en la preservación, administración de las aguas nacionales y la seguridad hídrica de la población.

Basado en lo anterior la CONAGUA busca apoyar a los responsables de los organismos operadores en la mejor toma de decisión en la instalación y montaje de equipo electromecánico, basados en instrumentos de gestión tanto en un marco jurídico, como en un marco normativo, de tal manera que ante cualquier eventualidad, pueda tenerse la certeza de que se procedió con base a la legislación y normatividad nacional, y reforzada por estándares internacionales.

1.1. MARCO JURÍDICO

A continuación se presenta el Marco Legal a fin de considerar las normas jurídicas que se establecen, iniciando en la Constitución Política y apoyándose en las diferentes leyes de carácter general con sus respectivos reglamentos para su aplicación, en materia de proyectos de agua, lo que debe hacerse, por lo que fundamentan el presente libro.

- Constitución política
- Ley de Aguas Nacionales
- Reforma energética en México
- Ley de Energía Geotérmica
- Ley de la Industria Eléctrica
- Ley de los órganos reguladores y coordinados en materia energética
- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Ley orgánica de la Administración Pública Federal
- Ley de la Comisión Reguladora de Energía
- Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Trasmisión Energética
- Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
- Ley del Sistema de Horario en los Estados Unidos Mexicanos
- Ley General del Cambio Climático
- Ley federal Sobre Meteorología y Normalización
- Ley de Planeación
- Reglamento de Ley de Aguas Nacionales
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Trasmisión Energética
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
- Reglamento de la Ley federal Sobre Meteorología y Normalización
- Otras leyes secundarias

1.2. MARCO NORMATIVO

A continuación se presenta el Marco Normativo que contiene los programas, normas y reglas específicas para realizar y atender proyectos de agua, obedeciendo lo señalado en el marco jurídico.

La ingeniería de selección de instalaciones mecánicas deberá estar de acuerdo a las partes apli-

cables de la siguiente normatividad, estándares y reglamentos vigentes:

- Plan Nacional de Desarrollo
- Plan Nacional Hídrico
- Programa Nacional de Normalización
- Normas Oficiales Mexicanas
- Normas Mexicanas
- Normas Internacionales
- Normas extranjeras
- Sistema General de Unidades de Medida

Nota Importante:

Para la correcta utilización de este libro es necesario consultar las siguientes normas:

NOM	Normas Oficiales Mexicanas
NMX	Normas Mexicanas
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
NEC	National Electric Code
ANSI/HI	Hydraulic Institute
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NEC	National Electric Code



2

EQUIPO ELÉCTRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se proporcionara información para la selección correcta de los elementos eléctricos necesarios para el funcionamiento de los sistemas de bombeo, tomando criterios y recomendaciones técnicas y normas para el funcionamiento idóneo de dichos componentes.

Cabe mencionar que en cada uno de los subtemas expuestos de este documento, contiene factores importantes a tomar en cuenta por el lector para una buena selección del equipo que quiera utilizar.

2.2. MOTORES¹

Los motores juegan un papel muy importante en la industria, es por eso importante hacer una buena selección de éstos conforme a las aplicaciones o el uso que se le destinara. Para ello hay ciertos criterios que el ingeniero proyectista puede hacerse para su ayuda como lo son: normas, capacidades operativas, tipos de carcasas o funcionamiento.

En la selección de motores las letras de código a rotor bloqueado, indica la entrada del motor con rotor bloqueado, y debe aparecer en un bloque individual de la placa de características, debidamente designada, como se muestra en la Tabla 2.1 Características y elementos de motores ver Ilustración 2.1 e Ilustración 2.2.

2.2.1. TENSIÓN

Las tensiones eléctricas nominales existentes para motores fraccionarios e integrales para servicio interior son, ver Tabla 2.2:

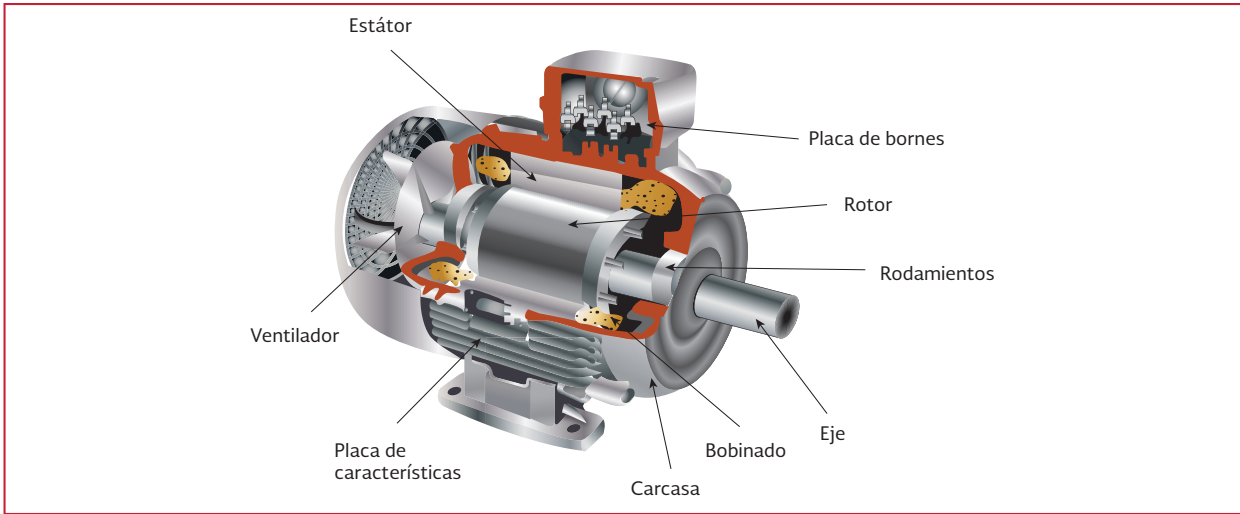
- a) Para motores monofásicos a plena carga :
120/ 240,volts
- b) Para motores trifásicos a plena carga:
208Y/120, 220Y/127, 480Y/127V volts
- c) Para motores sumergibles ver las tablas de fabricantes de características de estos

2.2.1.1.Motores de corriente alterna

1. Motores síncronos
2. Motores asíncronos
 - a) Monofásicos
 - Bobinado auxiliar
 - Espira en cortocircuito
 - Universal

¹ Fuente: NOM- 016-ENER, NOM-001-SEDE, NEC Handbook, NEMA MG1, NMX-J-075/1, NMX-J-098.

Ilustración 2.1 Sección de motor eléctrico



b) Trifásicos

- Rotor bobinado
- Rotor en cortocircuito (jaula de ardilla)

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas. Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna viene definida por la expresión (NOM- 016-ENER):

$$n = \frac{120f}{p} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde:

n = Número de revoluciones por minuto

- f = Frecuencia de la red
- p = Numero de pares de polos

2.2.2. POTENCIA

2.2.2.1.Par de arranque

Uno de los momentos más críticos para el motor, la red y la carga es el arranque. Por sus características propias, el motor jaula de ardilla consume durante el arranque una corriente que puede oscilar entre 5 y 8 veces la corriente nominal. El arranque es el periodo en el que el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad de régimen.

Para la red, la mejor condición de arranque es aquella en que este tiempo de transición es el mínimo posible y la corriente consumida es la mínima posible. Para el motor, la mejor condición de arranque es la que garantiza el menor calentamiento. Para la carga, la mejor condición es aquella que garantiza los menores desgastes mecánicos. En general, el tipo de arranque de

Ilustración 2.2 Motores verticales



cada aplicación debe ser analizado adecuadamente para lograr el mejor equilibrio entre las tres partes mencionadas previamente. Las características de la curva de carga y el momento de inercia tanto de motor como de carga, deberían ser consideradas en este análisis. Junto con criterios técnicos se considerarán criterios económicos. Existen los siguientes tipos de arranque:

1. **Directo.** El motor tendrá una corriente de arranque normal (hasta ocho veces la corriente nominal) y un par de arranque normal
2. **Estrella-Triángulo.** La corriente y el torque se reducen a la tercera parte (hasta tres veces la corriente nominal)
3. **Por Autotransformador.** El autotransformador es fabricado para entregar al motor una tensión menor de la nominal. Esta tensión puede estar entre el 30% y el 70% dependiendo de la aplicación. La corriente y el torque variarán en proporción cuadrática a la tensión de alimentación
4. **Arranque electrónico suave.** En este método, el arrancador alimenta el motor con una tensión reducida y gradualmente aumenta la tensión hasta la tensión de régimen. El comportamiento inicial de la corriente y el torque será idéntico al método 3, pero el comportamiento durante todo el periodo de transición dependerá de la manera como el arrancador suave sea controlado
5. **Variador de velocidad (o variador de frecuencia).** Mediante este método, se logra limitar la corriente de arranque a valores de hasta dos veces la corriente nominal, mientras se obtiene un torque

de arranque adecuado para cualquier aplicación. Además, la transición será la más suave posible de todos los métodos. Mecánicamente, es la mejor forma de hacer la operación, además de que permite realizar control de velocidad preciso, gracias a los avances de la electrónica de potencia y control

En los primeros tres métodos se da una transición brusca desde el reposo hasta su velocidad de régimen. En los métodos 2 y 3, adicionalmente se da una transición desde el estado de tensión reducida a tensión plena. En el método 4, se logra una transición menos brusca, pero aún con algunos saltos, pues lo que se está controlando es la tensión de alimentación. En el método 5, se logra una transición mucho más suave, pues se está controlando efectivamente la velocidad del motor y de la carga.

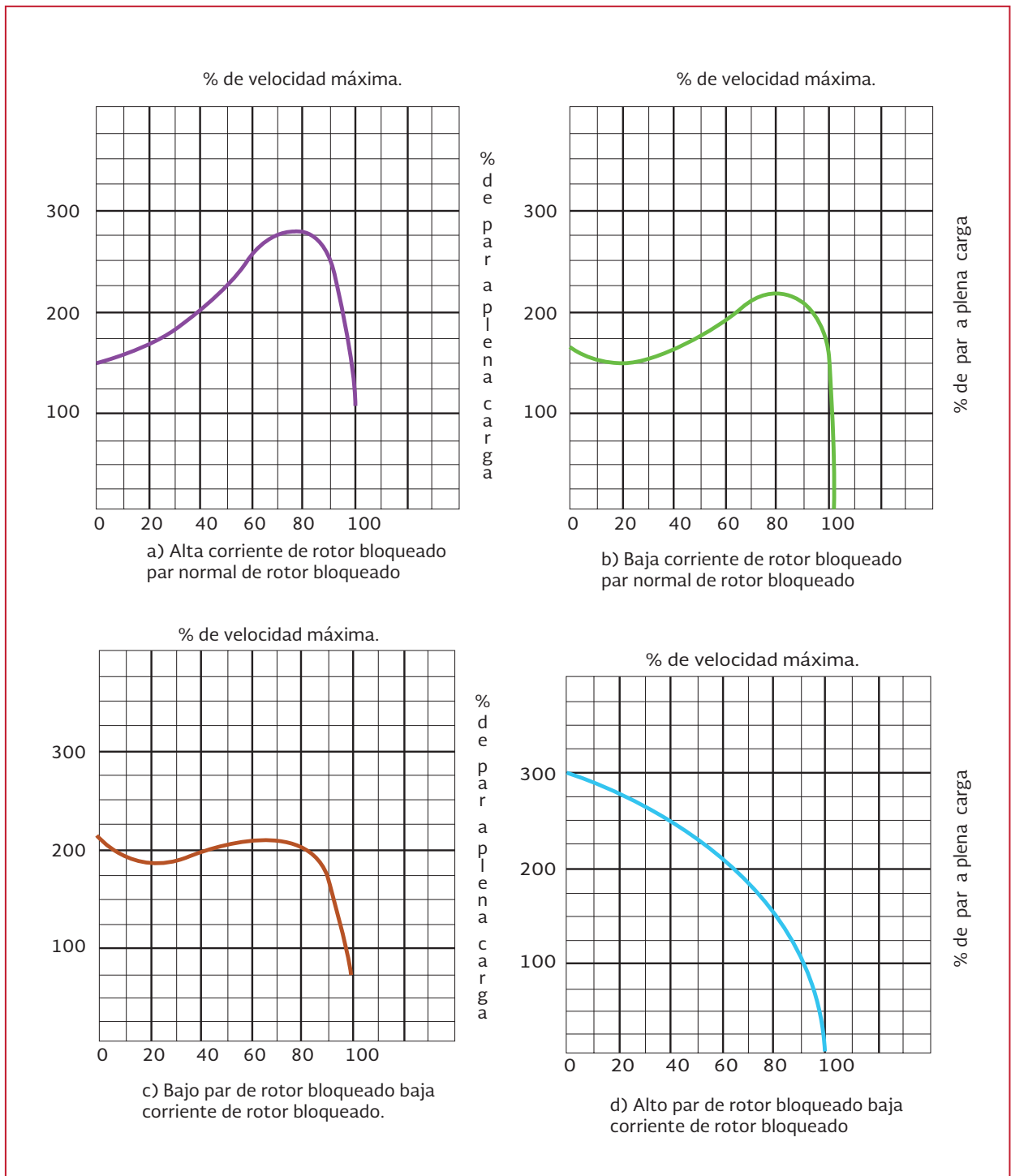
El comportamiento del par mecánico durante el arranque de un motor depende del diseño propio del mismo. Para cubrir las necesidades de las diferentes cargas acopladas a un motor, NEMA ha clasificado los motores de acuerdo a sus características de par-velocidad durante el arranque; en la Ilustración 2.3 se indica dicha clasificación. En la Tabla 2.3, Tabla 2.4, Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7 se incluyen otros valores normalizados.

2.2.2.2. Protección de los motores eléctricos

La protección de motores es una función esencial para asegurar la continuidad del funcionamiento de las máquinas. La elección de los dispositivos de protección debe hacerse con sumo cuidado.

Los fallos en los motores eléctricos pueden ser, como en todas las instalaciones, los derivados de cortocircuitos, sobrecargas y los contactos indirectos

Ilustración 2.3 Diseño NEMAS alto par de rotor y baja corriente a) Nema A, b) Nema B, c) Nema C y d) Nema D



tos. Los más habituales suelen ser las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la intensidad absorbida por el motor, así como por el aumento de la temperatura de éste.

Cada vez que se sobrepasa la temperatura normal, los aislamientos se desgastan prematuramente. Los efectos negativos no son inmediatos, con lo que el motor sigue funcionando aunque a la larga estos efectos pueden provocar las averías antes expuestas. Por ello, las protecciones utilizadas para motores eléctricos suelen ser, entre otras:

Protección contra contactos directos e indirectos

La protección contra contactos directos e indirectos se realiza mediante la colocación de interruptores diferenciales complementados con la toma de tierra.

Protección contra sobrecargas y cortocircuitos

Las sobrecargas en los motores eléctricos pueden aparecer por exceso de trabajo de éstos, desgaste de piezas, fallos de aislamiento en los bobinados o bien por falta de una fase. Para proteger las sobrecargas y cortocircuitos se hace uso de los fusibles y los interruptores magnetotérmicos.

Los interruptores magnetotérmicos han de ser del mismo número de polos que la alimentación del motor. Para la protección de motores y transformadores con puntas de corriente elevadas en el arranque estarán dotados de curva de disparo tipo D en la que el disparo térmico es idéntico a los demás y el disparo magnético se sitúa entre diez y veinte veces la intensidad nominal (I_n). De esta forma, pueden soportar el momento del arranque sin que actúe el disparo térmico desconectando toda la instalación. La protección

mediante fusibles es algo más complicada, sobre todo en los motores trifásicos, ya que éstos proporcionan una protección fase a fase, de manera que en caso de fundir uno solo, dejan el motor funcionando en dos fases y provocan la sobrecarga.

Por eso, no se montan en soportes unipolares, sino que se utilizan los seccionadores portafusibles que, en caso de disparo de uno de ellos, cortan de forma omnipolar desconectando toda la instalación. En la Ilustración 2.4 podemos ver un seccionador fusible trifásico y su representación esquemática. Hemos de recordar que los fusibles adecuados para proteger instalaciones que alimentan motores eléctricos son los del tipo G.

Con objeto de simplificar y mejorar las protecciones en los accionamientos manuales de motores eléctricos, aparecen los disyuntores, que pueden proteger contra cortocircuitos (disyuntores magnéticos) o contra cortocircuitos y sobrecargas (disyuntores magnetotérmicos). El disyuntor magnético incorpora para su funcionamiento un corte magnético similar al del interruptor magnetotérmico, dotando a la instalación de una protección contra cortocircuitos más eficaz que los fusibles, ya que cortan la instalación en un tiempo menor, si bien hay que dotar a la instalación de otra protección contra las sobrecargas, ver Ilustración 2.5.

El disyuntor magnetotérmico, también llamado disyuntor motor, ver Ilustración 2.6 aporta una protección mucho más eficaz a las instalaciones de alimentación de motores eléctricos, ya que proporciona el corte magnético para proteger los posibles cortocircuitos. Además, incorpora un corte térmico similar al del interruptor magnetotérmico pero, a diferencia de este, el

Ilustración 2.4 Seccionador fusible trifásico y su presentación

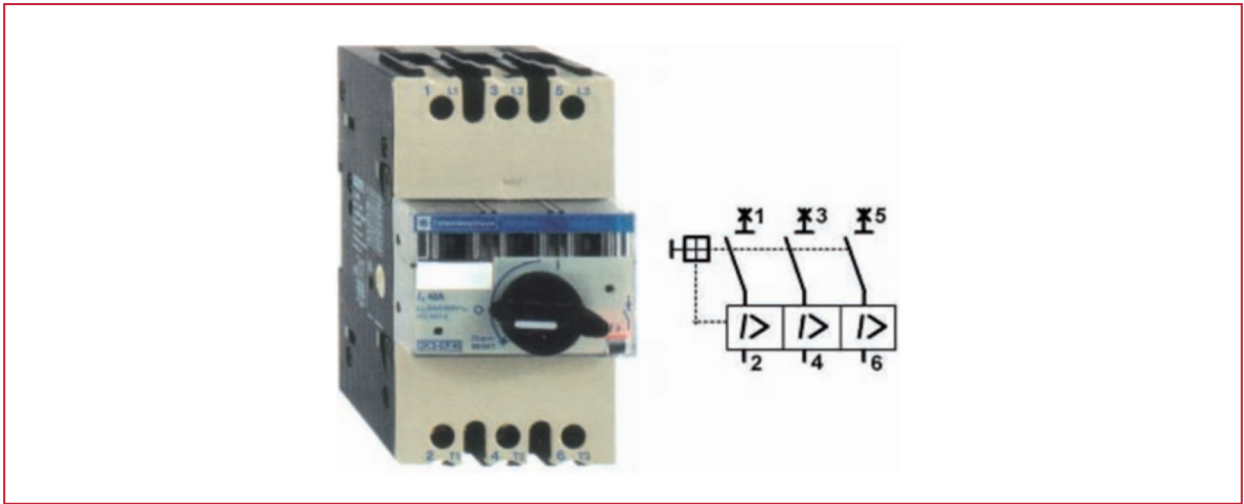
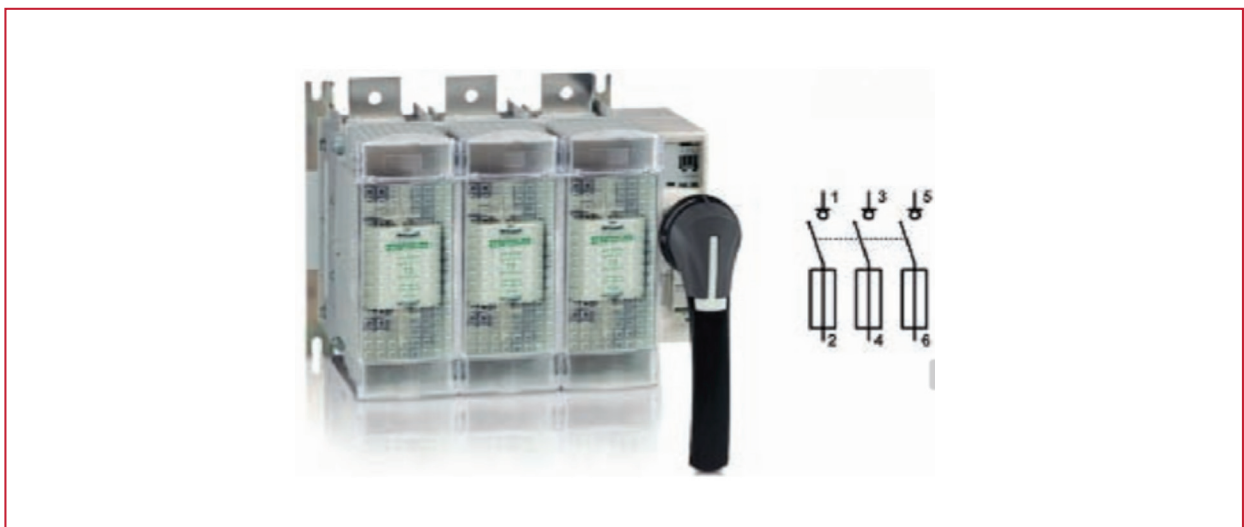


Ilustración 2.5 Disyuntor magnético trifásico y su presentación



Ilustración 2.6 Distintos modelos de disyuntores magnetotérmicos trifásicos y su representación



disyuntor motor tiene la posibilidad de ajustar la intensidad de corte por sobrecarga. Estos aparatos simplifican enormemente los accionamientos de motores y agrupan en un solo aparato las protecciones contra las averías más frecuentes. También aportan la ventaja de poder realizar la reposición del servicio de forma cómoda y rápida una vez solucionada la avería. En los siguientes esquemas se representa el accionamiento de un motor trifásico de corriente alterna mediante disyuntor magnético, ver Ilustración 2.7 e Ilustración 2.8. Observa que en el primero hay que dotar a la instalación de un seccionador fusible para la protección de las sobrecargas.

2.2.2.3.Motores monofásicos

Los valores de corriente a plena carga corresponden a motores que funcionan a la velocidad usual y motores con características normales de par. Las tensiones listadas son las nominales de los motores. Las corrientes listadas deben utilizarse para sistemas de tensiones nominales, ver Tabla 2.8.

Para corriente a plena carga de motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con correas bandas y a motores con características normales de par la corriente en el conductor común de un sistema de dos fases de 3 hilos será de 1.41 veces el valor dado. Las tensiones relacionadas son las nominales de los motores, ver Tabla 2.9. A continuación se muestran valores para selección de motores monofásicos sumergibles ver Tabla 2.10, Tabla 2.11, Tabla 2.12. Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia son típicos y pueden variar entre fabricantes, Referencia tomada de manual de fabricante de motores manual de proveedor.

2.2.2.4.Motores trifásicos

Los valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión como los mostrados en la Tabla 2.13.

Se muestran valores para selección de motores trifásicos sumergibles en la Tabla 2.14, Tabla 2.15, Tabla 2.16, Tabla 2.17, Tabla 2.18. Para las longitudes del conductor en algunas tablas la numeración en negritas cumple con el amperaje del U.S. NEC sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.

2.2.3. EFICIENCIA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

En la Tabla 2.19 y Tabla 2.20 se muestra la eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento donde los valores de la eficiencia nominal de la Columna A se obtienen a partir del 90%, con incrementos de pérdidas del 10%, los valores de eficiencia mínima asociada de la Columna B, se obtienen incrementando las pérdidas en un 20%.

2.2.3.1.Factor de potencia

El factor de potencia será dado por el fabricante conforme a diseño de fábrica.

Ilustración 2.7 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético trifásico y seccionador fusible

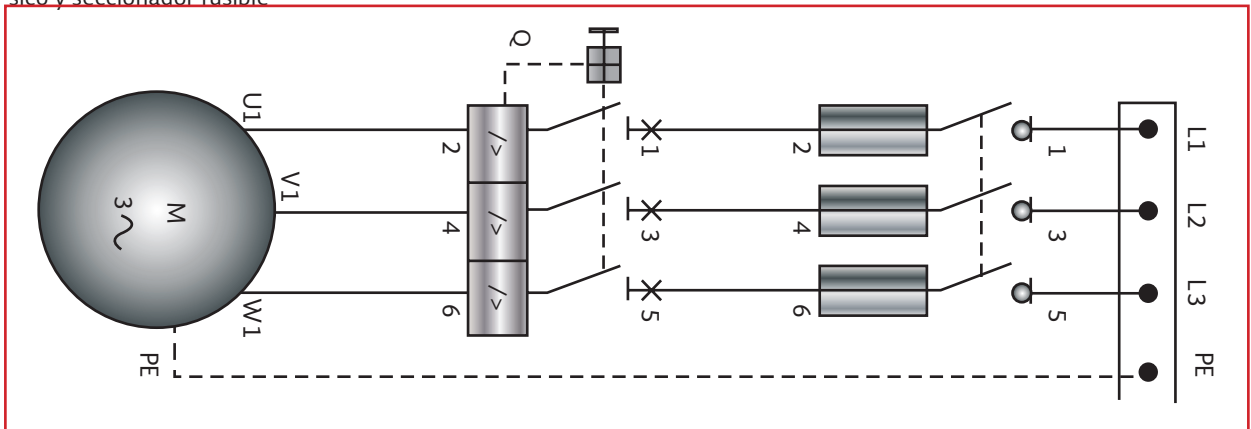
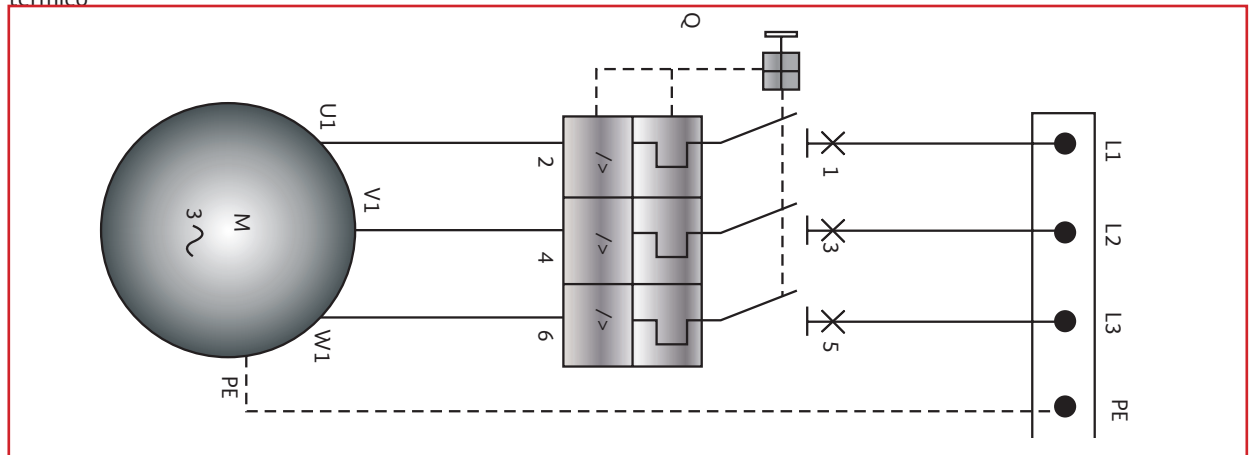


Ilustración 2.8 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético térmico



2.2.4. ENCLAUSTRAMIENTO

La selección de la protección mecánica de un motor debe ser de acuerdo al tipo de instalación y a las condiciones ambientales que se tengan en el sitio de instalación, ver Tabla 2.21. Esta protección puede ser para:

a) Motor abierto

Motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través de los embobinados del motor.

b) Motor a prueba de goteo

Motor que tiene las aberturas de ventilación en tal forma que, gotas de un líquido o partículas sólidas que caigan sobre el motor a un ángulo no mayor de 15°, con respecto a la vertical, no puedan penetrar al motor, ya sea directamente o pegando en él y resbalando hacia adentro.

c) Motor a prueba de salpicaduras

Motor que tiene aberturas para ventilación en tal forma, que gotas de un líquido o partículas

sólidas que caigan sobre él, o dirigiéndose hacia éste en línea recta, a cualquier ángulo no mayor de 100° con respecto a la vertical, no puedan penetrar en el motor, ya sea directamente o pegando en él y resbalando hacia adentro.

d) Motor con guarnición

Motor en el que todas las aberturas que dan acceso directo a partes vivas o rotatorias (excepto ejes lisos), están limitadas en tamaño por el diseño estructural de las partes o cubiertas de mallas o telas metálicas, o materiales equivalentes, con el objeto de prevenir un contacto accidental con dichas partes. Estas aberturas no deben permitir el paso de una barra cilíndrica de 13 mm de diámetro, excepto cuando la distancia de protección a las partes vivas o rotatorias es mayor de 100 mm en cuyo caso no deben permitir el paso de una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro.

e) Motor semiguarnecido

Motor en el cual parte de las aberturas de ventilación, generalmente la mitad superior, están protegidas como se indica para el motor con guarnición.

f) Motor a prueba de goteo, con guarnición

Es aquel motor a prueba de goteo en el cual las aberturas de ventilación están protegidas como se indica para el motor con guarnición.

g) Motor protegido para intemperie

Motor con pasajes de ventilación, que reducen a un mínimo la entrada de lluvia, nieve o partículas suspendidas en el aire, a las partes eléctricas del mismo.

Su construcción es tal, que una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro como máximo, no puede penetrar por los pasajes de ventilación.

h) Motor totalmente cerrado

Es aquel cuyo armazón impide el cambio libre de aire entre el interior y el exterior del motor, sin llegar a ser hermético.

i) Motor a prueba de agua

Motor totalmente cerrado, construido en tal forma que un chorro de agua no haga contacto con su lubricante, chumaceras o embobinados.

j) Motor protegido contra intemperie tipo I

Es una máquina abierta cuyas entradas para ventilación se constituyen para disminuir al mínimo la entrada de lluvia, partículas aéreas, polvo y evitar entrada de una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro. Antes de entrar en contacto con el aislamiento de los devanados el aire debe tener un cambio de dirección de 90° como mínimo.

k) Motor protegido contra intemperie tipo II con filtros

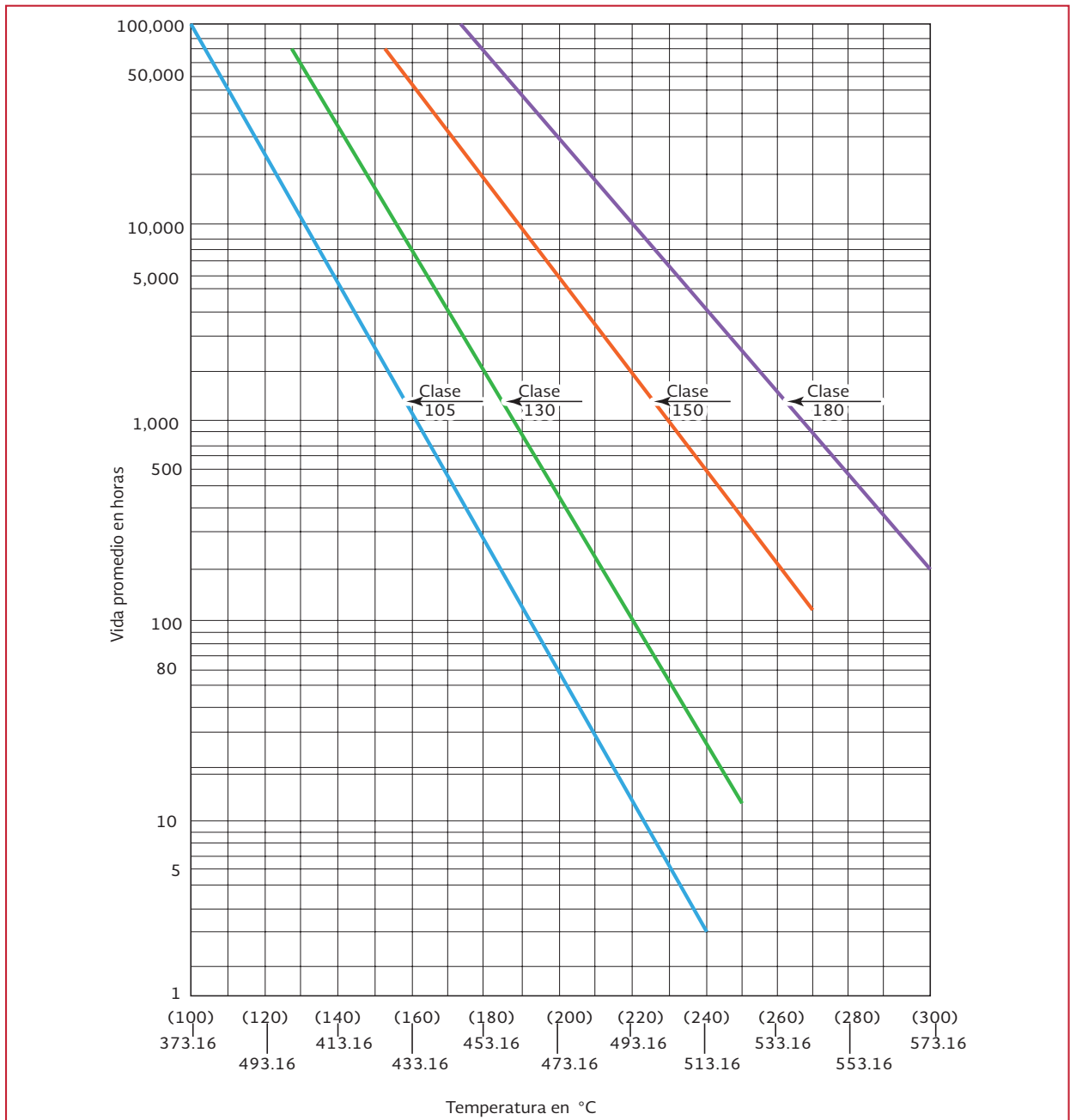
Es una máquina abierta cuyas entradas y conductos para ventilación fuerzan al aire a tener como mínimo tres cambios de dirección de 90° y con una sección con velocidad máxima de 183 m/min. Antes de entrar en contacto con el aislamiento de los devanados, para evitar la entrada de agua y mediante los filtros también se evita la entrada de polvo.

2.2.5. CLASE DE AISLAMIENTO

La temperatura máxima a la cual puede trabajar un motor, sumando la temperatura ambiente más la temperatura propia de funcionamiento, queda limitada por la temperatura correspondiente a la clase de aislamiento con que está construido. Las clases reconocidas de materiales aislantes y las

temperaturas máximas de operación que se les han asignado se muestran en la Tabla 2.22. La vida promedio aproximada de los devanados de un motor está en función de la clase de aislamiento y a la temperatura de operación. Cuando la temperatura de operación es mayor a la clase de aislamiento (ver Tabla 2.23), la vida promedio del motor se reduce, ver la Ilustración 2.9.

Ilustración 2.9 Vida promedio aproximada de los devanados de un motor en función de la clase de aislamiento y la temperatura de operación



Fuente: NMX-J-75/1

La temperatura ambiente y permisible para las diferentes clases de aislamiento se indica en la Ilustración 2.10. Para motores sumergibles la temperatura del motor no debe ser mayor que la permisible de operación, para los cojines radiales y de empuje en ningún caso excederá la máxima permitida para la clase de aislamiento de los devanados. Aunque para bajas temperaturas en motores sumergibles, representan una ventaja al tener una disminución de temperatura en los devanados del motor, se recomienda que éstas no sean inferiores a los 6°C (de acuerdo a fabricante).

2.2.6. VELOCIDAD SÍNCRONA

Para la selección de equipos adquiridos en el extranjero deberá verificarse que los motores sean de la frecuencia normalizada en México.

Las velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos se indican en la Tabla 2.24 y Tabla 2.25.

2.2.7. FACTOR DE SERVICIO

El factor de servicio a frecuencia y tensión nominal debe ser igual a 1.

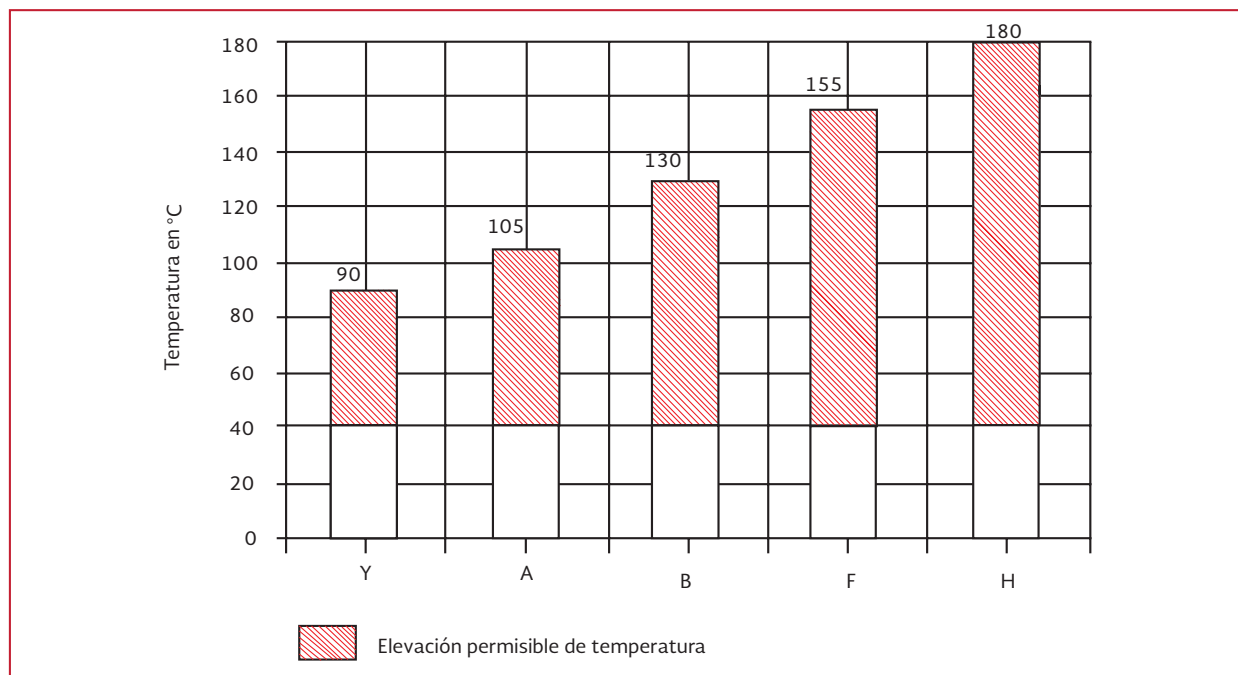
2.2.7.1. Servicio periódico

La operación en serie de ciclos idénticos, compuesto de cada uno de ellos de un período de operación a carga nominal, seguido de un período de reposo durante el cual el motor permanece totalmente estático, con su alimentación suprimida, debe ser suficiente para alcanzar el equilibrio térmico, ya sea durante el funcionamiento o reposo del motor.

2.2.7.2. Servicio continuo con carga intermitente

En una serie de ciclos idénticos, compuesto cada uno de ellos de un período a carga normal, seguida de un período sin carga únicamente, de-

Ilustración 2.10 Temperatura para las distintas clases de aislamiento



Fuente: NMX-J-75/1

ben ser suficientes para alcanzar el equilibrio térmico, ya sea durante el funcionamiento con carga o sin ella, ver Tabla 2.26.

Cualquier motor debe ser considerado como de ciclo continuo, a menos que la naturaleza de los aparatos que accione sea tal que el motor no operará continuamente con carga bajo cualquier condición de operación (NOM-001-SEDE).

2.2.7.3. Requisitos de la carga acoplada

La carga mecánica acoplada al motor (bomba), impone ciertos requerimientos que definen algunas características del motor. Para motores horizontales considere, que de acuerdo a su diseño, éstos deben tener su eje de rotación paralelo a su plano de montaje.

Para motores verticales considere que su posición de acuerdo a diseño, debe ser con su eje de rotación perpendicular a su plano de montaje.

2.2.8. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones ambientales que influyen en la selección de un motor son:

2.2.8.1. Altitud

Los motores podrán operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m. para exposición a temperatura ambiente entre 10°C y 40°C, y a 2 300 m.s.n.m. para una exposición a temperatura ambiente entre 10°C y 30°C (condición normal de servicio). Para cualquier valor diferente a los antes mencionados, se deberá consultar al fabricante.

Puede utilizar la siguiente ecuación para calcular la elevación de temperatura corregida en grados Celsius de un motor en función de la densidad del aire:

$$T_1 = T_2 \left(1 - \frac{H - 1000}{10000} \right)$$

Ecuación 2.2

donde:

T_1	=	Elevación de temperatura referida al nivel del mar
T_2	=	Elevación de temperatura en grados centígrados
H	=	Altura sobre el nivel del mar donde se vaya a situar el motor

A grandes altitudes, el aire es menos denso y menos eficaz para el enfriamiento, esto permite que en casi todos los motores la temperatura aumente alrededor del 5% por cada 300 m (1.000 pies) de altitud.

2.2.8.2. Tipo de instalación

Interior o exterior

2.2.8.3. Temperatura máxima y mínima

La temperatura máxima a la cual puede operar un motor, sumando la temperatura ambiente más la propia de funcionamiento, queda limitada por la temperatura correspondiente a la clase de aislamiento con que está construido el motor, ver Ilustración 2.10. Bajo condiciones normales de servicio considere una temperatura ambiente máxima de 40°C, a 1 000 m.s.n.m.

2.2.8.4. Nivel de humedad del lugar de instalación

El nivel de humedad estará determinado por el sitio de instalación y la humedad relativa del aire medida en la zona de instalación

2.2.8.5. Contaminantes en el aire

En general, los contaminantes presentes en el aire son:

- a) Polvo excesivo
- b) Humedad excesiva, en lugares lluviosos
- c) Muy baja humedad, en lugares semidesérticos o desérticos
- d) Humedad y salinidad, en lugares cercanos al mar
- e) Humedad y alta temperatura, en lugares calurosos con lluvias abundantes

Además de otras sustancias que al combinarse con agua o con aire húmedo se convierten en sustancias corrosivas. Éstas pueden existir en lugares desérticos o cercanos a las playas, así como en lugares con vientos de alta velocidad. Con la información de los puntos anteriores y las especificaciones para motores de inducción, jaula de ardilla, en potencias grandes, seleccione el motor requerido y para motores sumergibles se incluirán los siguientes datos:

2.2.8.6. Profundidad

Las bombas deben instalarse con tal profundidad que éstas garanticen la columna de agua requerida, por arriba de la entrada de la bomba según la profundidad necesaria a partir del cuerpo

de la válvula check y debajo del nivel dinámico. En ningún caso el nivel de agua arriba de la bomba, deberá exceder de 120 m, con instalación máxima de profundidad hasta 400 m.

2.2.8.7. Contaminación en el agua

Este tipo de motores sumergibles podrán ser instalados en aguas negras, salubres, incrustantes, etcétera.

2.2.8.8. Salinidad

El grado de salinidad se indicará de forma específica de acuerdo al sitio de instalación (mar, pozo, etcétera). La protección de todas las instalaciones metálicas contra la corrosión debe aplicarse desde la etapa de construcción para proyectos nuevos, así como en sustituciones, modificaciones y/o remodelaciones siendo la galvanización por inmersión en caliente una opción rentable y con mayor vida útil antes de requerir mantenimiento, para aquellos componentes susceptibles de ser galvanizados.

En caso de algunos equipos se tendrá que buscar que el fabricante especifique los siguientes puntos:

1. Materiales: características del material a galvanizar
2. Recubrimientos de zinc: condiciones del baño de zinc
3. Espesores mínimos del recubrimiento
4. Medición del espesor del recubrimiento galvanizado
5. Requerimientos de diseño
6. Sistemas Dúplex

2.2.8.9. Accesorios

RTD (Detector térmico de resistencia)

Son utilizados para obtener lecturas de calentamiento de arrollamientos, siendo éstos de cobre, platino y níquel, su empleo dependerá de las disposiciones de protección que se tengan y generalmente son utilizados en motores de media tensión. ver Ilustración 2.11.

Resistencias calefactoras

Son utilizadas principalmente en ambientes tropicales húmedos y en donde se pueda acumular

humedad dentro del motor, se recomienda emplearlo en motores de 50 h.p. y mayores.

Chumaceras y rodamientos

Su utilización dependerá de la carga dinámica y estática de la flecha del motor de su acuerdo al diseño del motor, ver Ilustración 2.12.

Detectores de vibración

Requeridos muy aparte del motor y serán instalados en chumaceras, rodamientos y flecha del motor. Su utilización dependerá de su carga acoplada como de los requerimientos de la instalación.

Ilustración 2.11 Resistencia anti-condensación

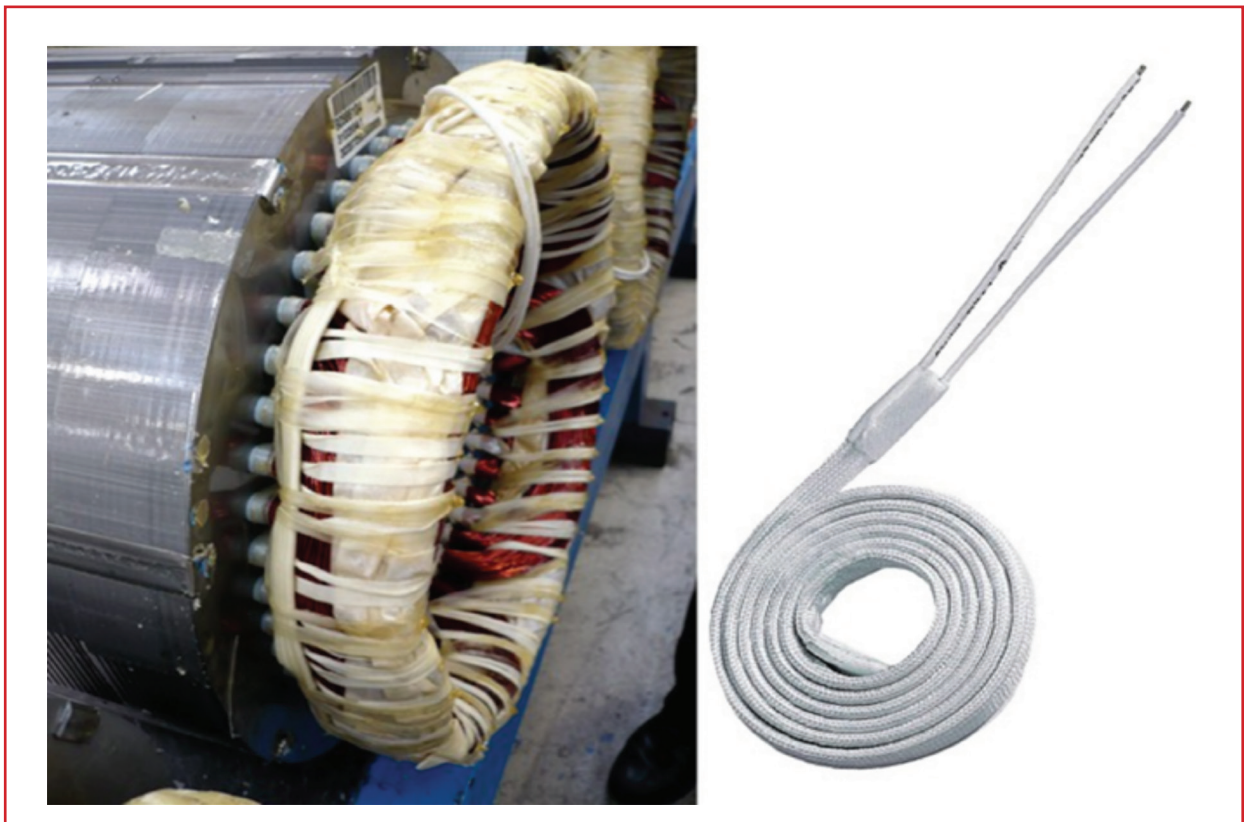


Ilustración 2.12 Chumacera y rodamiento

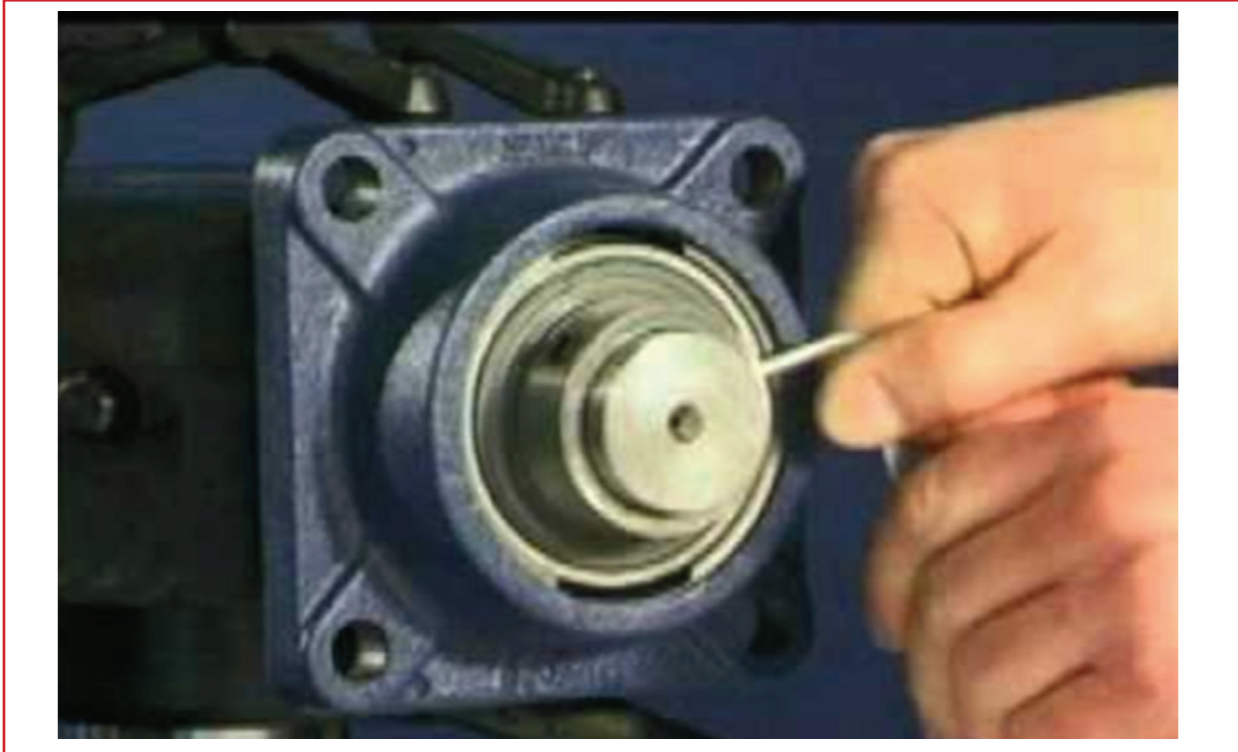


Tabla 2.1 Letras de código de indicación para rotor bloqueado

Letra código	Kilovoltamperes por caballo de fuerza con el rotor bloqueado
A	0 – 3.14
B	3.15 – 3.54
C	3.55 – 3.99
D	4.0 – 4.49
E	4.50 – 4.99
F	5.0 – 5.59
G	5.60 – 6.29
H	6.30 – 7.09
J	7.10 – 7.99
K	8.0 – 8.99
L	9.0 – 9.99
M	10.0 – 11.19
N	11.20 – 12.49
P	12.50 – 13.99
R	14.0 – 15.99
S	16.0 – 17.99
T	18.0 – 19.99
U	20.0 – 22.39
V	22.40 en adelante

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.2 Tensiones eléctricas normalizadas

Clasificación	Tensión eléctrica nominal del sistema* (V)			Tensión eléctrica de servicio (V)		Tensión eléctrica nominal de utilización** (V)
	1 fase 3 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	Máximo	Mínimo	
Baja tensión	120/240	-	-	126/252	108/216	<u>115/230</u>
	-	-	208Y/120 (1)	-	-	-
	-	-	<u>220 Y/127 (2)</u>	231/133.3	198/114.3	<u>208 Y/120</u>
	-	-	<u>480 Y/277</u>	504/291	432/249.4	<u>460 Y/265</u>
	-	<u>480</u>	-	504	432	<u>460</u>
Media tensión	-	-	-	-	-	-
	-	<u>4 160</u>	-	4 368	3 744	-
	-	-	-	-	-	<u>4 000</u>
	-	<u>13 800</u>	<u>13 800 Y/7 970</u>	14 490	12 420	-
	-	-	-	14 490/8 366	12 420/7 171	<u>13 200</u>
	-	<u>23 000</u>	<u>23 000 Y/13 280-</u>	24 150	20 700	-
	-	-	-	24 150/13 943	20 700/11 951	-
-	<u>34 500</u>	<u>34 500 Y/19 920</u>	36 225	31 050	-	
-	-	-	36 225/20 915	31 050/17 927	-	
Alta tensión	-	69 000	-	72 450	-	-
	-	85 000	-	123 000	-	-
	-	<u>115 000</u>	-	123 000	-	-
	-	138 000	-	145 000	-	-
	-	161 000	-	170 000	-	-
	-	230 000	-	245 000	-	-
Extra alta tensión	-	<u>400 000</u>	-	420 000	-	-

Notas:

- a) En esta tabla no se muestran las tensiones congeladas que están en uso actualmente, por que la tendencia es su desaparición.
- b) El valor máximo y mínimo de la tensión eléctrica de servicio se obtiene aplicando la tolerancia de +5% y -10% al valor de la tensión eléctrica nominal del sistema.
- c) Para disminuir la diferencia entre las bandas de tensión eléctrica (por ejemplo 127V vs. 120V) se recomienda que las tolerancias para obtener la tensión eléctrica de suministro se reduzca a +5% y -10% de acuerdo con los recursos disponibles y la interconexión de los diferentes tipos de cargas y fuentes
- d) Los niveles aquí establecidos y sus tolerancias sólo aplican para niveles de tensión eléctrica sostenido a la frecuencia del sistema y no para fallas momentáneas que puedan resultar de causas tales como operación de maniobra, corrientes de arranque de motores o cualquier otra condición como puede ser distorsión armónica, fluctuaciones de tensión, parpadeo y otros, razón por la cual se definen las responsabilidades siguientes:
 - 1) El usuario es responsable de mantener un sistema eléctrico por debajo de los límites que especifique la compañía suministradora
 - 2) La compañía suministradora es responsable de la coordinación de los niveles de distorsión bajo condiciones normales de operación
 - 3) Las instalaciones eléctricas de los usuarios debe de cumplir con las Normas Mexicanas NMX-J-610/3-3-ANCE, NMX-J-610/3-6-ANCE, NMX-J-610/3-7-ANCE y NMX-J-610/4-30-ANCE
- e) Para efectos de la variación en la tensión de utilización, es importante tener en cuenta que la NOM-001-SEDE recomienda que la caída máxima de tensión eléctrica de los circuitos alimentadores y derivados, hasta la salida eléctrica más alejada, no supere 5% para una razonable eficacia de funcionamiento de los sistemas y de los elementos que la componen
- (1) La tensión 208Y/120 no es una tensión que se encuentra dentro del sistema eléctrico del suministrador, sin embargo, se utiliza para el diseño de instalación eléctrica
- (2) La tensión 220Y/127, se suministrara en la carga que así lo requieran por el tamaño y tipo de carga, siendo la tensión y sistema preferente de 120/240 y 1 fase 3 hilos
- (*) Las tensiones nominales preferentes son las que se presentan subrayadas, el resto son tensiones restringidas.
- (**) La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función de la tensión eléctrica máxima de servicio y da la caída máxima permisible en la instalación del usuario

Fuente: NMX-J-098-ANCE

Tabla 2.3 Conductor del secundario

Clasificación de servicio en función de la resistencia	Ampacidad del conductor en porcentaje de la corriente a plena carga del secundario
Arranque ligero	35
Arranque pesado	45
Arranque extra-pesado	55
Arranque ligero intermitente	65
Arranque intermitente medio	75
Arranque intermitente pesado	85
Servicio Continuo	110

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.4 Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños "a" y "b", 60 Hz en porciento del par a carga plena

kW	h.p.	Velocidad síncrona en r/min, 60 Hz			
		3600	1800	1200	900
0.187	1/4	190	275	190	170
0.249	1/3	190	275	190	170
0.373	1/2	190	275	190	140
0.560	3/4	180	275	175	135
0.746	1	180	275	170	135
1.119	1 ½	175	190	165	130
1.492	2	170	190	160	130
2.238	3	160	190	155	130
3.730	5	150	185	150	130
5.600	7 ½	140	170	150	125
7.460	10	135	165	150	125
11.19	15	130	160	140	125
14.92	20	130	150	135	125
18.65	25	130	150	135	125
22.38	30	130	150	135	125
29.84	40	125	140	135	125
37.30	50	120	140	135	125
44.76	60	120	140	135	125
55.95	75	105	140	135	125
74.60	100	105	125	125	125
93.25	175	100	110	125	120
111.90	150	100	110	120	120
149.20	200	100	100	120	120
186.50	250	70	80	100	100
223.80	300	70	80	100	-
261.1	350	70	80	100	-
298.4	400	70	80	-	-
335.7	450	70	80	-	-
373.0	500	70	80	-	-

Nota: Los valores en porciento están referidos al par de plena carga en régimen nominal, son los menores aceptables, y corresponden a motores de una sola velocidad

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.5 Valores mínimos de par de arranque (a rotor bloqueado) para motores; diseños "A" y "B" a 60 Hz en por ciento del par a plena carga

Potencia		Velocidad síncrona en (r/min) 60 Hz			
kW	h.p.	3600	1800	1200	900
0.187	1/4	265 a 380	260 a 370	240 a 335	280 a 330
0.240	1/3	285 a 370	275 a 360	231 a 330	250 a 330
0.373	1/2	250 a 360	235 a 335	220 a 315	225
0.560	3/4	245 a 335	225 a 315	275	220
0.746	1	255 a 330	300	265	215
1.119	1 ½	250	280	250	210
1.492	2	240	270	240	210
2.238	3	230	250	230	205
3.73	5	215	225	215	205
5.60	7 ½	200	215	205	200
7.46	10	200	200	200	200
11.19	15	200	200	200	200
14.92	20	200	200	200	200
18.65	25	200	200	200	200
22.38	30	200	200	200	200
29.84	40	200	200	200	200
37.30	50	200	200	200	200
44.76	60	200	200	200	200
55.95	75	200	200	200	200
74.60	100	200	200	200	200
93.25	125	200	200	200	200
111.90	150	200	200	200	200
149.20	200	200	200	200	200
186.50	250	175	175	175	175
223.80	300	175	175	175	
261.10	350	175	175	175	
298.40	400	175	175		
335.70	450	175	175		
373.0	500	175	175		

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.6 Valores máximos de la corriente de arranque en amperes, a 220 volts y 60 Hz

kW	h.p.	A	Diseño		
0.187	1/4	15	B	D	
0.249	1/3	17	B	D	
0.373	1/2	21	B	D	
0.560	3/4	26	B	D	
0.746	1	31	B	D	
1.119	1 ½	42	B	D	
1.492	2	52	B	D	
2.238	3	67	B	C	D
3.73	5	96	B	C	D
5.60	7 ½	133	B	C	D
7.46	10	169	B	C	D
11.19	15	242	B	C	D
14.92	20	303	B	C	D
18.65	25	382	B	C	D
22.38	30	455	B	C	D
29.84	40	606	B	C	D
37.30	50	758	B	C	D
44.76	60	909	B	C	D
55.95	75	1 134	B	C	D
74.60	100	1 516	B	C	D
93.25	125	1 897	B	C	D
111.90	150	2 269	B	C	D
149.20	200	3 032	B	C	
186.50	250	3 816	B		
223.80	300	4 600	B		
261.1	350	5 332	B		
298.4	400	6 064	B		
335.7	450	6 795	B		
373.0	500	7 579	B		

NOTAS: Para diseño "A" los valores máximos de la corriente de arranque, exceden a los estipulados en esta tabla. La corriente a rotor bloqueado de los motores diseñados para tensiones diferentes a 220 volts debe ser inversamente proporcional a las tensiones

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.7 Par de rotor bloqueado de motores monofásicos

Potencia		r/min	Velocidad síncrona		
kW	h.p.		3600	1800	1200
			N-m	N-m	N-m
0.093	1/8	.....	--	2.0	2.71
0.124	1/6	.....	1.27	2.8	3.64
0.1865	1/4	.....	1.78	3.9	5.0
0.249	1/3	.....	2.2	4.83	6.19
0.373	1/2	.....	3.14	7.2	8.48
0.56	3/4	.....	4.24	10.08	10.85
0.746	1	.....	5.17	12.2	12.88
1.119	1 ½	.....	6.1	16.95	17.63
1.492	2	.....	7.46	21.7	21.7
2.238	3	.....	10.17	29.84	31.9
3.73	5	.....	14.92	44.76	--
5.6	7 ½	.....	21.7	61.03	--
7.46	10	.....	28.48	70.53	--

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.8 Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna

kW	h.p.	115 volts	127 volts	208 volts	230 volts
		Amperes			
0.12	1/6	4.4	4	2.4	2.2
0.19	1/4	5.8	5.3	3.2	2.9
0.25	1	7.2	6.5	4	3.6
0.37	1/2	9.8	8.9	5.4	4.9
0.56	3/4	13.8	11.5	7.6	6.9
0.75	1	16	14	8.8	8
1.12	1 ½	20	18	11	10
1.5	2	24	22	13.2	12
2.25	3	34	31	18.7	17
3.75	5	56	51	30.8	28
5.6	7 ½	80	72	44	40
7.5	10	100	91	55	50

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.9 Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos)

kW	h.p.	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado				
		115 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2 300 volts
		Amperes				
0.37	1/2	4	2	1	0.8	—
0.56	3/4	4.8	2.4	1.2	1	—
0.75	1	6.4	3.2	1.6	1.3	—
1.12	1 ½	9	4.5	2.3	1.8	—
1.5	2	11.8	5.9	3	2.4	—
2.25	3	—	8.3	4.2	3.3	—
3.75	5	—	13.2	6.6	5.3	—
5.6	7 ½	—	19	9	8	—
7.5	10	—	24	12	10	—
11.2	15	—	36	18	14	—
14.9	20	—	47	23	19	—
18.7	25	—	59	29	24	—
22.4	30	—	69	35	28	—
29.8	40	—	90	45	36	—
37.3	50	—	113	56	45	—
44.8	60	—	133	67	53	14
56	75	—	166	83	66	18
75	100	—	218	109	87	23
93	125	—	270	135	108	28
120	150	—	312	156	125	32
149	200	—	416	208	167	43

Fuente. NOM-001-SEDE.

Tabla 2.10 Selección de medios de protección y control para motores monofásicos sumergibles

Tipo	Capacidad del motor		Amps de fusible o interruptores automáticos (Máximo según NEC)				Amps de fusible o interruptores automáticos		
	kW	h.p.	volts	Fusible estándar	Fusible doble elemento con temporizador	Interruptor automático	Fusible estándar	Fusible doble elemento con temporizador	Interruptor automático
4" 2-Hilos	0.37	1/2	115	35	20	30	30	15	30
	0.37	0.37	230	20	10	15	15	8	15
	0.55	3/4	230	25	15	20	20	10	20
	0.75	1	230	30	20	25	25	11	25
	1.1	1.5	230	35	20	30	35	15	30
	0.37	1/2	115	35	20	30	30	15	30
4" 3-Hilos	0.37	1/2	230	20	10	15	15	8	15
	0.55	3/4	230	25	15	20	20	10	20
	0.75	1	230	30	20	25	25	11	25
4" 3-Hilos C/ CRC CB	0.37	1/2	230	20	10	15	15	8	15
	0.55	3/4	230	25	15	20	20	10	20
	0.75	1	230	30	20	25	25	11	25
	0.75	1	230	30	20	25	25	11	25
	1.1	1.5	230	35	20	30	30	15	30
	1.5	1.1	230	30	20	25	30	15	25
4" 3-Hilos	2.2	3	230	45	30	40	45	20	40
	3.7	5	230	80	45	60	70	30	60
	3.7	5	230	80	45	60	70	30	60
6"	5.5	7.5	230	125	70	100	110	50	100
	7.5	10	230	150	80	125	150	60	125
	11	15	230	200	125	175	200	90	175

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.11 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

Capacidad del motor		Forro A 60 °C - calibre del cable de cobre AWG													
Volt	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000
115	0.37	1/2	30	49	76	119	189	293	363	445	543	658	802	957	1149
	0.37	1/2	122	198	311	491	765	1183	1466	1792	2185	2658	0	0	0
	0.55	3/4	91	146	232	366	570	881	1091	1332	1625	1972	2399	0	0
	1	0.75	76	122	192	302	469	725	902	1100	1344	1634	1987	0	0
	1.1	1.5	58	94	146	235	366	570	707	869	1067	1305	1597	0	0
	1.5	2	46	76	119	189	296	466	582	719	893	1103	1366	0	0
230	2.2	3	37	58	91	143	229	363	454	564	707	881	1100	0	0
	3.7	5	0	0	55	85	137	216	271	338	424	530	661	817	0
	5.5	7.5	0	0	0	61	94	149	186	229	283	347	430	524	0
	7.5	10	0	0	0	0	76	119	149	183	229	283	354	436	536
	11	15	0	0	0	0	52	82	104	131	162	201	250	311	384

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.12 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

Capacidad del motor		Forro A 75 °C - calibre del cable de cobre AWG													
Volt	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000
115	0.37	1/2	30	49	76	119	189	293	363	445	543	658	802	957	1 149
	0.37	1/2	122	198	311	491	765	1 183	1 466	1 792	2 185	2 658	0	0	0
230	3/4	0.55	91	146	232	366	570	881	1 091	1 332	1 625	1 972	2 399	2 859	0
	1	0.75	76	122	192	302	469	725	902	1 100	1 344	1 634	1 987	2 371	2 850
230	1.5	1.1	58	94	146	235	366	570	707	869	1 067	1 305	1 597	1 920	2 323
	2	1.5	46	76	119	189	296	466	582	719	893	1 103	1 366	1 667	2 042
230	3	2.2	37	58	91	143	229	363	454	564	707	881	1 100	1 362	1 692
	5	3.7	0	34	55	85	137	216	271	338	424	530	661	817	1 015
230	7.5	5.5	0	0	37	61	94	149	186	229	283	347	430	524	640
	10	7.5	0	0	0	49	76	119	149	183	229	283	354	436	536
230	15	11	0	0	0	0	52	82	104	131	162	201	250	311	384

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar; para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.13 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

kW	h.p.	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (amperes)										Tipo síncrono de factor de potencia unitario (amperes)				
		115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
0.37	1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.56	3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.12	1½	12	6.9	6.6	6	3	2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.25	3	—	11	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.75	5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.6	7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7.5	10	—	32.3	30.8	28	14	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11.2	15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14.9	20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18.7	25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	—	53	26	21	—	—	—	—
22.4	30	—	92	88	80	40	32	—	—	63	32	26	—	—	—	—
29.8	40	—	120	114	104	52	41	—	—	93	41	33	—	—	—	—
37.3	50	—	150	143	130	65	52	—	—	104	52	42	—	—	—	—
44.8	60	—	177	169	154	77	62	—	—	123	61	49	12	—	—	—
56	75	—	221	211	192	96	77	—	—	155	78	62	15	—	—	—
75	100	—	285	273	248	124	99	—	—	202	101	81	20	—	—	—
93	125	—	359	343	312	156	125	—	—	253	126	101	25	—	—	—
112	150	—	414	396	360	180	144	—	—	302	151	121	30	—	—	—
150	200	—	552	528	480	240	192	—	—	400	201	161	40	—	—	—
187	250	—	—	—	—	302	242	—	—	—	—	—	—	—	—	—
224	300	—	—	—	—	361	289	—	—	—	—	—	—	—	—	—
261	350	—	—	—	—	414	336	—	—	—	—	—	—	—	—	—
298	400	—	—	—	—	477	382	—	—	—	—	—	—	—	—	—
336	450	—	—	—	—	515	412	—	—	—	—	—	—	—	—	—
373	500	—	—	—	—	590	472	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles. Tipo 4

Tipo	Capacidad del motor			Amps fusible o interruptores automáticos				Amps fusible o interruptores automáticos (sumergible típico)			
	kW	h.p.	volts	Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático	Interruptor automático	Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático	Interruptor automático
4"	0.37	1/2	200	10	5	8	8	10	4	15	15
			230	8	4.5	6	6	8	4	15	15
	0.55	3/4	380	5	2.5	4	4	5	2	15	15
			460	4	2.25	3	3	4	2	15	15
	0.75	1	200	15	7	10	10	12	5	15	15
			230	10	5.6	8	8	10	5	15	15
	1.1	1.5	380	6	3.5	5	5	6	3	15	15
			460	5	2.8	4	4	5	3	15	15
	1.5	2	200	15	8	15	15	15	6	15	15
			230	15	7	10	10	12	6	15	15
	2.2	3	380	8	4.5	8	8	8	4	15	15
			460	6	3.5	5	5	6	3	15	15
4"		200	20	12	15	15	20	8	15	15	
		230	15	9	15	15	15	8	15	15	
		380	10	5.6	8	8	10	4	15	15	
		460	8	4.5	8	8	8	4	15	15	
		575	6	3.5	5	5	6	3	15	15	
		200	25	15	20	20	25	11	20	20	
		230	25	12	20	20	25	10	20	20	
		380	15	8	15	15	15	6	15	15	
		460	15	6	10	10	11	5	15	15	
		575	10	5	8	8	10	4	15	15	
		200	35	20	30	30	35	15	30	30	
		230	30	17.5	25	25	30	12	25	25	
		380	20	12	15	15	20	8	15	15	
		460	15	9	15	15	15	6	15	15	
		575	15	7	10	10	11	5	15	15	

Fuente: fabricantes

Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 4). Continuación

Tipo	Capacidad del motor		Amps fusible o interruptores automáticos (Máximo según NEC)				Amps fusible o interruptores automáticos (sumergible típico)		
	kW	h.p.	volts	Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático	Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático
4"			200	60	35	50	60	25	50
			230	50	30	40	45	20	40
	3.7	5	380	30	17.5	25	30	12	25
			460	25	15	20	25	10	20
			575	20	12	20	20	8	20
			200	90	50	70	80	35	70
	5.5	7.5	230	80	45	60	70	30	60
			380	45	25	40	40	20	40
			460	40	25	30	35	15	30
			575	30	17.5	25	30	12	25
	7.5	10	380	70	35	60	60	25	60
			460	60	30	45	50	25	45
		575	45	25	35	40	20	35	
		575	45	25	35	40	20	35	

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6)

Tipo	Capacidad del motor		Amps fusible o interruptores automáticos				Amps fusible o interruptores automáticos (sumergible típico)			
	Kw	h.p.	volts	(máximo según NEC)		Interruptor automático	Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático	
				Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador					
6"	3.7	5	200	60	35	45	50	25	45	
			230	45	30	40	45	20	40	
			380	30	17.5	25	30	12	25	
	5.5	7.5	460	25	15	20	25	10	20	
			575	20	12	15	20	8	15	
			200	80	45	70	80	35	70	
	7.5	10	230	70	40	60	70	30	60	
			380	45	25	35	40	20	35	
			460	35	20	30	35	15	30	
	6"	7.5	10	575	30	17.5	25	25	11	25
				200	100	60	90	100	45	90
				230	90	50	80	90	40	80
11		15	380	60	35	45	50	25	45	
			460	45	25	40	45	20	40	
			575	35	20	30	35	15	30	
15		20	200	150	90	125	150	60	125	
			230	150	80	110	125	60	110	
			380	80	50	70	80	35	70	
15		20	460	70	40	60	60	30	60	
			575	60	30	45	50	25	45	
			200	200	110	175	175	80	175	
15	20	230	175	100	150	175	70	150		
		380	100	60	90	100	45	90		
		460	90	50	70	80	35	70		
15	20	575	70	40	60	70	30	60		

Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6) (continuación)

Tipo	Capacidad del motor		Amps fusible o interruptores automáticos			Amps fusible o interruptores automáticos			
			(máximo según NEC)		Fusible estándar	Fusible estándar	(sumergible típico)		
	Kw	h.p.	volts	Fusible de doble elemento con temporizador			Interruptor automático	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático
6"	18.5	25	200	250	150	200	225	100	200
				225	125	175	200	90	175
				125	80	110	125	50	110
	22	30	460	110	60	90	100	45	90
				90	50	70	80	35	70
				300	175	250	300	125	250
	30	40	575	250	150	225	250	100	200
				150	90	125	150	60	125
				125	70	110	125	50	100
	37	50	380	100	60	90	100	40	80
				200	125	175	200	90	175
				175	100	150	175	70	150
45	60	575	150	80	110	125	60	110	
			250	150	225	250	110	225	
			225	125	175	200	90	175	
			175	100	150	175	70	150	
			300	175	250	300	125	250	
			250	150	225	250	100	225	
			200	125	175	200	80	175	

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.16 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 8)

Tipo	Capacidad del motor		Amps fusible o interruptores automáticos				Amps fusible o interruptores automáticos		
	kW	h.p.	volts	(máximo según NEC)			Fusible estándar	(sumergible típico)	
				Fusible estándar	Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático		Fusible de doble elemento con temporizador	Interruptor automático
8"	30	40	380	200	125	175	200	80	175
			460	175	100	150	175	70	150
	37	50	575	150	80	110	125	60	110
			380	250	150	200	225	100	200
			460	200	125	175	200	80	175
			575	175	90	150	150	70	150
	45	60	380	300	175	250	300	125	250
			460	250	150	200	225	100	200
			575	200	110	175	175	80	175
	55	75	380	350	200	300	350	150	300
			460	300	175	250	300	125	250
			575	250	150	200	225	100	200
75	100	380	500	275	400	450	200	400	
		460	400	225	350	400	175	350	
		575	350	200	300	300	125	300	
90	125	380	700	400	600	600	250	600	
		460	500	300	450	500	225	450	
		575	450	250	350	400	175	350	
110	150	380	800	450	600	700	300	600	
		460	600	350	500	600	250	500	
		575	500	300	400	450	200	400	
130	175	380	800	500	700	800	350	700	
		460	700	400	600	700	300	600	
		575	600	350	450	600	225	450	
150	200	380	1000	600	800	1000	400	800	
		460	800	450	700	800	350	700	
		575	600	350	500	600	250	500	

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - calibre del cable de cobre AWG												Calibre del cable de cobre MCM							
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
200 V 60Hz Trifá- sico 3 Hilos	0.37	1/2	216	347	549	866	1347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	155	247	390	619	963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	131	210	329	521	814	1 262	1 567	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	94	152	241	384	597	930	1 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	73	119	186	296	463	719	896	1 100	1 350	1 652	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	55	88	143	226	354	552	686	841	1033	1 259	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	34	52	85	134	210	329	411	506	622	759	930	1 119	1 353	1 533	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	0	0	61	94	149	235	293	360	442	539	661	792	960	1 085	0	0	0	0	0
	7.5	10	0	0	0	70	113	174	219	268	332	405	500	600	728	829	945	1 061	1 158	1 347	0
	11	15	0	0	0	49	76	119	149	183	226	277	338	408	497	564	640	716	783	908	0
15	20	0	0	0	0	58	91	116	140	174	213	262	320	387	439	503	564	616	719	0	
18.5	25	0	0	0	0	0	73	91	113	140	174	213	256	314	357	405	457	500	579	0	
22	30	0	0	0	0	0	0	0	76	94	116	143	177	213	259	296	338	381	415	485	
0.37	1/2	283	454	716	1 128	1 756	2 716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.55	3/4	204	329	518	786	1 277	1 978	2 457	3 005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.75	1	171	277	436	689	1 073	1 664	2 067	2 527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.1	1.5	128	204	323	509	796	1 234	1 533	1 878	2 295	2 795	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.5	2	98	155	247	390	613	954	1 186	1 454	1 786	2 185	2 676	0	0	0	0	0	0	0	0	
2.2	3	73	119	189	302	469	732	908	1 116	1 366	1 667	2 039	2 444	2 950	0	0	0	0	0	0	
3.7	5	43	70	113	180	280	436	546	668	820	1 003	1 228	1 478	1 789	2 027	2 304	2 579	2 810	0	0	
5.5	7.5	0	49	79	128	198	311	387	475	585	713	875	1 049	1 268	1 436	1 628	1 820	1 981	2 289	0	
7.5	10	0	0	58	94	149	232	290	357	439	536	658	796	963	1 094	1 250	1 402	1 530	1 780	0	
11	15	0	0	0	64	101	158	198	244	299	366	448	543	655	744	847	948	1 036	1 201	0	
15	20	0	0	0	0	76	122	152	186	232	283	347	421	512	582	664	747	817	951	0	
18.5	25	0	0	0	0	0	98	122	152	186	229	280	341	415	469	536	604	658	768	0	
22	30	0	0	0	0	0	79	101	125	155	189	232	283	344	390	448	503	549	643	0	

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG													Calibre del cable de cobre MCM					
volts	kW	h.p.	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
380 V 60Hz Trifá- sico 3 Hilos	0.37	1/2	820	1 308	2 051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	610	972	1 527	2 396	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	494	786	1 237	1 948	3 042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	375	600	945	1 490	2 326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	265	424	664	1 052	1 646	2 554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	207	332	521	820	1 280	1 981	2 444	2 996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	122	195	308	485	759	1 180	1 457	1 789	2 204	2 691	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	82	134	210	332	521	805	994	1 219	1 503	1 832	2 222	2 676	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	61	98	155	244	381	588	725	887	1 088	1 320	1 594	1 908	2 252	2 524	2 847	0	0	0
	11	15	0	0	113	180	280	436	539	661	820	1 003	1 219	1 475	1 759	1 987	2 265	2 515	2 740	0
	15	20	0	0	0	134	213	332	411	509	628	771	942	1 146	1 372	1 558	1 780	1 984	2 170	2 496
	18.5	25	0	0	0	110	174	268	335	411	509	625	765	927	1 109	1 259	1 439	1 600	1 750	2 009
	22	30	0	0	0	0	143	223	277	341	421	518	634	768	920	1 045	1 195	1 329	1 454	1 673
	30	40	0	0	0	0	0	162	201	250	308	378	463	561	671	762	869	966	1 058	1 216
	37	50	0	0	0	0	0	0	165	201	250	305	372	451	539	613	698	777	847	972
45	60	0	0	0	0	0	0	0	171	210	259	314	381	457	518	591	655	716	823	
55	75	0	0	0	0	0	0	0	0	174	213	262	320	387	439	506	564	619	716	
75	100	0	0	0	0	0	0	0	0	155	192	232	277	314	360	399	436	503	0	
90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	226	256	290	323	354	405	
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	213	241	268	293	332	
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	198	229	256	280	326	
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	213	232	268	
0.37	1/2	1 149	1 835	2 883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.55	3/4	832	1 326	2 088	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.75	1	701	1 119	1 759	2 765	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.1	1.5	518	826	1 301	2 051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.5	2	396	631	997	1 570	2 454	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2.2	3	305	488	768	1 210	1 890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3.7	5	180	290	457	719	1 128	1 753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

volts	Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG										Calibre del cable de cobre MCM								
	KW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
460 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	5.5	7.5	128	207	326	515	805	1 250	1 554	1 908	2 341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	94	152	241	381	597	930	1 158	1 426	1 753	2 149	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	0	104	165	259	408	637	792	975	1 198	1 466	1 798	2 167	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	0	0	125	198	314	491	610	753	927	1 137	1 396	1 686	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	0	0	0	162	253	396	494	607	747	917	1 128	1 362	1 655	0	0	0	0	0	
	22	30	0	0	0	131	207	326	405	500	619	759	933	1 128	1 372	1 564	1 786	0	0	0	
	30	40	0	0	0	0	152	241	299	369	454	558	686	826	1 003	1 137	1 295	0	0	0	
	37	50	0	0	0	0	0	195	244	299	369	451	552	668	808	917	1 042	1 167	1 274	1 478	
	45	60	0	0	0	0	0	165	204	253	311	381	469	564	683	774	881	988	1 079	1 250	
	55	75	0	0	0	0	0	0	0	207	256	314	384	463	564	640	732	823	899	1 049	
	75	100	0	0	0	0	0	0	0	0	189	232	287	344	421	475	546	613	668	777	
	90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226	271	305	372	424	475	518	597	
	110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	280	320	363	408	445	515	
	130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	247	283	323	363	396	460	
	150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	247	280	314	344	399	

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

Capacidad del motor			Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG												Calibre del cable de cobre MCM						
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
575 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	0.37	1/2	1 798	2 868	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	1 301	2 076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	1 106	1 768	2 780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	799	1 274	2 006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	619	991	1 558	2 457	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	482	771	1 213	1 911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	280	451	710	1 122	1 753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	201	323	512	808	1 265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	149	238	378	594	933	1 454	1 811	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	101	162	259	408	637	994	1 237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	0	125	198	314	491	768	957	1 177	1 451	1 777	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	0	0	158	253	396	619	771	948	1 170	1 436	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	30	0	0	131	207	326	509	634	780	963	1 183	1 454	1 762	2 143	2 438	0	0	0	0	0
	30	40	0	0	0	152	241	378	469	579	710	872	1 070	1 289	1 567	1 777	0	0	0	0	0
	37	50	0	0	0	0	195	305	381	469	576	704	866	1 042	1 262	1 433	1 628	1 826	1 990	2 310	
45	60	0	0	0	0	0	0	259	323	396	488	597	732	881	1 067	1 210	1 378	1 545	1 686	1 954	
55	75	0	0	0	0	0	0	0	262	323	399	488	600	725	881	1 003	1 143	1 291	1 405	1 637	
75	100	0	0	0	0	0	0	0	0	241	296	363	445	539	655	744	850	957	1 045	1 216	
90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235	290	354	427	515	585	664	744	808	936	
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	244	302	363	439	497	567	634	692	805	
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265	320	387	442	503	567	619	719	
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280	338	384	439	494	536	625	

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG												Calibre del cable de cobre MCM								
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500		
	0.37	1/2	1 798	2 868	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.55	3/4	1 301	2 076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.75	1	1 106	1 768	2 780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	799	1 274	2 006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	619	991	1 558	2 457	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	482	771	1 213	1 911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	280	451	710	1 122	1 753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	201	323	512	808	1 265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	149	238	378	594	933	1 454	1 811	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	101	162	259	408	637	994	1 237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
575 V	15	20	0	125	198	314	491	768	957	1 177	1 451	1 777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60 Hz	18.5	25	0	0	158	253	396	619	771	948	1 170	1 436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trifásico 3	22	30	0	0	131	207	326	509	634	780	963	1 183	1 454	1 762	2 143	2 438	0	0	0	0	0	0
Hilos	30	40	0	0	0	152	241	378	469	579	710	872	1 070	1 289	1 567	1 777	0	0	0	0	0	0
	37	50	0	0	0	0	195	305	381	469	576	704	866	1 042	1 262	1 433	1 628	1 826	1 990	2 310	2 310	2 310
	45	60	0	0	0	0	0	259	323	396	488	597	732	881	1 067	1 210	1 378	1 545	1 686	1 954	1 954	1 954
	55	75	0	0	0	0	0	210	262	323	399	488	600	725	881	1 003	1 143	1 291	1 405	1 637	1 637	1 637
	75	100	0	0	0	0	0	0	0	241	296	363	445	539	655	744	850	957	1 045	1 216	1 216	1 216
	90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	235	290	354	427	515	585	664	744	808	936	936	936
	110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	244	302	363	439	497	567	634	692	805	805	805
	130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265	320	387	442	503	567	619	719	719	719
	150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280	338	384	439	494	536	625	625	625
	3.7	5	49	76	128	201	314	494	616	759	933	1 137	1 393	1 676	2 030	2 298	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	34	55	91	140	223	351	439	539	661	808	991	1 189	1 439	1 628	0	0	0	0	0	0
200 V	7.5	10	24	40	64	104	168	259	329	402	497	607	750	899	1 091	1 244	1 417	1 591	1 737	2 021	2 021	2 021
60 Hz	11	15	0	0	43	73	113	177	223	274	338	415	506	613	744	844	960	1 073	1 173	1 362	1 362	1 362
Trifásico	15	20	0	0	0	52	85	137	174	210	259	320	393	479	579	658	753	844	924	1 079	1 079	1 079
6 Hilos Y-D	18.5	25	0	0	0	43	67	110	137	168	210	259	320	384	469	533	607	686	750	869	869	869
	22	30	0	0	0	0	55	90	113	140	174	213	265	320	387	442	506	570	622	725	725	725

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG										Calibre del cable de cobre MCM										
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500		
230 V 60 Hz Trifásico 6 Hilos Y-D	3.7	5	64	104	168	268	421	652	817	1 000	1 228	1 503	1 841	2 216	2 682	3 039	0	0	0	0	0	
	5.5	7.5	46	73	119	192	296	466	579	713	878	1 070	1 311	1 573	1 902	2 152	2 441	2 728	2 972	0	0	
	7.5	10	34	55	85	140	223	347	433	533	658	805	988	1 192	1 445	1 640	1 875	2 103	2 295	2 670	0	
	11	15	0	0	58	94	149	238	296	366	448	549	671	814	981	1 116	1 271	1 420	1 554	1 801	0	
	15	20	0	0	43	70	113	183	229	277	347	424	521	631	768	872	997	1 119	1 225	1 426	0	
	18.5	25	0	0	0	58	91	146	183	229	277	341	421	512	622	704	805	905	988	1 152	0	
	22	30	0	0	0	46	73	119	149	186	232	283	347	424	515	585	671	753	823	963	0	
	3.7	5	183	293	460	725	1 137	1 768	2 185	2 682	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	122	201	314	497	780	1 207	1 490	1 829	2 252	2 746	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	91	146	232	366	570	881	1 088	1 329	1 631	1 978	2 390	2 862	0	0	0	0	0	0	0	0
11	15	64	104	168	268	421	652	808	991	1 228	1 503	1 829	2 213	2 637	2 981	0	0	0	0	0	0	
15	20	49	79	125	201	320	497	616	762	942	1 155	1 411	1 719	2 057	2 335	2 624	2 975	0	0	0	0	
18.5	25	0	64	101	165	259	402	503	616	762	936	1 146	1 390	1 664	1 887	2 158	2 399	2 624	3 011	0		
22	30	0	0	82	131	213	332	415	512	631	777	951	1 152	1 381	1 567	1 792	1 993	2 179	2 509	0		
30	40	0	0	0	98	155	241	302	375	460	567	695	841	1 006	1 143	1 301	1 448	1 585	1 823	0		
37	50	0	0	0	76	122	192	247	302	375	457	558	677	808	917	1 045	1 164	1 271	1 457	0		
45	60	0	0	0	0	104	165	201	256	314	387	469	570	686	777	887	981	1 073	1 234	0		
55	75	0	0	0	0	0	137	168	210	261	320	393	479	579	658	759	844	927	1 073	0		
75	100	0	0	0	0	0	0	0	158	195	232	287	347	415	469	539	597	652	753	0		
90	125	0	0	0	0	0	0	0	122	149	183	223	283	338	384	433	485	530	607	0		
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	128	155	189	229	283	320	360	402	439	497	0		
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	110	134	165	201	238	296	341	384	421	488	0		
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	177	210	241	287	320	347	402	0		

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

volts	Capacidad del motor	Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG												Calibre del cable de cobre MCM								
		kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
460 V 60 Hz Trifásico 6 Hilos Y-D	3.7	5	268	433	686	1 079	1 692	2 627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	192	311	488	771	1 207	1 875	2 332	2 862	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	140	229	360	570	896	1 393	1 737	2 140	2 627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	94	155	247	387	613	954	1 189	1 463	1 795	2 198	2 697	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	70	116	186	296	469	735	914	1 128	1 390	1 704	2 094	2 527	0	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	58	94	149	241	378	594	741	908	1 119	1 375	1 692	2 042	2 481	0	0	0	0	0	0	0
	22	30	0	76	125	195	311	488	607	750	927	1 137	1 399	1 692	2 057	2 344	2 679	0	0	0	0	0
	30	40	0	0	91	146	229	360	448	552	680	835	1 027	1 237	1 503	1 704	1 942	0	0	0	0	0
	37	50	0	0	0	113	180	293	366	448	552	677	826	1 000	1 210	1 375	1 564	1 750	1 911	2 216	0	0
	45	60	0	0	0	98	152	247	305	378	466	570	704	844	1 024	1 161	1 320	1 481	1 618	1 875	0	0
	55	75	0	0	0	0	128	201	247	311	384	469	576	695	844	960	1 097	1 234	1 347	1 573	0	0
	75	100	0	0	0	0	0	152	186	232	283	347	430	515	631	713	817	917	1 000	1 164	0	0
	90	125	0	0	0	0	0	0	143	180	223	268	338	405	457	558	634	713	777	896	0	0
	110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	155	192	235	290	347	421	479	546	610	664	771	0
	130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	207	253	305	372	424	482	543	594	692	0
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	223	268	326	369	421	472	515	600	

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG													Calibre del cable de cobre MCM				
volts	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500
575 V 60 Hz Trifásico 6 Hilos Y-D	3.7	421	677	1064	1682	2627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	302	485	768	1210	1896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	223	357	567	890	1399	2179	2716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	149	241	387	613	954	1490	1856	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	113	186	296	469	735	1152	1436	1765	2176	2664	0	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	91	149	238	378	594	927	1155	1420	1756	2152	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	73	122	197	311	488	762	951	1170	1445	1774	2179	2643	0	0	0	0	0	0
	30	0	91	146	229	360	567	704	869	1064	1308	1603	1932	2350	2664	0	0	0	0
	37	0	0	116	180	293	457	570	704	863	1055	1298	1564	1893	2149	2441	2737	2984	0
	45	0	0	0	152	241	387	485	594	732	896	1097	1320	1600	1814	2067	2316	2527	2929
	55	0	0	0	128	201	314	393	485	597	732	899	1088	1320	1503	1713	1929	2106	2454
	75	0	0	0	0	122	238	293	360	442	543	668	808	981	1116	1274	1436	1567	1823
	90	0	0	0	0	0	183	226	280	351	433	530	640	771	878	997	1116	1210	1402
	110	0	0	0	0	0	0	198	244	302	369	451	543	658	747	850	951	1039	1204
	130	0	0	0	0	0	0	0	213	262	323	396	479	582	661	756	847	927	1079
	150	0	0	0	0	0	0	0	0	232	283	347	418	509	576	658	738	805	936

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise manual de fabricante.

Las longitudes en NEGRITAS cumplen con el amperaje del U.S. National Electrical Code sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG													Calibre del cable de cobre MCM						
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
200 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	0.37	1/2	216	347	549	866	1347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	155	247	390	619	963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	131	210	329	521	814	1 262	1 567	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	94	152	241	384	597	930	1 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	73	119	186	296	463	719	896	1 100	1 350	1 652	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	55	88	143	226	354	552	686	841	1 033	1 259	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	34	52	85	134	210	329	411	506	622	759	930	1 119	1 353	1 533	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	0	0	61	94	149	235	293	360	442	539	661	792	960	1 085	0	0	0	0	0
	7.5	10	0	0	46	70	113	174	219	268	332	405	500	600	728	829	945	1 061	1 158	1 347	0
	11	15	0	0	0	49	76	119	149	183	226	277	338	408	497	564	640	716	783	908	0
15	20	0	0	0	0	58	91	116	140	174	213	262	320	387	439	503	564	616	719	0	
18.5	25	0	0	0	0	0	73	91	113	140	174	213	256	314	357	405	457	500	579	0	
22	30	0	0	0	0	0	0	61	76	94	116	143	177	213	259	296	338	381	415	485	
0.37	1/2	283	454	716	1 128	1 756	2 716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.55	3/4	204	329	518	786	1 277	1 978	2 457	3 005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.75	1	171	277	436	689	1 073	1 664	2 067	2 527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.1	1.5	128	204	323	509	796	1 234	1 533	1 878	2 295	2 795	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.5	2	98	155	247	390	613	954	1 186	1 454	1 786	2 185	2 676	0	0	0	0	0	0	0	0	
2.2	3	73	119	189	302	469	732	908	1 116	1 366	1 667	2 039	2 444	2 950	0	0	0	0	0	0	
3.7	5	43	70	113	180	280	436	546	668	820	1 003	1 228	1 478	1 789	2 027	2 304	2 579	2 810	0	0	
5.5	7.5	0	49	79	128	198	311	387	475	585	713	875	1 049	1 268	1 436	1 628	1 820	1 981	2 289	0	
0.75	10	0	0	58	94	149	232	290	357	439	536	658	796	963	1 094	1 250	1 402	1 530	1 780	0	
11	15	0	0	0	64	101	158	198	244	299	366	448	543	655	744	847	948	1 036	1 201	0	
15	20	0	0	0	49	76	122	152	186	232	283	347	421	512	582	664	747	817	951	0	
18.5	25	0	0	0	0	61	98	122	152	186	229	280	341	415	469	536	604	658	768	0	
22	30	0	0	0	0	0	79	101	125	155	189	232	283	344	390	448	503	549	643	0	

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG										Calibre del cable de cobre MCM									
volts	KW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
380 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	0.37	1/2	820	1 308	2 051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	610	972	1 527	2 396	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	494	786	1 237	1 948	3 042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	375	600	945	1 490	2 326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	265	424	664	1 052	1 646	2 554	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	207	332	521	820	1 280	1 981	2 444	2 996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	122	195	308	485	759	1 180	1 457	1 789	2 204	2 691	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	82	134	210	332	521	805	994	1 219	1 503	1 832	2 222	2 676	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	61	98	155	244	381	588	725	887	1 088	1 320	1 594	1 908	2 252	2 524	2 847	0	0	0	0
	11	15	0	0	113	180	280	436	539	661	820	1 003	1 219	1 475	1 759	1 987	2 265	2 515	2 740	0	0
	15	20	0	0	85	134	213	332	411	509	628	771	942	1 146	1 372	1 558	866	1 984	2 170	2 496	0
	18.5	25	0	0	0	110	174	268	335	411	509	625	765	927	1 109	1 259	1 439	1 600	1 750	2 009	0
	22	30	0	0	0	88	143	223	277	341	421	518	634	768	920	1 045	1 195	1 329	1 454	1 673	0
	30	40	0	0	0	0	0	162	201	250	308	378	463	561	671	762	869	966	1 058	1 216	0
	37	50	0	0	0	0	0	134	165	201	250	305	372	451	539	613	698	777	847	972	0
45	60	0	0	0	0	0	113	140	171	210	259	314	381	457	518	591	655	716	823	0	
55	75	0	0	0	0	0	0	0	140	174	213	262	320	387	439	506	564	619	716	0	
75	100	0	0	0	0	0	0	0	0	128	155	192	232	277	314	360	399	436	503	0	
90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155	189	226	256	290	323	354	405	0	0	
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	189	213	241	268	293	332	0	0	
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171	198	229	256	280	326	0	0	
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	192	213	232	268	0	0	

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG													Calibre del cable de cobre MCM						
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
460 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	0.37	1/2	1 149	1 835	2 883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.55	3/4	832	1 326	2 088	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.75	1	701	1 119	1 759	2 765	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	518	826	1 301	2 051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	396	631	997	1 570	2 454	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	305	488	768	1 210	1 890	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	180	290	457	719	1 128	1 753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	128	207	326	515	805	1 250	1 554	1 908	2 341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	94	152	241	381	597	930	1 158	1 426	1 753	2 149	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	0	104	165	259	408	637	792	975	1 198	1 466	1 798	2 167	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	0	0	125	198	314	491	610	753	927	1 137	1 396	1 686	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	0	0	101	162	253	396	494	607	747	917	1 128	1 362	1 655	0	0	0	0	0	0
	22	30	0	0	82	131	207	326	405	500	619	759	933	1 128	1 372	1 564	1 786	0	0	0	0
	30	40	0	0	0	98	152	241	299	369	454	558	686	826	1 003	1 137	1 295	0	0	0	0
	37	50	0	0	0	0	125	195	244	299	369	451	552	668	808	917	1 042	1 167	1 274	1 478	
45	60	0	0	0	0	0	165	204	253	311	381	469	564	683	774	881	988	1 079	1 250		
55	75	0	0	0	0	0	134	168	207	256	314	384	463	564	640	732	823	899	1 049		
75	100	0	0	0	0	0	0	0	152	189	232	287	344	421	475	546	613	668	777		
90	125	0	0	0	0	0	0	0	0	183	226	271	305	372	424	475	518	597			
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	232	280	320	363	408	445	515			
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204	247	283	323	363	396	460				
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	216	247	280	314	344	399				

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor			Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG														Calibre del cable de cobre MCM					
volts	KW	h.p	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500		
575 V 60 Hz Trifásico 3 Hilos	0.37	1/2	1 798	2 868	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.55	3/4	1 301	2 076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.75	1	1 106	1 768	2 780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	1.5	799	1 274	2 006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2	619	991	1 558	2 457	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.2	3	482	771	1 213	1 911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.7	5	280	451	710	1 122	1 753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	201	323	512	808	1 265	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	149	238	378	594	933	1 454	1 811	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	101	162	259	408	637	994	1 237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	0	125	198	314	491	768	957	1 177	1 451	1 777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	0	0	158	253	396	619	771	948	1 170	1 436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	30	0	0	131	207	326	509	634	780	963	1 183	1 454	1 762	2 143	2 438	0	0	0	0	0	0
	30	40	0	0	0	152	241	378	469	579	710	872	1 070	1 289	1 567	1 777	0	0	0	0	0	0
	37	50	0	0	0	125	195	305	381	469	576	704	866	1 042	1 262	1 433	1 628	1 826	1 990	2 310	0	0
45	60	0	0	0	0	165	259	323	396	488	597	732	881	1 067	1 210	1 378	1 545	1 686	1 954	0	0	
55	75	0	0	0	0	0	210	262	323	399	488	600	725	881	1 003	1 143	1 591	1 405	1 637	0	0	
75	100	0	0	0	0	0	0	195	241	296	363	445	539	655	744	850	957	1 045	1 216	0	0	
90	125	0	0	0	0	0	0	0	192	235	290	354	427	515	585	664	744	808	936	0	0	
110	150	0	0	0	0	0	0	0	0	201	244	302	363	439	497	567	634	692	805	0	0	
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	265	320	387	442	503	567	619	719	0	0	
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	280	338	384	439	494	536	625	0	0	
3.7	5	49	76	128	201	314	494	616	759	933	1 137	1 393	1 676	2 030	2 298	0	0	0	0	0	0	
5.5	7.5	34	55	91	140	223	351	439	539	661	808	991	1 189	1 439	1 628	0	0	0	0	0	0	
7.5	10	24	40	64	104	168	259	329	402	497	607	750	899	1 091	1 244	1 417	1 591	1 737	2 021	0	0	
11	15	0	0	43	73	113	177	223	274	338	415	506	613	744	844	960	1 073	1 173	1 362	0	0	
15	20	0	0	37	52	85	137	174	210	259	320	393	479	579	658	753	844	924	1 079	0	0	
18.5	25	0	0	0	43	67	110	137	168	210	259	320	384	469	533	607	686	750	869	0	0	
22	30	0	0	0	37	55	90	113	140	174	213	265	320	387	442	506	570	622	725	0	0	

200 V
60 Hz
Trifásico
6 Hilos
Y-D

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG															Calibre del cable de cobre MCM						
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500			
230 V 60 Hz Trifásico 6 Hilos Y-D	3.7	5	64	104	168	268	421	652	817	1 000	1 228	1 503	1 841	2 216	2 682	3 039	0	0	0	0	0		
	5.5	7.5	46	73	119	192	296	466	579	713	878	1 070	1 311	1 573	1 902	2 152	2 441	2 728	2 972	0	0		
	7.5	10	34	55	85	140	223	347	433	533	658	805	988	1 192	1 445	1 640	1 875	2 103	2 295	2 670	0	0	
	11	15	0	40	58	94	149	238	296	366	448	549	671	814	981	1 116	1 271	1 420	1 554	1 801	0	0	
	15	20	0	0	43	70	113	183	229	277	347	424	521	631	768	872	997	1 119	1 225	1 426	0	0	
	18.5	25	0	0	37	58	91	146	183	229	277	341	421	512	622	704	805	905	988	1 152	0	0	
	22	30	0	0	0	46	73	119	149	186	232	283	347	424	515	585	671	753	823	963	0	0	
	3.7	5	183	293	460	725	1 137	1 768	2 185	2 682	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	122	201	314	497	780	1 207	1 490	1 829	2 252	2 746	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	91	146	232	366	570	881	1 088	1 329	1 631	1 978	2 390	2 862	0	0	0	0	0	0	0	0	0
380 V 60 Hz Trifásico 6 Hilos Y-D	11	15	64	104	168	268	421	652	808	991	1 228	1 503	1 829	2 213	2 637	2 981	0	0	0	0	0	0	
	15	20	49	79	125	201	320	497	616	762	942	1 155	1 411	1 719	2 057	2 335	1 298	2 975	0	0	0	0	
	18.5	25	0	64	101	165	259	402	503	616	762	936	1 146	1 390	1 664	1 887	2 158	2 399	2 624	3 011	0	0	
	22	30	0	0	82	131	213	332	415	512	631	777	951	1 152	1 381	1 567	1 792	1 993	2 179	2 509	0	0	
	30	40	0	0	64	98	155	241	302	375	460	567	695	841	1 006	1 143	1 301	1 448	1 585	1 823	0	0	
	37	50	0	0	0	76	122	192	247	302	375	457	558	677	808	917	1 045	1 164	1 271	1 457	0	0	
	45	60	0	0	0	0	104	165	201	256	314	387	469	570	686	777	887	981	1 073	1 234	0	0	
	55	75	0	0	0	0	88	137	168	210	261	320	393	479	579	658	759	844	927	1 073	0	0	
	75	100	0	0	0	0	0	104	128	158	195	232	287	347	415	469	539	597	652	753	0	0	
	90	125	0	0	0	0	0	0	104	122	149	183	223	283	338	384	433	485	530	607	0	0	
110	150	0	0	0	0	0	0	0	107	128	155	189	229	283	320	360	402	439	497	0	0		
130	175	0	0	0	0	0	0	0	0	110	134	165	201	238	296	341	384	421	488	0	0		
150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	146	177	210	241	287	320	347	402	0	0		

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG												Calibre del cable de cobre MCM							
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
	3.7	5	268	433	686	1 079	1 692	2 627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	192	311	488	771	1 207	1 875	2 332	2 862	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	140	229	360	570	896	1 393	1 737	2 140	2 627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	94	155	247	387	613	954	1 189	1 463	1 795	2 198	2 697	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	70	116	186	296	469	735	914	1 128	1 390	1 704	2 094	2 527	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	58	94	149	241	378	594	741	908	1 119	1 375	1 692	2 042	2 481	0	0	0	0	0	0
	22	30	0	76	125	195	311	488	607	750	927	1 137	1 399	1 692	2 057	2 344	2 679	0	0	0	0
	30	40	0	0	91	146	229	360	448	552	680	835	1 027	1 237	1 503	1 704	1 942	0	0	0	0
	37	50	0	0	76	113	180	293	366	448	552	677	826	1 000	1 210	1 375	1 564	1 750	1 911	2 216	
	45	60	0	0	0	98	152	247	305	378	466	570	704	844	1 024	1 161	1 320	1 481	1 618	1 875	
	55	75	0	0	0	0	128	201	247	311	384	469	576	695	844	960	1 097	1 234	1 347	1 573	
	75	100	0	0	0	0	94	152	186	232	283	347	430	515	631	713	817	917	1 000	1 164	
	90	125	0	0	0	0	0	119	143	180	223	268	338	405	457	558	634	713	777	896	
	110	150	0	0	0	0	0	0	128	155	192	235	290	347	421	479	546	610	664	771	
	130	175	0	0	0	0	0	0	0	137	168	207	253	305	372	424	482	543	594	692	
	150	200	0	0	0	0	0	0	0	0	146	180	223	268	326	369	421	472	515	600	

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

Capacidad del motor		Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG												Calibre del cable de cobre MCM							
volts	kW	h.p.	14	12	10	8	6	4	3	2	1	0	00	000	0000	250	300	350	400	500	
	3.7	5	421	677	1 064	1 682	2 627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.5	7.5	302	485	768	1 210	1 896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7.5	10	223	357	567	890	1 399	2 179	2 716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	15	149	241	387	613	954	1 490	1 856	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	20	113	186	296	469	735	1 152	1 436	1 765	2 176	2 664	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18.5	25	91	149	238	378	594	927	1 155	1 420	1 756	2 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	30	73	122	197	311	488	762	951	1 170	1 445	1 774	2 179	2 643	0	0	0	0	0	0	0
	30	40	0	91	146	229	360	567	704	869	1 064	1 308	1 603	1 932	2 350	2 664	0	0	0	0	0
	37	50	0	0	116	180	293	457	570	704	863	1 055	1 298	1 564	1 893	2 149	2 441	2 737	2 984	0	0
	45	60	0	0	101	152	241	387	485	594	732	896	1 097	1 320	1 600	1 814	2 067	2 316	2 527	2 929	0
	55	75	0	0	0	128	201	314	393	485	597	732	899	1 088	1 320	1 503	1 713	1 929	2 106	2 454	0
	75	100	0	0	0	0	122	238	293	360	442	543	668	808	981	1 116	1 274	1 436	1 567	1 823	0
	90	125	0	0	0	0	0	183	226	280	351	433	530	640	771	878	997	1 116	1 210	1 402	0
	110	150	0	0	0	0	0	158	198	244	302	369	451	543	658	747	850	951	1 039	1 204	0
	130	175	0	0	0	0	0	0	174	213	262	323	396	479	582	661	756	847	927	1 079	0
	150	200	0	0	0	0	0	0	152	186	232	283	347	418	509	576	658	738	805	936	0

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual del proveedor o fabricante. Las longitudes en NEGRITAS cumplen con el amperaje del U.S. National Electrical Code sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.

Tabla 2.19 Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento de motores de corriente alterna, trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373 kW

Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima	Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima
99.0	98.8	93.6	92.4
98.9	98.7	93.0	91.7
98.8	98.6	92.4	91.0
98.7	98.5	91.7	90.2
98.6	98.4	91.0	89.5
98.5	98.2	90.2	88.5
98.4	98.0	89.5	87.5
98.2	97.8	88.5	86.5
98.0	97.6	87.5	85.5
97.8	97.4	86.5	84.0
97.6	97.1	85.5	82.5
97.4	96.8	84.0	81.5
97.1	96.5	82.5	80.0
96.8	96.2	81.5	78.5
96.5	95.8	80.0	77.0
96.2	95.4	78.5	75.5
95.8	95.0	77.0	74.0
95.4	94.5	75.5	72.0
95.0	94.1	74.0	70.0
94.5	93.6	72.0	68.0
94.1	93.0		

Fuente: NOM-016-ENER.

Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales

Potencia Nominal, kW	Potencia Nominal h.p.	Motores cerrados				Motores abiertos			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0.746	1	770	855	825	740	770	855	825	740
1.119	15	840	865	875	770	840	865	865	755
1.492	2	855	865	885	825	855	865	875	855
2.238	3	865	895	895	840	855	895	885	865
3.730	5	885	895	895	855	865	895	895	875
5.595	75	895	917	910	855	885	910	902	885
7.460	10	902	917	910	885	895	917	917	895
1.119	15	910	924	917	885	902	930	917	895
1.492	20	910	930	917	895	910	930	924	902
1.865	25	917	936	930	895	917	936	930	902
2.238	30	917	936	930	910	917	941	936	910
2.984	40	924	941	941	910	924	941	941	910
3.730	50	930	945	941	917	930	945	941	917
4.476	60	936	950	945	917	936	950	945	924
5.595	75	936	954	945	930	936	950	945	936
7.460	100	941	954	950	930	936	954	950	936
9.325	125	950	954	950	936	941	954	950	936
1.119	150	950	958	958	936	941	958	954	936

Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales (continuación)

Potencia Nominal, kW	Potencia Nominal h.p.	Motores cerrados				Motores abiertos			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
1.492	200	954	962	958	941	950	958	954	936
1.865	250	958	962	958	945	950	958	954	945
2.238	300	958	962	958	---	954	958	954	---
2.611	350	958	962	958	---	954	958	954	---
2.984	400	958	962	---	---	958	958	---	---
3.357	450	958	962	---	---	958	962	---	---
373	500	958	962	---	---	958	962	---	---

Fuente: NOM-016-ENER

Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados

Enclaustramiento	Designación	Definición en español	Definición en inglés
Motores abiertos	IP 00	Sin protección	
	IP 02	Sin protección contra contacto y cuerpos extraños y protección contra gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical	
	IP 11	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua verticales	
	IP 12	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical	
	IP 13	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical	
	IP 21	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua verticales.	
	IP 22	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical.	Open Drip-Proof (IEC Standard)
		Abierto a prueba de goteo	
	IP 23	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical	
	WP-I	Protección Ambiental Tipo I	Ambient Protection Type I
	APG, ODP	Abierto a Prueba de Goteo	Open Drip Proof
	PGCP, DPFG	A Prueba de Goteo Completamente Protegido	(Drip-Proof Fully Guarded)
	APP, ODG	Abierto a Prueba de Goteo, Protegido	Open Drip-Prof, Guarded
APG-VF, ODG- FV	Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Forzada	Open Drip-Proof, Force Ventilated	
APG-VS, ODG- SV	Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Separada	Open Drip-Proof, Separately Ventilated	

Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados (continuación)

Enclaustramiento	Designación	Definición en español	Definición en inglés
Motores cerrados	IP 44	Protección contra contacto con herramientas, contra sólidos de diámetros mayores de 1 mm y contra salpicaduras de agua en todas direcciones Totalmente Cerrado	Totally-Enclosed (IEC Standard)
	IP 54	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra salpicaduras de agua en todas direcciones Aprueba de Chapoteo	Splash Proof (IEC Standard)
Motores cerrados	IP 55	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorro de agua en todas direcciones Uso Lavadora	Washdown (IEC Standard)
	IP 56	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra oleaje fuerte	
	IP 65	Protección completa contra contacto, protección completa contra polvos y contra chorro de agua en todas direcciones	
	TC, TE, TCVE, TEFC	Totalmente cerrado con ventilación exterior.	Totally Enclosed Fan Cooled
	TC, TCVE, TEAO	Totalmente cerrado con ventilación exterior.	Totally Enclosed Air Over
	TCVF, TEBC	Totalmente cerrado con ventilación forzada	Totally Enclosed Blower Cooled
	TC, TCNV, TENV	Totalmente cerrado no ventilado	Totally Enclosed Non-Ventilated
	TCEA, TEWC	Totalmente cerrado con enfriamiento agua	Totally Enclosed Water Cooled
	TCCCAA, TECACA	Totalmente Cerrado, Circuito Cerrado, Enfriamiento Aire-Aire	Totally-Enclosed, Closed Circuit, Air to Air
	TCDVAAi, TEDC-A/A	Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Aire	Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Air
	TCDVAA, TEDC-Q/W	Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Agua	Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Water
	TCTV, TETC	Totalmente Cerrado con tubería de ventilación	Totally-Enclosed, Tube Cooled
	TCEAA, TEWAC	Totalmente Cerrado, Enfriamiento Aire- Agua	Totally-Enclosed, Water/Air Cooled
	TC, TCPE, TEXP, XP	Totalmente cerrado a prueba de explosión.	Totally-Enclosed, Explosion-Proof
	TCEAAi, TEAAC	Totalmente cerrado con enfriamiento aire-aire.	Totally Enclosed Air to Air Cooled
	TCPE, TEEP	Totalmente cerrado a prueba de explosión.	Totally Enclosed Explosion Proof
	TCPGI, TEIGF	Totalmente cerrado, presurizado con gas inerte.	Totally Enclosed Inert Gas Filled
	TCDV-IP, TEPV-IP	Totalmente cerrado con ductos de ventilación e internamente presurizados.	Totally Enclosed Pipe Ventilation Internally pressurized
	TCEAAg, TEWC	Totalmente cerrado con enfriamiento agua-aire.	Totally Enclosed Water Cooled
	TCEAA-IP, TEWC-IP	Totalmente cerrado con enfriamiento agua aire e internamente presurizados.	Totally Enclosed Water Cooled Internally pressurized

Fuente: NOM-016-ENER.

Tabla 2.22 Clasificación del tipo de aislamiento de motores

Clase de aislamiento	Temperatura máxima °C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	Más de 180

Fuente: NMX-J-075/1

Tabla 2.23 Clasificación de los materiales de aislamiento por su temperatura

Clase de material aislante	Temperatura máxima a soportar	Descripción
Y	90°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como algodón, seda, rayón y papel, sin impregnación
A	105°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como algodón, seda rayón y papel, cuando están convenientemente impregnados y cuando están sumergidos en un dieléctrico tal como aceite. Un aislamiento se considera impregnado, cuando una sustancia apropiada, por ejemplo, barniz aislante, sustituye al aire entre las fibras del material, incluso si esta sustancia no rellena completamente los huecos que quedan entre los conductores aislados
E	120°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales que por la experiencia o por ensayos de reconocida garantía, demuestran que pueden funcionar a la temperatura máxima de funcionamiento anteriormente indicada, o bien que su estabilidad térmica permite su empleo a una temperatura superior en 15°C a la de los materiales de clase A.
B	130°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc., con aglomerantes adecuados
F	155°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc. con aglomerantes adecuados
H	180°C	Aislamiento constituido por materiales tales como compuestos de siliconas, o asociaciones de materiales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc. con aglomerantes adecuados, tales como resinas de siliconas apropiadas
C	Mayor a 180°C	Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, porcelana, cuarzo y vidrio con o sin aglomerante inorgánico. En esta clase, un material, o asociaciones de materiales determinados, tendrá un límite de temperatura que dependerá de sus propiedades físicas, químicas o eléctricas

Fuente: NMX-J-153

Tabla 2.24 Velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos, fraccionarios e integrales

Frecuencia	60 Hz			
Número de polos	2	4	6	8
Velocidad síncrona r/min	3 600	1 800	1 200	900

Fuente: NEMA MG1

Tabla 2.25 Velocidades síncronas en r/min para motores

Frecuencia	60 Hz							
Número de polos	2	4	6	8	10	12	14	16
Velocidad síncrona r/min	3600	1800	1200	900	720	600	514	450

Fuente: NEMA MG1

Tabla 2.26 Servicio por régimen de tiempo

Clasificación del servicio	Porcentajes del valor nominal de corriente de las placas de características			
	Motor especificado para	Motor especificado para	Motor especificado para	Motor especificado para funcionamiento
	5 minutos	15 minutos	30 y 60 minutos	continuo
Servicio de corto tiempo: Accionamiento de válvulas, elevación o descenso de rodillos, etc.	110	120	150	-
Servicio intermitente: Elevadores y montacargas, máquinas de herramientas, bombas, puentes levadizos, plataformas giratorias, etc. (para soldadoras de arco,).	85	85	90	140
Servicio periódico: Rodillos, máquinas de manipulación de minerales y carbón, etc.	85	90	95	140
Servicio variable	110	120	150	200

Cualquier motor debe ser considerado como de ciclo continuo, a menos que la naturaleza de los aparatos que accione sea tal que el motor no operará continuamente con carga bajo cualquier condición de operación

Fuente: NOM-001-SEDE

NOTA IMPORTANTE:

Los motores que serán instalados en pozos, plantas de tratamiento, de potabilización, desaladoras y cualquier otra instalación electromecánica en el sector hídrico deberán cumplir con la normatividad de este libro.

2.3. TIPO DE SUBESTACIÓN²

El diseño de la subestación debe tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar de instalación como son: Temperatura ambiente (máxima, mínima y media), altitud sobre el nivel del mar, factores de viento y sismo, contaminación ambiental, humedad, presencia de hielo, entre otros, ver Ilustración 2.13 e Ilustración 2.16.

Se sugiere seleccionar en base a los temas siguientes:

- a) Condiciones de seguridad para el personal
- b) Mecánica del suelo
- c) Acceso controlado a personal
- d) Simplicidad en las maniobras de operación
- e) Espacio para mantenimiento y operación
- f) Protección contra incendio
- g) Grado de confiabilidad
- h) Ubicación dentro del sistema
- i) Localización del equipo
- j) Relación de transformación
- k) Niveles de tensión
- l) Resistividad del terreno
- m) Continuidad del servicio
- n) Tipo de la instalación
- o) Demanda de energía
- p) Capacidad de corto circuito.
- q) Crecimiento futuro.
- r) Cálculo de flechas y tensiones (En subestaciones abiertas).
- s) Los líquidos y gases empleados en la subestación y los equipos no deben presentar riesgos al personal y al entorno

2.3.1. CONDICIONES DE LOS LOCALES Y ESPACIOS.

Los locales donde se instalen subestaciones deben cumplir con lo siguiente:

1. Deben estar hechos de materiales resistentes al fuego de al menos una hora
2. No deben emplearse como almacenes, talleres o para otra actividad que no esté relacionada con el funcionamiento y operación del equipo
3. No debe haber polvo o pelusas combustibles en cantidades peligrosas ni gases inflamables o corrosivos
4. Deben tener ventilación adecuada para que el equipo opere a su temperatura y para minimizar los contaminantes en el aire bajo cualquier condición de operación

Por motivos de limitación de espacio en un proyecto, en acuerdo con el área mecánica y definido desde Bases de Licitación, los equipos de aire acondicionado y/o presurización se pueden localizar en un cuarto específico arriba del cuarto de tableros y equipo eléctrico de la subestación, ya sea para subestaciones de un nivel como de dos niveles. Este cuarto específico debe contar con las facilidades de acceso a personal y equipo.

Las puertas deben abrir hacia fuera, ser resistentes al fuego y las de salida de personal tener barra de pánico accionada por simple presión de palanca, no deben localizarse hacia el lado del patio de transformadores ni de las plantas de

² Fuente: NRF-051, NOM – 001-SEDE, CFE VY200-40

Ilustración 2.13 Subestación



proceso, deben ser de lámina de acero troquelada resistente al fuego, mínimo 1 hora como lo indica la ASTM E2074.

En la ilustraciones se ejemplifican cuartos de control de motores de un nivel y de dos niveles, ver Ilustración 2.14 y Ilustración 2.15.

El arreglo de una subestación eléctrica consiste esencialmente en la distribución física de sus componentes (transformadores de potencia, interruptores, cuchillas, transformadores de instrumentos) y del tipo de subestación.

Dependiendo de las necesidades del proyecto pueden tener las siguientes áreas: Cuarto de tableros y equipo eléctrico (este cuarto aloja equipos para interior como transformadores tipo seco, capacitores, tableros y CCM's de media y baja tensión, gabinetes de SFI, cargador y banco de baterías, tableros de alumbrado, tableros de control y distribución de trazas eléctricas, variadores de velocidad y arrancadores suaves de media tensión); Patio de transformadores (instalación en exterior para mayores a 150 kVA) y capacitores tipo exterior (en su caso); Cuarto de conductores o trinchera; Cuarto para bancos de baterías; Cuarto de equipos para aire acondicionado y/o presurización; Cobertizo para cilindros y mitigación de fuego.

2.3.2. SUBESTACIONES ABIERTAS

Como medio de desconexión en subestaciones abiertas, deben utilizarse cuchillas “desconectadoras” de operación en grupo, ya sea manual o por motor. Como dispositivo principal de desconexión y protección se deben seleccionar interruptores de potencia, de tres polos, mon-

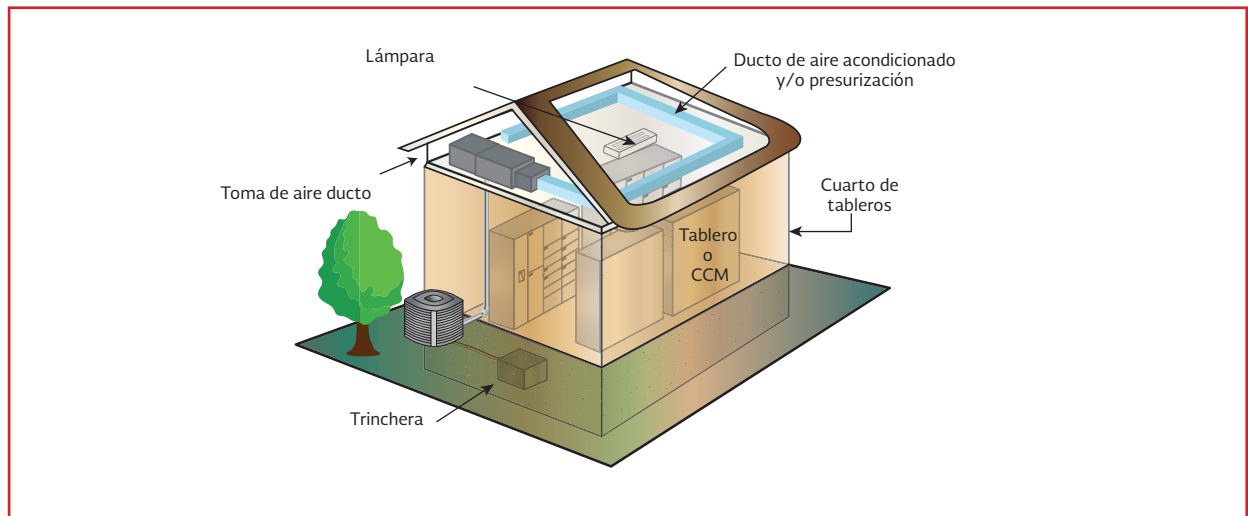
tados sobre un bastidor soporte de acero, como lo requieran los siguientes parámetros y accesorios:

1. El medio de extinción del arco debe ser vacío para tensiones de 5 kV hasta de 34.5 kV, y hexafluoruro de azufre en subestaciones con tensiones mayores de 34.5 kV. Tiempo de interrupción de tres ciclos
2. Mecanismo de operación tripolar con características de activación (disparo) libre, de energía almacenada por resorte, la carga del resorte debe ser por motor eléctrico. El mando para accionamiento de contactos debe ser manual sin energía de control y eléctrico (de forma local y remota)
3. Las boquillas deben ser de porcelana o resina epóxica
4. El gabinete de control debe ser de lámina de acero inoxidable
5. El equipo de regulación automática LTC debe de contar con: contador de operaciones, indicador visual de posición de contactos, indicador del mecanismo de operación

2.3.3. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN POSTE O MARCO DE POSTES

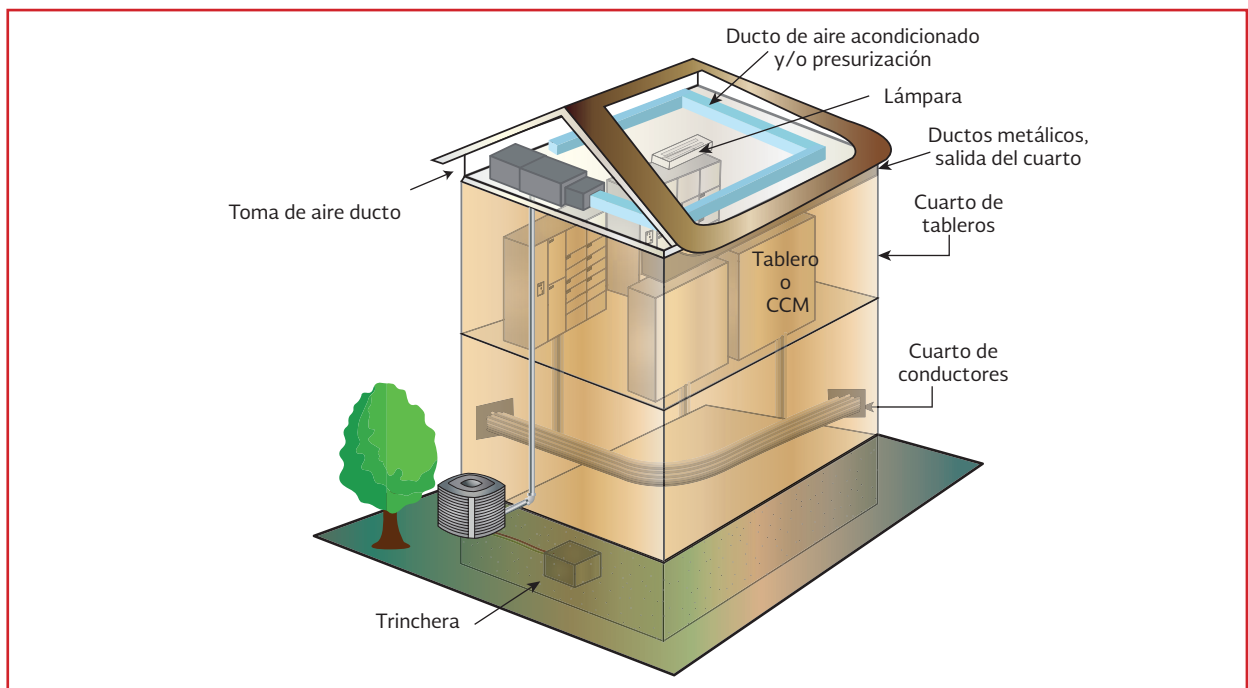
Es la subestación más sencilla, consta de un poste o marco formado por dos postes de concreto, con traveses de viga de acero galvanizado en las que se recibe la acometida y se montan aisladores, cuchillas “desconectadoras”, apartarrayos y cuchillas fusibles. El transformador se ubica soportado del (los) poste(s); el equipo para medición se instala resguardado a pie de los postes y fuera del límite del Centro de Trabajo, la protección, control y distribución de baja tensión normalmente es instalado en un cuarto diseñado para este propósito.

Ilustración 2.14 Cuarto de control eléctrico en un nivel



Fuente: NRF-051

Ilustración 2.15 Cuarto de control eléctrico en dos nivel



Fuente: NRF-051

2.3.4. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN MARCO DE ESTRUCTURA METÁLICA

Es similar al descrito en el párrafo anterior, consta de un marco de estructura metálica formada de perfiles estructurales, armados en celosía de acero galvanizado por inmersión; en la estructura se montan aisladores, cuchillas “desconectoras”, apartarrayos y cuchillas seccionadoras, bajo la estructura sobre una base se localiza el interruptor de potencia y frente a éste, a distancia conveniente para instalación y mantenimiento, se localiza el transformador. El equipo para medición se instala resguardado a pie de la estructura y fuera del límite del centro de trabajo la protección, control y distribución de baja tensión, se instala en un cuarto diseñado para este propósito.

2.3.5. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN CUADRO DE ESTRUCTURA METÁLICA

Consta de un cuadro integrado por columnas y traveses de perfiles estructurales armados en celosía, en la estructura se realiza el tendido y arreglo de cables a los que de acuerdo al diseño se conectan los equipos como cuchillas, apartarrayos, transformadores de potencial, transformadores de corriente, interruptores de potencia y transformador. El equipo para medición se instala resguardado a pie de la estructura y fuera del límite del centro de trabajo; la protección, control y distribución de baja tensión, se instala en un cuarto diseñado para este propósito. Toda el área debe delimitarse y resguardarse con malla ciclón o barda de mampostería, con acceso restringido. La capacidad de estas subestaciones debe cumplir con los requisitos del proyecto.

2.3.6. SUBESTACIONES COMPACTAS

Se instalan principalmente en el interior de subestaciones y edificios, se utilizan en capacidades de 1 000 kVA como máximo y tensiones hasta de 34.5 kV. Los elementos que las componen como cuchillas de prueba, apartarrayos, barras conductoras, fusibles e interruptores, se instalan dentro de celdas metálicas de lámina y estructura de acero. El equipo de medición se instala a pie de la acometida y fuera del límite del centro de trabajo.

2.3.7. SUBESTACIÓN BLINDADA EN GAS SF₆

2.3.7.1. Campo de aplicación

Para utilizarse en sistemas con tensiones nominales de 72.5 kV a 420 kV con frecuencia industrial de 60 Hz, para servicio interior o intemperie, aplicables en casos especiales como los siguientes (ver Ilustración 2.16) :

- a) Zonas urbanas con poca disponibilidad de espacio
- b) Zonas con alto costo de terreno
- c) Zonas de alta contaminación y ambiente corrosivo
- d) Zonas con restricciones ecológicas
- e) Instalaciones subterráneas
- f) Zonas con alto índice de sismicidad
- g) Zonas de alto impacto social y urbanístico

2.3.7.2. Descripción General de la Subestación

La subestación debe estar formada por los juegos de barras, cuyo tipo y número de bahías que se indican en las características particulares. Los tipos de barras son básicamente los siguientes:

Ilustración 2.16 Subestación SF₆



Primera subestación en SF₆ ubicada en el Realito

- a) Arreglo de barra principal
- b) Arreglo de barra principal barra – auxiliar con interruptor de amarre y/o transferencia
- c) Arreglo en anillo
- d) Arreglo en “H”
- e) Arreglo de interruptor y medio
- f) Arreglo de doble barra – doble interruptor

Los tipos de bahías son básicamente las siguientes:

- Bahía de salida a línea de transmisión (aérea o cable)
- Bahía de salida a equipo de transformación
- Bahía de enlace de barras y/o de transferencia

Cada una de las bahías así como el conjunto de barras debe estar formada con base en compartimientos aislados con gas SF₆, formando un conjunto modular.

En el caso de subestaciones con tensiones hasta de 145 kV, para las barras, se puede utilizar el diseño con envolvente trifásica, o el diseño con envolvente monofásica.

En el caso de subestaciones con tensiones mayores de 145 kV y hasta 245 kV, para las barras, se puede utilizar el diseño con envolvente trifásica, o el diseño con envolvente monofásica. En subestaciones con tensión de 420 kV, sólo se acepta el arreglo con envolvente monofásica.

Independientemente de la cantidad o tipo de transformadores de potencia (monofásicos o trifásicos) la conexión entre la subestación y estos equipos deben ser a través de línea aérea.

A menos que existan condiciones especiales como falta de espacio, alta contaminación ambiental entre otras, la conexión de la subestación al transformador debe ser mediante envolvente metálica en SF₆ con transición gas – aceite, esta envolvente debe contar con un estanco a 5 m de la transición con el objeto de facilitar las actividades de mantenimiento. El requerimiento de la conexión del transformador a la subestación se debe indicar en características particulares.

2.3.7.3. Arreglo de barras aplicables

Los arreglos de barras colectoras que se utilizarán en los proyectos de Subestaciones Eléctricas son:

- En media tensión (M.T.) de 13.8 kV a 34.5 kV: barra principal en tablero metálico blindado aislado en aire y gas SF₆
- En alta tensión (A.T.) de 69 kV a 138 kV: barra principal, barra principal - barra de transferencia, anillo y arreglo de barras en “H”

Ventajas:

1. No existe restricción entre la ubicación física de las bahías de los elementos y la funcionalidad de la subestación eléctrica
2. Con un interruptor fuera de servicio, la activación (disparo) o salida de un elemento, ocasiona la pérdida de únicamente el elemento objeto de la falla
3. Permite realizar arreglos de bajo perfil, ya que sólo se requieren dos niveles de conductor energizado para la conectividad entre equipos. En subestaciones blindadas en gas SF₆, estos niveles no se requieren
4. Permite dar mantenimiento al interruptor del elemento que se trate, sin la pérdida del enlace utilizando el bypass. Para las subestaciones blindadas en gas SF₆, el uso de la cuchilla de bypass no es recomendable, ya que se garantiza la operación continua de un interruptor sin darle mantenimientos mayores hasta por lo menos durante un período de 10 años
5. Se puede ampliar fácilmente, en las subestaciones blindadas en gas SF₆, se debe dejar espacios para el crecimiento
6. De fácil construcción modular
7. Requiere poco espacio de construcción
8. Las subestaciones blindadas en gas SF₆, son de mucha confiabilidad, es posible

que todas las salidas y entradas se puedan realizar con terminales SF₆-Cable y evitar partes vivas en la subestación eléctrica

9. En subestaciones blindadas en gas SF₆, se requiere poco espacio de construcción, se puede reducir hasta un 40 por ciento el área requerida
10. En subestaciones blindadas en gas SF₆ es muy difícil que exista una falla en la barra ya que ésta se considera un elemento pasivo

Desventajas:

1. En las subestaciones eléctricas de distribución de bajo perfil, este arreglo ocupa mayor superficie de construcción contra los arreglos descritos siguientes:
 - a) Barra principal
 - b) Anillo
 - c) Arreglo en H
 - d) Arreglos en subestaciones blindadas en gas SF₆

Para la subestación blindada en gas SF₆ la cimentación o base para recibirla debe ser diseñada y construida con base a la información que proporcione el fabricante de la misma, como son: dibujos, planos, datos relativos a pesos y dimensiones, detalles de anclaje, tolerancias para desplazamientos verticales, entre otros; de tal manera que se evite realizar modificaciones relevantes durante la colocación de este equipo.

2.3.7.4. Disposición Física de la Subestación

La disposición física del equipo y demás elementos de la subestación se debe hacer para lograr

un arreglo limpio y lógico, que permita el acceso para efectuar trabajos de reparación y mantenimiento en los diferentes compartimientos, que facilite la sustitución de partes de la instalación y las posibilidades de expansión futura para la adición de nuevos equipos o bahías, con la mínima afectación del servicio y del equipo ya instalado. El arreglo de la subestación debe ser tal que se permita efectuar acciones regulares de operación y mantenimiento como son los siguientes:

1. Inspección del equipo y mecanismos
2. Operación local del equipo de maniobra
3. Toma de lecturas de instrumentos
4. La observación de posición de cuchillas
5. La revisión y cambio de accesorios
6. La utilización de equipo de servicio
7. Inyección de gas

2.3.7.5. Variación de la temperatura ambiente

Las variaciones de temperatura ambiente para condiciones de servicio normal y especial se indican en la Tabla 2.27.

2.3.7.6. Límite permisible de elevación de temperatura

Los límites de temperatura permisibles para las partes conductoras de las subestaciones blindadas cubiertas por esta especificación, con relación a una temperatura máxima de 40 °C y una temperatura promedio durante 24 horas no mayor de 35 °C deben ser las siguientes:

1. En barras de cobre o aluminio 65 °C
2. En conexiones atornilladas o a base de contactos a presión 65 °C
3. En la envolvente metálica 30 °C

2.3.7.7. Altitud

Para el diseño de la subestación y en particular para los aislamientos externos (boquillas), se deben considerar las siguientes altitudes.

1. Menor o igual a 2 500 m
2. Mayor a 2 500 m

2.3.7.8. Características nominales y valores de pruebas dieléctricas

Las características nominales de la subestación y los diferentes equipos que la integran, se indican en las características nominales y valores de pruebas dieléctricas están basados e indicados en la Tabla 2.28. En esta misma se mencionan los valores de las pruebas dieléctricas aplicables.

2.3.7.9. Corrientes nominales de operación y corrientes de Interrupción

Las corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción se indican en la Tabla 2.29.

2.3.7.10. Transición de salida

Para la conexión de cada una de las bahías de la subestación al equipo o elemento externo, sea éste una línea de transmisión, equipo de transformación u otro, se deben utilizar los siguientes tipos de transición:

- a) Barra en SF₆ a boquilla SF₆ – Aire (1).
- b) Barra en SF₆ a terminal cable (2)
- c) Barra en SF₆ a boquilla SF₆ – Aceite de transformador (2)

Notas:

1. Así mismo, en las Características Particulares se indica la distancia de fuga, la cual debe estar de acuerdo con la especificación CFE L0000-06
2. Las boquillas deben cumplir con lo indicado en la especificación CFE 53000-95.

El límite del suministro por parte del fabricante de la subestación aislada en gas SF₆ correspondiente a cada uno de los tipos de terminal se indica a continuación:

2.3.7.11. Barra en SF₆ boquilla SF₆ – aire

El proveedor debe incluir en el suministro:

- a) El tramo de la envolvente desde la bahía hasta la localización de las boquillas SF₆-aire, incluyendo el equipo para la supervisión, alarma y activación (disparo) por baja presión del gas
- b) Las boquillas SF₆ - aire, incluyendo su respectivo equipo para supervisión de gas, deben tener por lo menos los mismos niveles de aislamiento que los del equipo de la bahía
- c) Un tap capacitivo en la boquilla, que por diseño, el fabricante lo considere necesario para su correcta operación
- d) Todos los accesorios incluyendo, diafragmas o módulos de expansión que requiera el trayecto de la envolvente SF₆,
- e) Los medios de soporte que requieren tanto las trayectorias de las envolventes en SF₆ como las boquillas en SF₆ - aire

- f) El montaje de las boquillas, debe ser con una inclinación máxima de 30° con respecto al eje vertical. Para montaje horizontal con tensiones nominales de 69 kV y 115 kV, el material para el aislamiento externo de las boquillas debe ser de porcelana

2.3.7.12. Barra en SF₆ a terminal cable

El proveedor debe incluir en el suministro:

- a) El número de envolventes en SF₆ requeridas desde la bahía hasta la terminal de cable, incluyendo el equipo para la supervisión, alarma y activación (disparo) por baja presión del gas
- b) Todos los accesorios incluyendo, diafragmas o módulos de expansión que requiera el trayecto de la envolvente SF₆
- c) Los medios de soporte para las envolventes en SF₆ y para la terminal del cable
- d) La terminal del cable incluyendo tanto la envolvente exterior como las partes internas de la terminal, de acuerdo al diseño del fabricante
- e) Los torques de diseño de la terminal, debiendo entregar un reporte de esta actividad al usuario final durante la etapa de puesta en servicio

2.3.7.13. Barra en SF₆ a boquilla SF₆ - aceite de transformador

Para el caso de terminales de este tipo, el proveedor debe suministrar:

- 1. Los tramos de las envolventes en SF₆ hasta la boquilla SF₆-aceite del transforma-

dor, incluyendo el equipo para supervisión, alarma y disparo por baja presión del gas

- 2. Los medios de soporte y sujeción para las envolventes en SF₆
- 3. La boquilla en SF₆- aceite debe tener un tap capacitivo para medición de la tensión, para lo cual el fabricante del transformador de potencia se debe poner de acuerdo con el proyectista
- 4. Los medios de conexión (conectores) para la parte conductora y para la envolvente de la boquilla con la parte correspondiente del transformador

El fabricante debe asegurar que la longitud máxima en los compartimientos de gas SF₆ en tramos rectos, no exceda de 5 m, debiendo ser con aislador barrera (estanco) y poder evitar la extracción de todo el volumen de gas de la sección encapsulada al transformador. En estos casos, se requiere que cada compartimiento de gas esté provisto de su correspondiente sistema de alarma y monitoreo. Lo anterior para eficientar el mantenimiento del transformador de potencia.

2.3.7.14. Tensiones de Alimentación de Auxiliares

Las tensiones de alimentación de auxiliares para el equipo de la subestación, para las funciones de control, alimentación de motores, calefacción, protección y alarmas se indican en la Tabla 2.30, Tabla 2.31 y Tabla 2.32. Los intervalos de variación de estas tensiones, dentro de los cuales deben operar satisfactoriamente los equipos e instrumentos de la subestación, deben ser considerados por el fabricante para el diseño de los mismos.

2.3.7.15. Partes Conductoras

Todas las partes conductoras de la subestación aislada en gas, incluyendo las barras, equipos y los elementos de conexión entre ellos, deben tener la sección transversal necesaria para conducir en forma continua la corriente nominal requerida, sin exceder los límites de elevación de temperatura máximos especificados, y además deben tener la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos producidos, resultantes de las corrientes de corto circuito y minimizar la flexión por su propia masa.

Las superficies de los conductores incluyendo sus puntos de conexión deben estar perfectamente terminados, libres de aristas y protuberancias a fin de evitar que se produzcan en cualquier punto concentraciones de campo eléctrico que den por resultado descargas parciales excesivas o bien la ruptura del dieléctrico.

La unión entre los diferentes segmentos que integran la parte conductora de la subestación aislada en gas, se debe efectuar mediante conexiones a base de segmentos de contacto a presión plateados, que garanticen además de un buen punto de contacto, la libre expansión y contracción de las partes conductoras producidas por la dilatación de las mismas o de la envolvente, a fin de evitar que se produzcan esfuerzos mecánicos sobre los aisladores de soporte internos.

Las envolventes metálicas se deben fabricar con aluminio libre de poros o también con acero inoxidable de las características necesarias para reducir al mínimo las pérdidas magnéticas. El espesor de las paredes de los elementos que forman las envolventes debe soportar las sobre-presiones causadas por el arco eléctrico en caso de fallas internas y evitar la perforación por

quemaduras de la envolvente por arco eléctrico, en el caso de fallas con tiempo de libramiento hasta de (400 – 500 ms). Las envolventes se deben diseñar para soportar la aplicación de vacío absoluto para fines de evacuación y secado de las partes internas.

Todas las juntas entre las diferentes secciones que integran las envolventes deben ser maquinadas, la unión debe ser mediante bridas acopladas con tornillos y arandelas de presión.

En cada una de las uniones se deben utilizar empaques o juntas elásticas de material resistente a la intemperie y al ataque de los productos de descomposición del gas SF₆. La calidad de estas juntas, así como la de los materiales que forman las envolventes, deben ser tal que garanticen una hermeticidad entre compartimentos y hacia el exterior que permita reducir la pérdida de gas anual a un valor de 0.5 por ciento o menor en cada compartimiento, con relación a su propio volumen de gas o del 0.5 por ciento del total de la instalación con respecto al volumen total de gas.

A fin de poder absorber las dilataciones y contracciones que se presenten en las diferentes condiciones de temperatura y en particular en el caso de tramos largos de la instalación, como es en envolventes de barras, envolventes de salida, entre otros, dentro del ensamble de éstas se deben prever los medios de expansión necesarios de acuerdo con la longitud, a fin de reducir los esfuerzos aplicados a las estructuras y soportes de la instalación y a otros elementos de la misma, estos medios de expansión deben ser del tipo de diafragma metálico con los accesorios necesarios de tensión, en el caso de envolventes acopladas a equipos de transformación sujetos a vibración se deben prever medios para reducir la transmisión de esas vibraciones a la subestación.

2.3.7.16. Compartimentos

La cantidad de compartimentos de gas debe ser propuesta por el proveedor y cumplir con lo siguiente:

- a) Debe contar con equipo de supervisión de gas con medición independiente que tenga indicación en la escala numérica y con colores que incluya contactos de alarma, bloqueo y sobre-presión
- b) Debe contar con equipo de alivio de presiones excesivas, el cual debe estar adecuadamente localizado y contar con deflectores y cubiertas de modo que en caso de operar no representen ningún riesgo para el personal a cargo de la instalación
- c) Debe ser compatible con el equipo de manejo de gas propuesto por el fabricante, incluyendo conexiones y mangueras de tal manera que sea capaz de manejar por lo menos 1.5 veces el volumen del estanco más grande
- d) Debe proporcionar facilidad de mantenimiento, en tal forma que se pueda aislar el mínimo número de compartimentos
- e) En el caso de subestaciones en SF₆, independientemente del número de barras, no se acepta que toda la barra esté contenida en un solo compartimento, se requiere al menos un estanco por cada bahía, así como sus juntas de expansión correspondientes
- f) El flujo de gas entre los diferentes compartimentos que deban estar comunicados, se debe efectuar por la parte interna de las envolventes. No se aceptan tuberías o conductos de gas externos

- g) La continuidad eléctrica entre los diferentes compartimentos de gas, para asegurar en todas ellas el mismo nivel de potencial (potencial de tierra), se debe efectuar mediante barras metálicas de interconexión externas, no deben utilizarse para este propósito las propias bridas ni sus tornillos

Para el caso de compartimentos que se encuentren a la intemperie, el equipo de supervisión de gas debe estar contenido en un gabinete a prueba de intemperie, que satisfaga las condiciones ambientales.

2.3.7.17. Conexiones a Tierra

Las envolventes metálicas de cada compartimento, las estructuras o medios de soporte metálicos, las cajas o gabinetes metálicos, y en general todas aquellas partes metálicas de la subestación con la que puede estar en contacto el personal, estando en servicio la subestación, deben estar conectadas efectivamente a la red de tierras de la instalación, mediante barras sólidas de cobre de sección rectangular de la capacidad adecuada; el número de puntos de conexión debe ser de acuerdo al tamaño y cantidad de elementos que forman la subestación y debe asegurar la ausencia de puntos con diferencia de potencial entre sí y a tierra.

2.3.7.18. Bloqueos entre equipos de maniobra

El diseño de la subestación debe tomar en cuenta y prever la posibilidad de operaciones erróneas en el equipo de maniobra (cuchillas e interruptores) y la seguridad del personal a cargo de la instalación en caso de que esto suceda.

Para lo anterior se requiere que el equipo de maniobra de la subestación cuente con bloqueos para evitar los siguientes casos:

- a) El cierre de un circuito energizado cuando se tiene cerrada alguna cuchilla de puesta en tierra
- b) La operación de una cuchilla desconectadora con corriente de carga
- c) Las cuchillas de puesta a tierra deben de contar con bloqueo eléctrico y mecánico
- d) El cierre de una cuchilla de puesta a tierra de bus sobre un circuito energizado
- e) Otros bloqueos que el fabricante considere necesarios

2.3.7.19. Aislamiento Sólido

Las partes conductoras de la subestación deben estar soportadas por piezas aislantes (aisladores) de un material con características dieléctricas adecuadas, compatibles con el gas SF₆ y sus productos, así como con otros metales o materiales empleados en la subestación. El diseño de los mismos debe tender a lograr una distancia de fuga y una distribución de la tensión tales que se eviten los puntos con gradiente elevado.

Los aisladores soporte que adicionalmente deben servir como medios para independizar los distintos compartimientos de gas, deben tener además; la resistencia mecánica y el hermetismo necesario, para soportar los esfuerzos y presiones que se presenten tanto en condiciones normales de operación como en caso de falla.

Los aisladores barrera que forman estancos de gas deben estar diseñados para soportar la presión máxima nominal de servicio en una cara y una presión de vacío menor a 100 Pa en la otra cara y viceversa.

El diseño y tipo de montaje de los aisladores debe evitar que se produzcan sobre éstos esfuerzos mecánicos excesivos causados por las partes conductoras y/o las envolventes metálicas.

En el caso de aisladores que deben quedar localizados entre secciones de gas intercomunicadas, éstos deben contar con los orificios o aberturas que permiten el libre flujo de gas.

2.3.7.20. Aislamiento Gaseoso

La presión nominal del gas en los diferentes compartimientos debe ser determinada por los propios fabricantes en base a su diseño, y debe ser de un valor único para toda la subestación con excepción de los compartimientos de interruptores, en los cuales por capacidad interruptiva se puede requerir una presión diferente al del resto de la subestación.

El diseño y material de las envolventes metálicas así como la calidad de las juntas y conexiones entre elementos debe ser tal que la fuga anual de gas sea inferior al 0.5 por ciento, tanto en cada compartimento con relación a su propio volumen de gas, como en la subestación en su totalidad con relación al volumen de gas total de la misma.

Dentro del intervalo de variación de temperatura especificada, la densidad del gas se debe mantener constante a fin de mantener los niveles de aislamiento requeridos; adicionalmente se requiere que en caso de que por pérdida de gas la presión baje a un valor igual a la presión atmosférica, el aislamiento a tierra y entre fases sea suficiente para soportar sin fallar la tensión nominal de la subestación, quedando entendido que en tal caso no deben operar los equipos de maniobra (cuchillas e interruptores).

Cada compartimento de gas debe contener elementos filtrantes estáticos, capaces de absorber la humedad y otros productos del gas.

Se deben suministrar tomas con válvulas de no retorno en cada compartimento, en los densímetros y en la válvula de llenado, de tal manera que permitan efectuar una reposición de gas cuando sea necesario sin tener que sacar de servicio parcial o totalmente la instalación.

La supervisión del gas se debe efectuar mediante densímetros instalados en cada compartimento con contactos de alarma que actúen e indiquen los siguientes casos:

- a) En compartimentos de interruptores
 - Una alarma preventiva (primer nivel) que indique el inicio de una fuga de gas, ajustada a un valor en el cual aún no se afecte la operación segura de la instalación
 - Una segunda alarma (segundo nivel) ajustada al valor en el cual se empiecen a afectar las capacidades nominales del interruptor
- b) En otros compartimentos
 - Una alarma preventiva (primer nivel) que indique el inicio de una fuga de gas, ajustada a un valor en el cual aún no se afecte la operación segura de la instalación
 - Una segunda alarma (segundo nivel) ajustada al valor en el cual se empiecen a afectar los niveles de aislamiento de la instalación
 - Se requiere indicación directa, con carátula con graduación numérica y con colores para lecturas de densidad o presión del gas en todos los compartimentos herméticos, y de exactitud en

los relativos a interruptores y boquillas

- En los compartimentos adyacentes a los interruptores se debe contar con una alarma por alta presión del gas

Se debe considerar en el diseño las facilidades para que el cambio o reposición de los densímetros se pueda efectuar sin tener que evacuar o sacar de servicio el compartimento respectivo.

El gas SF₆ a utilizarse en la subestación debe cumplir con lo indicado en la norma IEC 60376.

Los límites de cada compartimento de gas de la subestación deben ser fácilmente identificables desde el exterior, para lo cual el proveedor marca los límites entre compartimentos de gas contiguos (una banda de color u otro medio fácilmente visible).

Se requiere que la subestación aislada en gas y los equipos que la integran no necesiten de trabajos de mantenimiento mayores por lo menos durante un período de 10 años. Los trabajos de mantenimiento menor deben estar dirigidos exclusivamente a las partes accesibles de los mecanismos y equipos, accesorios de la instalación, y deben consistir en trabajos rutinarios de inspección, lubricación y limpieza de estos elementos, sin que esto requiera tener que desarmar o desmontar las partes conductoras o envolventes de la subestación y evacuar el gas.

Para la ejecución de trabajos de mantenimiento mayor preventivo, cuando llegue el momento de efectuarlos, o bien para el caso de trabajos de reparación, el diseño de la subestación debe prever las facilidades para separar las partes conductoras, envolventes y módulos para:

- a) Poder trabajar en el interior de los compartimentos de gas sin tener que evacuar todos los compartimentos de la bahía, incluyendo los adyacentes
- b) Poder trabajar en cualquier compartimento de una bahía sin tener que sacar de servicio el resto de la subestación, o bien hacerlo por un período mínimo de tiempo

El proveedor de la subestación debe entregar:

Accesorios

- a) Densímetros para supervisión del gas SF₆ y sus medios de conexión
- b) Dispositivos de alivio de presión
- c) Tomas para rellenado de gas con válvula de retención
- d) Tomas para conexión de manómetros portátiles con válvula de retención
- e) Indicadores visuales de posición del equipo (cuchillas, interruptores)
- f) Elementos de expansión para las envolventes metálicas, incluyendo los medios para tensionar
- g) Tuberías y/o canalizaciones para cables de control y fuerza desde la subestación hasta los gabinetes de control local
- h) Cableado de control y fuerza entre la subestación y los gabinetes de control local
- i) Todos los tornillos, arandelas de presión, entre otros, para el ensamble y montaje de la subestación aislada en gas
- j) Tapas metálicas para el transporte y blindajes necesarios para las pruebas y mantenimiento, que deben ser resistentes a la intemperie
- k) En el suministro se debe incluir un sistema de detección en línea de descargas parciales para subestaciones encapsuladas

en SF₆ para tensiones desde 115 kV a 400 kV considerando los sensores necesarios que cubran el 100 % de las bahías, ubicados en la pared interna de la envolvente

- l) Placa de características por bahía y/o equipo
- m) Elementos filtrantes estáticos para el gas SF₆, en cada uno de los compartimentos de los interruptores
- n) Contador de operaciones de los interruptores
- o) Contador de descargas de apartarrayos
- p) Puentes desmontables (links) en conexiones a cables, transformadores y transformadores de potencial
- q) Conmutadores de contactos auxiliares para cuchillas e interruptores
- r) Ventanas de verificación visual de posición de cuchillas
- s) Estructuras y medios de soporte de todo el equipo o elementos de la subestación
- t) Conectores para terminales de salida
- u) Dispositivos para absorber vibración de otros equipos
- v) Placas y conectores para conexiones a tierra
- w) Capacitores de distribución de tensión en interruptores multicámara
- x) Resistencia de preinserción de interruptores o relé de sincronismo para el cierre del interruptor

2.3.7.21. Condiciones de operación

Gabinetes de Control Local

Para cada una de las bahías de la subestación, se debe suministrar un gabinete de control local, el cual debe estar dispuesto físicamente enfrente de la bahía correspondiente y tener una medida a lo ancho no mayor que la propia bahía.

El gabinete se debe construir con base de lámina y perfiles estructurales de fierro, debe ser para montaje directo sobre el piso y estar preparado para recibir todo el cableado externo por la parte inferior. El gabinete debe ser autoportado.

Estos gabinetes se deben agrupar formando una unidad uniforme y compacta y deben contar con los equipos y aparatos necesarios para desempeñar las siguientes funciones básicas:

- a) Control local de los equipos de maniobra de la bahía, cuchillas e interruptores
- b) Señalización de alarmas locales y remotas - señalización de la posición de los equipos de maniobra de la bahía, y un cuadro de alarmas con indicación del funcionamiento inadecuado de algún elemento de la bahía
- c) Centralización del cableado de la bahía, incluyendo circuitos de control libre de interferencia de los diferentes elementos de la bahía, circuito de señalización y de alarmas, circuitos de cierre, activación (disparo) y bloqueo, circuitos secundarios de transformadores de instrumentos, cableado de contactos auxiliares del equipo, circuitos de fuerza y calefacción
- d) Representación mímica de la bahía, representación mímica del diagrama unifilar de la bahía de la parte frontal del gabinete, de acuerdo a la clave de colores siguiente:
 - Morado magenta para tensiones de 123 kV y 138 kV
 - Verde para tensiones de 139 kV a 161 kV
 - Amarillo para tensiones de 230 kV,
 - Azul para tensiones superiores a 230 kV

En el caso de contar con pantalla de contacto se debe seguir el código de colores indicado anteriormente y se deben indicar los compartimientos que integran la bahía.

- e) Control y protección de circuitos de alimentación de auxiliares de la bahía, mediante elementos tales como relevadores, arrancadores, interruptores termomagnéticos, fusibles, entre otros, requeridos para cada uno de estos circuitos.
- f) Enlace con el tablero de control, medición y protección de la subestación, mediante la instalación de tablillas y cableado

Para instalación interior el gabinete debe ser a prueba de polvo, con grado IP 61.

Para instalaciones exteriores debe ser a prueba de polvo y de agua, con grado IP 64.

Cada gabinete debe contar con alumbrado interior y resistencias calefactoras para evitar la condensación de humedad. Las puertas de acceso al gabinete se deben ubicar en la parte frontal del mismo y deben contar con bisagras, cerradura con llave y empaque.

Cableado

La cubierta exterior de los cables de control y/o fuerza debe ser del tipo libre de halógeno (anti-flama y retardante al fuego). Todo el cableado se debe conectar a tablillas terminales en el gabinete y estar adecuadamente identificado tanto el cable como las tablillas.

El arreglo del cableado no debe obstaculizar el acceso a los aparatos e instrumentos del gabinete ni su reemplazo. El cableado se debe agrupar

en paquetes y asegurarse con medios de sujeción no metálicos.

No se deben efectuar empalmes en el trayecto de cables entre la subestación y los gabinetes.

El tipo de terminal para todo el cableado que se conecte a tablillas debe ser del tipo anillo o punta (espada) y sujetarse a las tablillas por medio de tornillos. No se permiten más de dos terminales de cableado por tornillo en tablillas.

Las terminales de circuitos de fuerza, control y medición o señalización se deben agrupar en secciones de tablillas diferentes.

Para el cable de control que interconecta el equipo de la subestación con el gabinete de control, se acepta el empleo de cable de conductores múltiples con terminales tipo clavija y enchufe en ambos extremos los cuales deben venir ya pre-dimensionados y probados de fábrica. Todo el cable de control debe ser blindado con pantalla metálica para evitar problemas de interferencia.

Interruptores de potencia

Tipo

Los interruptores deben ser del tipo tripolar en gas SF₆ con una sola presión como medio de extinción del arco, del tipo autosoplante (puffer), formado por tres polos o fases contenidos en envolventes metálicas a potencial a tierra, una por fase o para las tres fases (variante que se acepta solo en tensiones nominales de 145 kV o menores) y utilizando el mismo gas SF₆ como aislamiento principal entre las partes conductoras y tierra y entre contactos en posición abierta.

Secuencia de operación

La secuencia nominal de operación para los interruptores de la subestación aislada debe ser la correspondiente a equipo para recierre rápido indicado en la norma IEC 62271-100 como sigue:

O - 0.3 segundo - CO - 3 minutos - CO

En donde:

- O representa una operación de apertura
- CO representa una operación de cierre seguida inmediatamente por una de apertura

Mecanismo de operación

Los interruptores deben tener mecanismos de operación, los cuales deben contar con alguna forma de energía almacenada para su accionamiento.

Cada interruptor debe ser totalmente auto-contenido y contar con todos los elementos necesarios para operar en forma independiente (no se aceptan fuentes de energía almacenada centralizadas para varios interruptores), adicionalmente se requiere que en tensiones superiores a 145 kV cada polo cuente con su propio mecanismo y medios de control para operación monopolar; mientras que en tensiones de 145 kV o inferiores, se puede suministrar un mecanismo común a los tres polos o tripolar, dependiendo del diseño de cada fabricante.

El mecanismo debe poder ser operado mediante mando eléctrico local (desde el gabinete de control local de cada bahía), mando eléctrico remoto (desde el tablero de control, protección

y medición de la subestación) y contar con preparativos para el telecomando de interruptores y cuchillas, teleseñalización y teleindicación de alarmas desde las pantallas del cuarto de control de la subestación.

Tiempos de operación

Los interruptores deben cumplir con los siguientes tiempos máximos de operación:

- a) Tiempo total de interrupción
 - 50 ms para equipo de 72.5 kV hasta 420 kV
- b) Tiempo máximo de cierre
 - 160 ms para equipo de todas las tensiones

Cuchillas desconectadoras

Tipo

Las cuchillas deben ser del tipo tripolar, en gas SF₆ como medio de aislamiento principal a tierra y entre contactos, e integrada por tres polos o fases contenidos en envolventes metálicas a potencial de tierra, una por fase o bien una para las tres fases (variante que sólo se acepta en tensiones nominales de 145 kV y menores), accionada por mecanismo operado a motor.

Mecanismo de operación

Cada cuchilla desconectadora debe estar provista de un mecanismo de operación monopolar o tripolar, accionado por un motor eléctrico, cuyas características se indican en la Tabla 2.31.

El mecanismo debe contar con los medios de acoplamiento mecánicos para accionar los tres polos de la cuchilla en forma simultánea. Como

alternativa se pueden proponer mecanismos a motor individuales por polo.

Los mecanismos de las cuchillas deben contar con mando eléctrico local y remoto.

Adicionalmente se requiere contar con un mando local que permita operar las cuchillas en forma manual, en caso de emergencia.

Cuchillas de Puesta a Tierra

Para dar seguridad durante trabajos de mantenimiento tanto al personal como al propio equipo, se requiere que todas las partes conductoras puedan ser conectadas a tierra, mediante cuchillas de puesta a tierra. La localización de las cuchillas de puesta a tierra se debe indicar en el diagrama unifilar, debiendo cumplir la condición de que cualquiera de los equipos de la subestación que requiere de mantenimiento o revisión, debe contar con puntos de conexión a tierra en ambos lados.

Las cuchillas de puesta a tierra deben de estar dentro de la envolvente metálica y deben ser accionadas por mecanismo a motor; se deben conectar eléctricamente a los contactos de las cuchillas principales para que su potencial sea cero; el aislamiento principal entre contactos y la envolvente metálica debe ser SF₆. La cuchilla debe estar formada por tres polos, de operación independiente en el caso de subestaciones con envolventes monofásicos, y de operación tripolar en el caso de envolventes trifásicos (para tensiones de 145 kV o menores).

Tipos

Se requieren dos tipos de cuchillas de puesta a tierra, unas con velocidad de cierre lento y otras

de cierre rápido, con dispositivos de prueba y/o medición con aislamiento para 10 kV, estas últimas deben contar adicionalmente con una capacidad de cierre en corto circuito igual al valor pico de la corriente dinámica especificada para la subestación, para lo cual deben contar con alguna forma de energía almacenada en su mecanismo que les permita lograr la velocidad y energía requerida.

Las cuchillas de puesta a tierra de cierre rápido se requieren exclusivamente en las barras y en las entradas a la subestación, o sea los puntos de llegada de líneas o cables; o bien a la llegada de las conexiones de equipo de transformación. Todas las cuchillas restantes deben ser de cierre lento.

Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente utilizados en la subestación aislada, deben ser del tipo de barra pasante en SF₆, como aislamiento principal entre el primario y el devanado secundario. Los primarios de estos transformadores deben ser las propias barras conductoras de las bahías respectivas, mientras que los secundarios deben estar devanados sobre los núcleos anulares que forman el circuito magnético, siendo éstos del tipo interno o externo.

Los núcleos y devanados secundarios se deben alojar en una envolvente metálica conectada a potencial de tierra que garantice una distribución de campo homogénea con relación a las partes conductoras a potencial de línea.

Las terminales secundarias deben ser rematadas en tablillas cortocircuitables.

Las terminales de conexión (zapatitas) de la caja de conexiones del devanado del secundario se deben suministrar del tipo cerradas y en el calibre apropiado (no se aceptan zapatas abiertas).

Número de devanados secundarios

El número de devanados secundarios debe ser 4, para realizar la medición y protección.

Los devanados secundarios se requieren invariablemente, para una corriente nominal de 5 A.

Factor de capacidad térmica

Los transformadores de corriente deben tener un factor de capacidad térmica continua de 1.2 veces la corriente nominal, como mínimo.

Transformadores de potencial

Los transformadores de potencial incluidos en la subestación blindada, deben ser del tipo inductivo, formados por un devanado primario, un núcleo magnético y devanados secundarios, de tal manera que no se presenten efectos de ferresonancia.

El proveedor debe entregar el estudio de ferresonancia correspondiente, el diseño de la subestación blindada aislada en gas SF₆, debe adecuarse modificando, en su caso, los elementos de ésta para que no se presente el efecto de ferresonancia. No se acepta el uso de dispositivos supresores de ferresonancia en los transformadores de potencial a ser instalados en las barras.

Todo el conjunto debe estar alojado en un compartimiento metálico a potencial a tierra, lleno

de gas SF₆ como aislamiento principal a tierra y entre devanados.

Devanados

El devanado primario debe ser para un valor de tensión única, o sea de simple relación, los devanados secundarios deben ser dos en todos los casos, y su tensión, respectivamente, debe ser de 115 V y 69 V nominales. Las terminales de los devanados secundarios, deben llevarse a una caja de conexiones exterior donde deben rematarse en tablillas de terminales con portafusibles tipo botella, de la capacidad adecuada a cada uno de los secundarios.

Capacidad térmica

La capacidad térmica total de cada transformador de potencial debe ser de un valor mínimo de 1 000 VA.

2.3.7.22. Condiciones de seguridad

El fabricante debe proporcionar las herramientas y equipos especiales que se requieran para el mantenimiento del equipo que forma parte de la subestación aislada en gas.

Adicionalmente a los equipos especiales que el fabricante considere necesarios, se deben incluir los siguientes:

- a) Equipo(s) de seguridad personal para el manejo de residuos de descomposición del gas SF₆
- b) La subestación debe contar con una alarma audible (sonora) y óptica con luz intermitente, para el acceso en el cual el operador de la subestación esté trabajando sin permisivos de protección, para

realizar cualquier maniobra en la subestación. Esta alarma y luz intermitente deben estar ubicadas estratégicamente

En el caso de las subestaciones que cuentan con sistemas de control por botoneras las cuchillas a tierra deben tener una caja de protección plástica o algún otro tipo de protección en estos botones de mando.

Marcado

El fabricante debe colocar placas de características por cada uno de los equipos y una placa de características de la subestación, de acero inoxidable y con letras de bajo relieve (no se aceptan letras de golpe), que contengan, como mínimo, la siguiente información:

- a) Marca o nombre del fabricante
- b) Número de serie
- c) Año de fabricación
- d) Tensión nominal (kV rcm)
- e) Corriente nominal (de barras y del alimentador) (A rcm)
- f) Frecuencia nominal (Hz)
- g) Nivel de aislamiento al impulso (kV cresta)
- h) Nivel de aislamiento a baja frecuencia (kV rcm)
- i) Corriente nominal de corta duración (kA rcm)
- j) Duración nominal de cortocircuito (segundos)
- k) Corriente nominal de interrupción (kA rcm)
- l) Factor de primer polo que abre
- m) Presión del gas SF₆ a 20 °C (MPa) en los diferentes compartimentos
- n) Masa total del gas requerido por bahía (kg)
- o) Masa por bahía con gas SF₆ (kg)

- p) Masa total de la subestación con gas SF₆
(kg)

2.3.8. SUBESTACIONES UNITARIAS

Las subestaciones unitarias reciben también el nombre de compactas, debido al poco espacio que ocupan dentro de una instalación, y se agrupan en dos tipos:

- a) Subestaciones unitarias primarias
- b) Subestaciones primarias secundarias

Subestaciones unitarias primarias

Estas subestaciones se construyen en tipo intemperie e interior y generalmente operan con tensiones mayores de 600 V, ya sea para alimentar otras subestaciones secundarias, para interconectarse entre subestaciones; o bien para alimentar directamente grandes cargas.

En general las subestaciones primarias son utilizadas para alimentar cargas industriales, pero también son utilizadas en edificios y centros comerciales grandes.

Algunos arreglos típicos de subestaciones unitarias parten de conceptos elementales de distribución del equipo eléctrico en los tableros.

Algunas subestaciones de tipo unitarias, se pueden usar para alimentar a cargas directamente co-

nectadas al lado de baja tensión de la subestación, como es el caso de motores para grandes compresores que operan a voltajes mayores de 600 V.

Ventajas de las subestaciones unitarias

Las ventajas son las siguientes:

1. Los módulos se diseñan para su conexión en distintos arreglos y se equipan con distintos componentes: de protección, de medición o equipos mayores como interruptores fusibles, desconectores, apartarrazos
2. Tienen un tamaño compacto
3. Se pueden instalar en recintos que son de acceso general, con algunas restricciones mínimas
4. Están protegidas contra efectos o agentes externos

Las subestaciones unitarias están constituidas por unidades o módulos, que tienen básicamente tres unidades:

- Unidad de alta tensión
- Unidad del transformador
- Unidad de baja tensión

Según sean las exigencias del servicio o la instalación, puede haber módulos o unidades adicionales con disposiciones de acuerdo a las necesidades específicas.

Tabla 2.27 Condiciones de servicio

Descripción	Normal		Especial	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Temperatura ambiente mínima (°C)	-5 a -25	-25 a -40	-25	-50
Temperatura ambiente máxima (°C)	+40	+40	+50	+50
Radiación solar (W/m) ²	N/A	1 000	N/A	>1 000
Altitud (m)	1 000	1 000	>1 000	>1 000
Clase de contaminación ^a	N/A	II	II, III o IV	III o IV
Revestimiento de hielo (mm) (Ice coating)	N/A	1, 10 ó 20	N/A	>20
Viento (m/s)	N/A	34	N/A	>34
Humedad (%)	95	100	98	100
Condensación o precipitación	Ocasional	Si	Si	Si
Clase de vibración	N/A	N/A	IEC 61166	IEC 61166
Perturbaciones electromagnéticas inducidas en un sistema secundario (kV)	1.6	1.6	>1.6	>1.6

^a Clases de contaminación II, III y IV de acuerdo la norma IEC 60815

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.28 Valores de pruebas dieléctricas y características nominales

Características nominales de la sub-estación	Unidades	Tensiones nominales y máximas de diseño			
		400/420	230/245	115/123	69/72.5
Tensión nominal	kV eficaz	400	230	115	69
Frecuencia nominal	Hz	60			
Corriente nominal en barras ⁽³⁾	A eficaz	2 000-3 150	2 000-3 150	2 000-3 150	2 000-3 150
Corriente nominal en bahías de salida	A eficaz	2 000-3 150	2 000-3 150	2 000-3 150	2 000-3 150
Corriente de corta duración (1 s) ⁽²⁾	kA eficaz	40	40	31.5	31.5
Corriente dinámica de corto circuito	kA cresta	104	104	82	82
Tensión de aguante al impulso por rayo (1.2 x 50 ms)	kV cresta	1 425	1 050	550	325
Tensión de aguante al impulso por maniobra	kV cresta	1 050	--	--	--
Tensión de aguante a 60 Hz (1 min)	kV eficaz	520	460	230	140
Nivel de descargas parciales ⁽¹⁾	rC	5	5	5	5

NOTAS:

1. La prueba se debe realizar conforme a la norma IEC 62271-203 y se debe efectuar en conjuntos o ensambles parciales de la subestación que integre una bahía
2. Salvo que se especifique otro valor en características particulares, el nivel corto seleccionado debe invariablemente verificarse con el estudio de corto circuito más reciente para falla monofásica y trifásica del valor de la red
3. Se debe indicar en las Características Particulares la corriente nominal de alta y media tensión

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.29 Corrientes de operación y de interrupción

Tensión nominal del interruptor de potencia (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente de interrupción de cortocircuito (kA)	Corriente de interrupción en cables cargados (cables en vacío) (A)	Corriente de interrupción con línea cargada (línea en vacío) (A)	
72.5	1 250	20	125	10	
		25			
		31.5			
123	1 250	25	140	31.5	
	1 600	31.5			
	2 000	40			
	3 150	50			
		63			
145	1 250	31.5	160	50	
	1 600				
	2 000				
	1 600	40			
	2 000	50			
	3 150	63			
170	1 250	31.5	160	63	
	1 600				
	2 000				
	1 600				40
	2 000				50
245	2 000	40	250	125	
	2 500	50			
	3 150	63			
420	1 600	31.5	400	400	
	2 000				
	2 000				
	2 500	40			
	2 000	50			
	2 500				
	3 150				63

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.30 Tensiones para las funciones de control

Tensión nominal (V c.d.)	Intervalo de variación (V c.d.)		
	Activación (disparo)	Cierre	Otras
125	70 – 140	90 – 130	90 – 130
250	140 - 280	180– 250	180 - 250

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.31 Tensiones para alimentación de motores

Tensión nominal	Intervalo de variación (%)
480 V c.a; 3φ; 60Hz	85-110
460 V c.a; 3φ; 60Hz	85-110
254 V c.a; 1φ; 60Hz	85-110
220 V c.a; 3φ; 60Hz	85-110
127 V c.a; 1φ; 60Hz	85-110
125 V c.a.	85-110
250V c.d.	85-110

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.32 Tensiones para resistencias calefactoras

Tensión nominal	Intervalo de variación (%)
480 V c.a; 3φ; 60Hz	± 10
460 V c.a; 3φ; 60Hz	± 10
254 V c.a; 1φ; 60Hz	± 10
220 V c.a; 3φ; 60Hz	± 10
127 V c.a; 1φ; 60Hz	± 10

Fuente: CFE VY200-40

2.4. TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA³

2.4.1. TIPO DE ALIMENTACIÓN

Para la selección de un transformador es necesario considerar los siguientes aspectos:

2.4.1.1. Transformador de distribución

Se define como aquél con tensión primaria de 2.4 a 34.5 kV y con una capacidad máxima de 500 kVA, ver Ilustración 2.17.

2.4.1.2. Transformador de potencia

Son los transformadores de 750 kVA y hasta de 5 000 kVA.

2.4.1.3. Autotransformadores

Para autotransformadores, la parte compartida por los circuitos primarios y secundarios, se le llama devanado común, la restante se le llama devanado serie.

Para la operación a tensión mayor que la nominal o a frecuencia menor que la nominal deben operar continuamente sin carga, con tensión mayor que la nominal o frecuencia menor que la nominal en cualquier derivación, sin exceder los límites de elevación de temperatura, cuando la tensión o la relación volt por hertz sea menor igual que 10 % de los valores nominales y solo se aplica únicamente a las condiciones de carga

que se usan como base para el diseño, en ningún caso los kVA de salida continuos, deben exceder las capacidades nominales de los devanados para la tolerancia de la impedancia de un auto-transformador debe tener una tolerancia de hasta $\pm 10\%$ del valor que se especifica para este .

La selección de autotransformadores deberá estar basada en la NMX-J-284

2.4.1.4. Características normativas

Para la correcta selección de transformadores de distribución y potencia deberá tomarse en cuenta que estos cumplan con la normatividad nacional, internacional y extranjera. Los transformadores deben ser diseñados y construidos de acuerdo a las normas mexicanas (NMX), cumplir con las pruebas y especificaciones de transformadores.

Las tensiones aplicadas en transformadores de distribución y de potencia, tanto monofásicos como trifásicos se indican con precisión en la Tabla 2.2 tensiones eléctricas normalizadas.

2.4.2. CAPACIDAD

La capacidad de un transformador está dada por la magnitud de la carga que puede alimentar.

Capacidades normalizadas

Las capacidades normalizadas para transformadores de potencia se muestran en la Tabla 2.33 se muestran las capacidades normalizadas para

³ Fuente: CFE-K0000, NMX-J-284, NMX-J-351, NMX-J-168, NOM-002-SEDE, CFE-K0000-13, NMX-J-116, NMX-J-351, NOM-002-SEDE

Ilustración 2.17 Transformador de distribución y transformador de potencia resistencia anti-condensación



transformadores de distribución, así mismo se muestra las eficiencias mínimas permitida para transformadores de distribución.

Impedancias normalizadas

Los valores de impedancias para los distintos tipos de transformadores se indican en la Tabla 2.34, Tabla 2.35 y Tabla 2.36.

2.4.2.1. Transformadores de distribución

La capacidad y la impedancia de los transformadores de distribución están normalizadas; los valores se muestran en la Tabla 2.35 y Tabla 2.36. Ver Ilustración 2.18.

2.4.2.2. Transformadores de potencia

Cuando el transformador alimenta una carga permanente, ésta se especificará para una elevación de temperatura de 65 °C.

En caso de requerirse una capacidad de emergencia, pueden proporcionar un 12 por ciento

adicional, especificando su capacidad permanente a una elevación de temperatura de 55 °C a 65 °C. Ver Ilustración 2.19.

La impedancia de un transformador de potencia se determina a partir de los cálculos de regulación de tensión y de corto circuito del sistema de distribución interno. Ésta también se puede obtener a partir de la Tabla 2.35.

2.4.2.3. Transformador de servicios propios

Transformadores de servicios propios conectados a devanados terciarios

Debido a las condiciones severas de corto circuito a que pueden estar sujetos los bancos de transformación (sobre todo en el caso de los autotransformadores), se requiere que tanto el devanado terciario como el equipo asociado a éste cumplan con los requerimientos de la instalación. En el caso de que los transformadores de servicios propios, existe la necesidad, por razones de fácil adquisición, construcción y mantenimiento, delimitar algunas de sus características de operación, lo que define también su aplicación específica.

Ilustración 2.18 Transformador de distribución



Ilustración 2.19 Transformador de potencia



Para tal efecto se establece lo siguiente:

- a) Impedancia nominal de 4 a 6%
- b) Capacidad nominal mínima 150 kVA

2.4.3. NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO

Un transformador debe ser capaz de soportar sobretensiones transitorias originadas básicamente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación, por lo que su diseño debe contemplarlo. A esto se le denomina nivel básico al impulso. Los valores normalizados de NBAI para los diferentes tipos de transformadores se muestran en las Tabla 2.37 y Tabla 2.38.

2.4.4. CLASE DE ENFRIAMIENTO

Para la selección del tipo de enfriamiento tomar datos de Tabla 2.39.

Los transformadores de acuerdo con el tipo de enfriamiento, se clasifican en:

1. **Transformadores auto enfriados en aire (AA).** Son los transformadores cuyo enfriamiento está dado por la circulación natural del aire al tener contacto con el núcleo y bobinas, también con la superficie del tanque cuando el transformador cuente con éste.
2. **Transformadores auto enfriados en aceite (OA).** Son los que tienen el núcleo y los devanados sumergidos en aceite aislante; el enfriamiento se realiza mediante la circulación natural del aire en contacto con la superficie del tanque del transformador.
3. **Transformadores auto enfriados en aceite y con enfriamiento forzado de**

aire (OA/FA). Este sistema de enfriamiento es similar al anterior (OA), y la diferencia es que está dotado de ventiladores que provocan una circulación de aire forzado a través de los radiadores de enfriamiento. Estos transformadores tienen dos capacidades; la primera es OA, que permite pérdidas de calor por disipación por la superficie del tanque y radiadores, sin operar los ventiladores; y la segunda a través de ventiladores, con los cuales se obtiene del transformador su capacidad máxima dentro de su temperatura de operación.

Los transformadores de potencia hasta 5 000 kVA, pueden ser fabricados auto enfriados en aceite (OA) o auto enfriados en aceite y con enfriamiento de aire forzado (OA/FA). Será OA cuando se tenga una carga permanente o FA cuando se tenga una carga intermitente o de emergencia.

2.4.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.4.5.1. Temperatura de operación

Para seleccionar adecuadamente la temperatura de operación, debe conocerse y considerarse lo siguiente:

- a) Incremento de temperatura permisible. Los transformadores sujetos a esta especificación deben ser capaces de operar a su capacidad plena siempre que la temperatura ambiente no exceda de 40 °C y la temperatura promedio del ambiente durante cualquier periodo de 24 horas no exceda de 30 °C. La elevación de temperatura de los devanados y punto más caliente a ten-

siones y frecuencias nominales y a capacidad plena, puede ser hasta de 55 °C y 65 °C respectivamente, medida por el método de resistencia sobre una temperatura ambiente máxima de 40 °C. Con un incremento de 12 % de capacidad, la elevación media de temperatura en el devanado puede incrementarse hasta 10 °C y en el punto más caliente hasta 15 °C, con respecto a la elevación media de temperatura a la capacidad nominal

- b) Clase de aislamiento. Es el término usado para especificar la temperatura de operación de los tipos de aislamiento, Tabla 2.40
- c) Corrección de incremento de temperatura permisible al variar la altitud de operación. Para altitudes mayores de 1000 m deben aplicarse los factores indicados en la Tabla 2.40, Tabla 2.41, Tabla 2.42, Tabla 2.43,

Los límites de temperatura de operación de los transformadores de distribución está dada por el tipo de aislamiento empleado, la cual se indica en la Tabla 2.44.

2.4.5.2. Altitud de operación

Los aislamientos externos como los de las boquillas de los transformadores son diseñados para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m, cuando la altitud del sitio de instalación sea mayor, en el diseño deben aplicarse los factores de corrección indicados en la Tabla 2.45, ya que la rigidez dieléctrica de un aislamiento disminuye al incrementarse su altura de operación, en la Tabla 2.43 se muestran los factores de corrección.

2.4.5.3. Tipo de atmósfera

Un factor importante que se debe considerar es el tipo de atmósfera que se tiene en el lugar de la

instalación. Básicamente se consideran dos tipos de atmósfera.

1. De contaminación media. Que se caracterizan por ser sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, de suelos sometidos a la acción de fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que normalmente tienen este tipo de contaminación son:
 - a) Sitios a más de 50 km de la costa
 - b) Campos agrícolas
 - c) Ciudades sin industrias contaminantes
 - d) Lugares a más de 30 Km de industrias contaminantes
2. De contaminación alta. Que se caracterizan por ser sitios con lluvias salinas y alta humedad. Los lugares que normalmente tienen este tipo de contaminación son:
 - a) Sitios a menos de 50 Km de la costa
 - b) Sitios cercanos a plantas que producen o consumen carbón, plantas petroquímicas, cementeras y acereras

En los sitios con alta contaminación, las boquillas de los transformadores deberán seleccionarse con una distancia de fuga mayor, de acuerdo a la Tabla 2.46.

2.4.6. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Éstas deben ser analizadas detalladamente, puesto que son los datos que se registrarán en la especificación para la adquisición del equipo.

2.4.6.1. Corriente de excitación

La corriente de excitación es aquella que circula a través de las terminales de un devanado cuando se le aplica tensión nominal a frecuencia nominal, manteniéndose los otros devanados en circuito abierto,

se expresa en por ciento con respecto a la corriente nominal de alimentación. Esta no debe ser mayor de 2 por ciento para todos los transformadores monofásicos y para transformadores trifásicos mayores de 45 kVA. Para transformadores trifásicos de hasta 45 kVA no debe ser mayor de 2.4 por ciento. Para transformadores polifásicos, las corrientes de excitación en las diferentes terminales pueden ser diferentes. Si los valores de estas corrientes no se dan separadamente, la corriente de excitación es la media aritmética de estas corrientes.

2.4.6.2. Tensión de las derivaciones

La diferencia de las tensiones extremas con respecto a la nominal no debe exceder del 10 por ciento. Las derivaciones deben ser del 2.5 por ciento c/u de la tensión nominal, dos arriba y dos abajo.

2.4.6.3. Número de fases

Los transformadores comerciales, de acuerdo al número de fases con que se alimentan, se clasifican en:

- a) Monofásicos
- b) Trifásicos

2.4.6.4. Tipos de conexión

Las conexiones más empleadas en el sector hídrico son:

- a) Delta estrella con neutro a tierra
- b) Delta

NOTA IMPORTANTE:

Para mayor abundamiento en caso de ser necesario consultar las NMX-J-351.

- c) Delta abierta
- d) Estrella

2.4.6.5. Tipo de servicio

Los transformadores de acuerdo al tipo de servicio se dividen en: servicio interior y servicio exterior o intemperie.

2.4.6.6. Transformadores de distribución

Boquillas

Las boquillas están normalizadas de acuerdo a la corriente y tensiones de los transformadores. El fabricante, de acuerdo a la capacidad, tensiones primaria y secundaria, realiza la selección de las mismas. Adicional a lo anterior, se debe considerar el tipo de atmósfera, ver la Tabla 2.46.

Accesorios e instrumentación

Para el montaje de transformadores de distribución deberán seleccionarse accesorios e instrumentos normalizados para tal fin requeridos, los cuales están indicados en la Tabla 2.47 y Tabla 2.48.

Localización de boquillas

Para transformadores montados en poste, la localización de las boquillas de alta tensión es sobre la tapa del transformador y las de baja tensión en la pared frontal del tanque del transformador. Para transformadores montados en piso se pueden presentar los siguientes casos:

- a) Las boquillas de alta tensión también pueden estar sobre la tapa del transfor-

mador y las de baja tensión en la pared frontal

- b) Las boquillas de alta tensión pueden estar en la pared trasera del transformador y las de baja tensión en la pared frontal, donde en este último caso se requieren gargantas, estas características son propias de transformadores para subestaciones eléctricas compactas

Preservación del líquido aislante

Los transformadores deben ser contruidos con un tanque hermético con objeto de preservar el aceite. El transformador debe permanecer perfectamente sellado desde una temperatura de -5°C a un máximo de 105°C en la parte superior del líquido aislante.

2.4.6.7. Transformadores de potencia

Accesorios e instrumentos

Estos se muestran en la Tabla 2.47 y Tabla 2.48.

Localización de boquillas

Las boquillas se localizarán tomando en cuenta los siguientes casos:

- a) El transformador se montará en una subestación convencional (abierta), por lo tanto la alimentación primaria será aérea y las boquillas de alta tensión se localizarán en la tapa del tanque; la ali-

mentación del secundario será con cables requiriéndose una caja de conexiones cuyas dimensiones permitan alojar los cables

- b) El transformador se acoplará a una subestación unitaria

Preservación del líquido aislante

Los transformadores deben estar equipados con alguno de los sistemas de preservación del líquido aislante que a continuación se describen:

- a) Sistema de tanque sellado. Es aquel en donde el interior del tanque se sella aislándolo de la atmósfera, y el gas más el volumen del líquido aislante permanecen constantes en todo el intervalo de temperatura. Se debe proveer en la parte superior del transformador un dispositivo de purga de presión-vacío ajustado para operar a las presiones de 45 kPa ($\pm 0.45\text{ kg/cm}^2$)
- b) Sistema de gas inerte. Es aquel en el cual en el interior del tanque que está sellado con respecto a la atmósfera en todo el intervalo de temperatura especificado por medio de una presión positiva del gas inerte mantenida de una fuente separada de gas inerte y un sistema de válvula reductora. El sistema debe mantener la presión positiva, de tal manera que ésta no sea menor de 7 kPa (0.07 kg/cm^2) ni mayor de 56 kPa (0.56 kg/cm^2)
- c) Sistema con tanque de expansión. En este sistema, el líquido aislante contenido en el tanque principal es sellado de la atmósfera en todo el intervalo de

temperatura especificado, y se lleva a cabo por medio de un tanque auxiliar previamente lleno de líquido aislante y conectado al tanque principal

Considerar que: El gas del tanque de expansión puede estar aislado de la atmósfera por medio de los siguientes dispositivos:

1. Respiración a través de un desecador
2. Sello con gas inerte aislado de la atmósfera mediante una bolsa o diafragma
3. Recomendaciones generales de los sistemas de conservación de líquido aislante

Si no se indica lo contrario, se recomienda que el sistema de tanque sellado sea usado en transformadores con capacidades de 500 a 7 500 kVA (OA), para capacidades superiores o iguales a 10 000 kVA se recomienda el sistema con tanque de expansión.

2.4.6.8. Transformador de servicios propios

Transformadores de servicios propios conectados a red externa

En el caso de transformadores de servicios propios conectados a las líneas de distribución, se recomienda estudiar técnica y económicamente el uso de una fuente reguladora para cada utilización, pudiendo protegerse de éstos con cuchillas fusible.

La transferencia automática de los servicios, deberá tomar en cuenta la detección adecuada de las tensiones de las tres fases y para su localización se utilizarán interruptores principales electromagnéticos. En todas las aplicaciones deberán considerarse los servicios propios normales más los correspondientes al mantenimiento, por lo que se estima que la capacidad del transformador de servicios propios no deberá ser menor de 300 kVA.

Tabla 2.33 Eficiencias mínimas en porcentaje, permitidas en transformadores de distribución

Tipo de alimentación	Capacidad kVA	Nivel básico de aislamiento (%)		
		Hasta 95 kV (Clase 15 kV)	Hasta 150 kV (Clase 18 y 25 kV)	Hasta 200 kV (Clase 34,5 kV)
Monofásico	5	97.90	97.80	97.70
	10	98.25	98.15	98.05
	15	98.40	98.30	98.20
	25	98.55	98.45	98.35
	37.5	98.65	98.55	98.45
	50	98.75	98.65	98.55
	75	98.90	98.80	98.70
	100	98.95	98.85	98.75
Trifásico	167	99.00	98.90	98.80
	15	97.95	97.85	97.75
	30	98.25	98.15	98.05
	45	98.35	98.25	98.15
	75	98.50	98.40	98.30
	112.5	98.60	98.50	98.40
	150	98.70	98.60	98.50
	225	98.75	98.65	98.55
300	98.80	98.70	98.60	
500	98.90	98.80	98.70	

NOTA - Los transformadores de distribución con capacidades intermedias a las contempladas en esta tabla deben cumplir con las eficiencias de la capacidad preferente inmediata superior.

Fuente: NOM-002-SEDE.

Tabla 2.34 Impedancia referida al devanado primario del transformador de potencia

Tensión nominal devanado primario (kV)	Impedancia (%)
34.5 y menores	75
69	85
115	9
138	95

Fuente: CFE-K0000-13

Tabla 2.35 Valores límites de impedancia

Clase de Aislamiento (kV)	Impedancia Z (%) Trifásicos	
	Tipo poste 15 kV hasta 150 kVA	Tipo subestación 225 kVA hasta 500 kV
1.2 a 15	2.0 - 3.0	2.5 - 5.0
25	2.0 - 3.5	2.75 - 5.5
34.5	2.0 - 3.5	3.0 - 5.75

Fuente: NMX-J-116

Tabla 2.36 Valores límites de impedancia monofásicos

Clase de aislamiento Kv	Impedancia Z (%)
	Monofásico de 5kVa a 167kVa
1.2 a 15	1.5 a 3.00
25	1.5 a 3.25
34.5	1.5 a 3.50

Fuente: NMX-J-116

Tabla 2.37 Niveles de aislamiento para transformadores de potencia clase II

Tensión del sistema kV	Nivel de tensión de aguante al impulso para rayo normalizada kV(cresta)	Nivel de onda corta kV(cresta)	Nivel de tensión de aguante al impulso por maniobra normalizada (NBAIM) kV(cresta)	Prueba de tensión inducida (fase a tierra)		Nivel de prueba de baja frecuencia kV (eficaz)
				Nivel de una hora kV(eficaz)	Nivel realzado kV(eficaz)	
15 y menor	110	120				34
25	150	165				50
34.5	200	220				70
46	250	275				95
69	250	275				95
	350	385				140
85	350	385				140
	450	495				185
115	350	385	280	105	120	140
	450	495	375	105	120	185
	550	605	460	105	120	230
138	450	495	375	125	145	185
	550	605	460	125	145	230
	650	715	540	125	145	275
161	550	605	460	145	170	230
	650	715	540	145	170	275
	750	825	620	145	170	325
230	650	715	540	210	240	275
	750	825	620	210	240	325
	825	905	685	210	240	360
	900	990	745	210	240	395
400	1 050	1 155	870	210	240	460
	1 300	1 430	1 080	365	415	
	1 425	1 570	1 180	365	415	
	1 550	1 705	1 290	365	415	
	1 675	1 845	1 390	365		

Notas:

Para pruebas de onda cortada, el tiempo mínimo del corte debe ser 3µs excepto para 110 kV NBAI, el cual debe ser 2,0 µs. A pesar de que la columna 4 establece los niveles de impulso por maniobra de fase a tierra, no siempre es posible probar a esos niveles en devanados de baja tensión.

Las columnas 5 y 6 indican los niveles de prueba de fase a tierra que normalmente se aplican a devanados en estrella. Cuando el nivel de la tensión de prueba se mide de fase a fase, como es el caso normal de devanados en delta, los niveles en la columna 5 deben multiplicarse por 1.732 para obtener el nivel de tensión inducida de prueba de fase a fase que se requiere.

La prueba de tensión aplicada no es aplicable al as terminales de línea de los devanados en estrella, a menos que se especifiquen para aplicaciones en sistemas no aterrizados.

Los niveles de aislamiento para los devanados de alta y baja tensión de los transformadores de potencia clase II deben seleccionarse de acuerdo con esta tabla.

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.38 Niveles de aislamiento dieléctrico para transformador tipo seco utilizados en sistemas (60Hz) con NBAI de 200kV y menores

Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) ^{a)}	Nivel de aislamiento (tensión afrecuencia del sistema)	Prueba de impulso ^{b)}		
		Onda plena 1, 2/50 μ s	Onda corta (kV) cresta	Tiempo mínimo de arco (μ s)
10	4	10	10	1.0
20	10	20	20	1.0
30	12	30	30	1.0
45	19	45	45	1.25
60	31	60	60	1.5
95	34	95	95	1.6
110	37	110	110	1.8
125	40	125	125	2.0
150	50	150	150	2.25
200	70	200	200	2.75

a) Los niveles de aislamiento a la frecuencia del sistema aplican a los niveles normalizados. El nivel de prueba por tensión de baja frecuencia para devanados con Y-puesta a tierra debe ser 10 kV (excepto para devanados de 1.2 kV y menores, que debe ser de 4 kV).

b) Debe utilizarse una forma de onda de impulso de polaridad positiva.

Fuente: NMX-J351

Tabla 2.39 Capacidades normalizadas para transformadores de potencia

Capacidad (MVA)	Clase de enfriamiento
5/6,25	ONAN/ONAF
7,5/9,375	ONAN/ONAF
12/16/20	ONAN/ONAF/ONAF
18/24/30	ONAN/ONAF/ONAF
24/32/40	ONAN/ONAF/ONAF

Fuente: CFE-K0000

Tabla 2.40 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 metros sobre el nivel del mar

Clase de aislamiento	Temperatura ambiente 30°C		Temperatura ambiente 55°C	
	Temperatura promedio °C	Temperatura más caliente °C	Temperatura promedio °C	Temperatura más caliente °C
Clase 105 sumergido en aceite	55	65	30	40
Clase 105 tipo seco	55	65	30	40
Clase 130 tipo seco	80	110	55	85

Fuente: NMX-J-168

Tabla 2.41 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m, para transformadores sumergidos en líquido aislante

Tipo de enfriamiento	Factores de corrección por cada 100 m(%)
Auto enfriados	0.4
Enfriados por agua	0.0
Enfriado con aire forzado	0.5
Enfriado con aire y líquido aislante forzados	0.5
Enfriados agua y líquido aislante forzados	0.0

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.42 Factores de corrección de los kVA para altitudes mayores de 1 000 m

Tipo de enfriamiento	Factores de corrección (%)
Tipo seco auto enfriado	0.3
Tipo seco enfriado por aire forzado	0.5

Fuente: NMX-J-351

Tabla 2.43 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m

Tipo de enfriamiento	Factor de corrección por cada 100 metros
Auto enfriado sumergidos en líquido aislante (Tipo OA)	0.4 %
Tipo OA/FA	0.5 %

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.44 Límites de elevación de temperatura

Temperatura del sistema aislante °C	Promedio de elevación de temperatura de los devanados por el método de resistencia °C ^{b)}	Elevación de temperatura del devanado (punto más caliente)°C
130	75	90
150	90	110
180	115	140
200	130	160
220	150	180

a) Basado en un promedio diario de temperatura ambiente de 30°C con una temperatura máxima de 40 °C

b) Valores mayores de la elevación de temperatura promedio de los devanados determinado por el método de resistencias pueden aplicarse si el fabricante provee los datos de prueba del diseño térmico que respaldan que los límites de temperatura de los aislamientos no se exceden

Fuente: NMX-J-351.

Tabla 2.45 Factores de corrección para la rigidez dieléctrica

Altitud (m.s.n.m)	Factor de corrección por altitud
1 000	1.00
1 200	0.98
1 500	0.95
1 800	0.92
2 100	0.89
2 400	0.86
2 700	0.83

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.46 Distancia de fuga para boquillas de transformadores de distribución y potencia

Contaminación	Tensión nominal (kV)	Distancia de fuga (cm/kV)
Media	13.2-33	4.0
Alta	13.2-23	6.0
Alta	33	5.0

Tabla 2.47 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores monofásicos

No.	Descripción	Con una sola boquilla de media tensión, montada en la tapa (kVA)			Con dos boquillas de media tensión, montadas en la tapa					
					Media tensión = E/E1 Y Donde E=25 000 V o menores E1 Y = 34 500 YTV o menores (kVA)			E=33.0 kV o 34.5 kV (kVA)		
		5 a 50	75 a 100	167	5 a 50	75 a 100	167	5 a 50	75 a 100	167
1	Soporte para colgar tipo	A	B	B	A	B	B	A1	B1	B1
2	Asas para sujetar el poste			X			X			X
3	Tapón de drenaje y muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Marca del nivel de líquido			X	X	X	X	X	X	X
5	Válvula de muestreo	X	X	X	X		X	X	X	X
6	Marca de nivel del líquido	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Cambiador de derivaciones de operación interna o externa	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Registro de mano de obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Aditamentos para levantar	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Conexiones del tanque a tierra tipo A	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Conexiones del tanque a tierra tipo B	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Puente de baja tensión a tierra	X	X	X	X	X		X	X	
13	Válvula de alivio de sobre presión	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	Boquillas terminales de media tensión y su localización	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	Boquillas terminales de baja tensión y su localización	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	Placa de datos y su localización	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	Datos estarcido de la capacidad	X	X	X		X	X	X	X	X
18	Dimensión L en mm	286	590	610	286	590	915	590	915	915

Fuente: NMX-J-116

Tabla 2.48 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores trifásicos mayores de 150 kVA tipo subestación

1	Combinación: válvula de drenaje, conexión inferior del filtro prensa y válvula de muestreo
2	Indicador magnético del nivel del líquido aislante
3	Termómetro tipo cuadrante
4	Conexión superior para el filtro prensa
5	Cambiador de derivaciones de operación externa
6	Provisión para manovacuómetro indicador
7	Aditamento para palanqueo
8	Registro de mano
9	Aditamentos para levantar
10	Conexión del tanque a tierra tipo B
11	Válvula de alivio de sobre presión
12	Boquillas terminales de media tensión y su localización
13	Boquillas terminales de baja tensión y su localización
14	Placa de datos y su localización
15	Dato estarcido de la capacidad

Fuente: NMX-J-116

2.5. INTERRUPTORES⁴

Para la selección de un interruptor se deben determinar las características normativas, las características operativas y las condiciones ambientales.

2.5.1. CORRIENTE NOMINAL

Los interruptores no tienen capacidad continua de sobrecarga, por lo tanto cuando se seleccione su corriente nominal, ésta debe cubrir las sobrecargas que pueden circular estando en operación, ver Ilustración 2.20.

2.5.1.1. Interruptores de media tensión

Corriente de interrupción de cortocircuito

Los interruptores deben ser capaces de interrumpir la corriente de cortocircuito, bajo condiciones normales de operación, según IEC 56 3.105.42: el tiempo de cierre-apertura, c.a o tiempo de corto circuito es el intervalo de tiempo entre el instante cuando los contactos tocan el primer polo durante una operación de cierre y el instante cuando los contactos de arco se han separado en todos los polos durante la subsecuente operación de apertura.

Nota: A menos que se indique lo contrario, se asume que la barra de apertura incorporada en el interruptor se energiza en el instante en que los contactos tocan el primer polo durante el cierre. Esto representa el mínimo tiempo de

cierre-apertura. La corriente de cortocircuito mínima es de 8 kA eficaces.

Corriente sostenida de corta duración

El interruptor debe ser capaz de conducir en posición de cerrado durante 60 ms y con un valor igual al de la corriente de interrupción de cortocircuito cuyo valor debe ser 2.5 veces el valor eficaz de la corriente de corto circuito, según IEC 56 3.105.45.

Corriente de cierre o valor cresta

Los interruptores deben poder cerrar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, con una corriente (valor cresta) de cortocircuito a la tensión nominal, cuyo valor debe ser 2.54 veces al valor rmc de la corriente de interrupción de corto circuito.

Corriente nominal de interrupción en oposición de fases

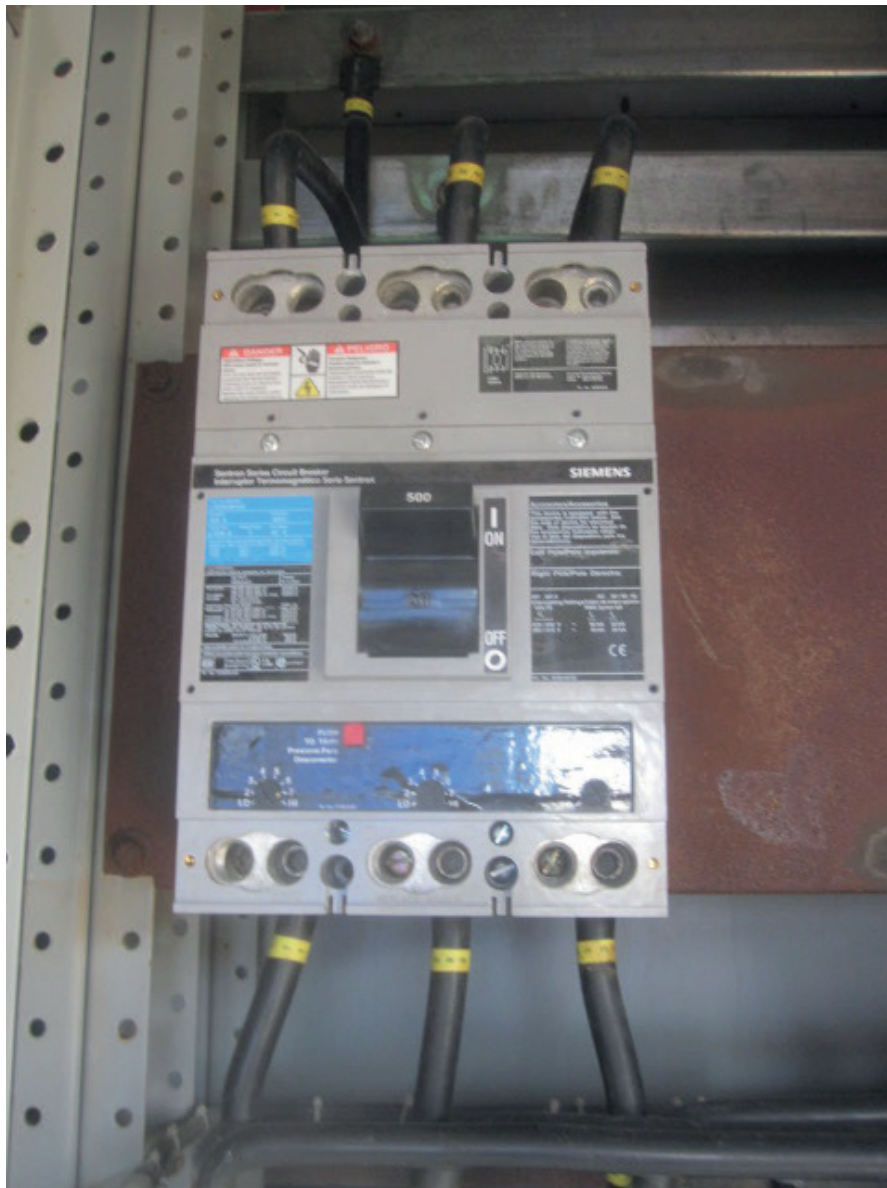
Los interruptores deben ser capaces de interrumpir la corriente nominal de interrupción en oposición de fases, su magnitud debe ser 630A valor eficaz, según IEC 56.

Tiempo de interrupción

Considerado como el intervalo de tiempo transcurrido desde la energización de la bobina de activación (disparo) hasta la extinción completa del arco en todos los polos, éste debe ser como máximo 5 ciclos.

⁴ Fuente: ANSI C37.16, NMX-J- 538/2

Ilustración 2.20 Interruptor



Tiempo de cierre

Es el intervalo de tiempo transcurrido desde la energización de la bobina de cierre, hasta el instante de toque o cierre de todos los polos, debe ser como máximo 10 ciclos, en frecuencia nominal de 60 Hz.

2.5.1.2. Interruptores de baja tensión

La corriente nominal de un interruptor de baja tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

Para interruptores electromagnéticos

225 A, 600 A, 1 600 A, 2 000 A, 3 000 A y 4 000 A.

Los valores preferentes de corriente y tensión nominal, NBAI, corriente interruptiva de corto circuito para interruptores electromagnéticos en aire, se indican en la Tabla 2.49 y Tabla 2.50.

Para interruptores termomagnéticos

15 A, 20 A, 30 A, 50 A, 70 A, 100 A, 150 A, 225 A, 400 A, 500 A, 600 A, 800 A, 1 000 A, 1 200 A, 2 000 A y 2 500 A.

Para interruptores de seguridad

Las capacidades nominales para los interruptores de seguridad de servicio normal deben ser: 30, 60, 100, 200, 400 o 600 amperes. Las capacidades nominales para los interruptores de servicio pesado de tiro sencillo son: 30, 60, 100, 200, 400, 600, 800 y 1 200 amperes. Para los de doble tiro, las capacidades deben ser: 30, 60, 100, 200, 400 y 600 amperes.

2.5.2. CORRIENTES INTERRUPTIVAS DE CORTO CIRCUITO

2.5.2.1. Interruptores de media tensión

La corriente interruptiva de cortocircuito debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

6 kA, 8 kA, 10 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA, 31.5 kA, 40 kA, 50 kA, 63 kA, 80 kA y 100 kA.

2.5.2.2. Interruptores de baja tensión

La corriente interruptiva de corto circuito debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

Para interruptores electromagnéticos

14 kA, 22 kA, 25 kA, 30 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA y 130 kA.

Para interruptores termomagnéticos

5 kA, 7.5 kA, 10 kA, 14 kA, 18 kA, 22 kA, 25 kA, 35 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA, 100 kA, 125 kA, 150 kA y 200 kA.

Aplicable a interruptores que tengan tamaño de marco hasta de 100 A tensiones nominales de 240 volts o menos.

Para interruptores de seguridad

14 kA, 22 kA, 25 kA, 30 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA y 130 kA

2.5.3. TENSIÓN NOMINAL

Los interruptores son diseñados y construidos de acuerdo a las normas de especificaciones.

2.5.3.1. Tensión nominal para interruptores de media tensión

La tensión nominal de un interruptor de media tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

Para tensiones menores de 34.5 kV

- a) SERIE I 3.6 kV, 7.2 kV, 12 kV, 17.5 kV, 24 kV y 34.5 kV
- b) SERIE II 4.76 kV, 8.25 kV, 15 kV, 15.5 kV, 25.8 kV y 34.5 kV

Nota: SERIE I Valores normalizados en países europeos para frecuencias de 50 Hz y 60 Hz. SERIE II Valores normalizados en E.U. y Canadá para frecuencias de 60 Hz

2.5.3.2. Tensión nominal para interruptores de baja tensión

La tensión nominal de un interruptor de baja tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

- a) Para Interruptores electromagnéticos: 240 V, 480 V y 600 V
- b) Para Interruptores termomagnéticos: 127 V, 240 V, 277 V, 480 V y 600 V
- c) Para Interruptores de seguridad. Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio normal son: 140 y 250 volts c.a.; 125 y 220 volts c.d. Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores

de seguridad de servicio pesado son: 250, 480 y 600 volts en c.a. y 250 volts en c.d.

2.5.4. TENSIÓN MÁXIMA

2.5.4.1. Tensión nominal para interruptores de baja tensión

Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio normal son: 140 y 250 volts c.a.; 125 y 220 volts c.d.

Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio pesado son: 250, 480 y 600 volts en c.a. y 250 volts en c.d.

2.5.5. TENSIÓN DE CONTROL

Corriente directa (c.d.) 48 V.c.d., 125 V.c.d. y 250 V.c.d.

Corriente alterna (c.a.) 127 V.c.a., 220 V.c.a. y 480 V.c.a.

2.5.6. MARCO

Los tamaños nominales de marco deben ser de 30, 50, 70, 100, 150, 225, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000 y 2500 amperes (ver Tabla 2.49 y Tabla 2.50).

2.5.7. BANDA DE TIEMPO

Para la protección de interruptores automáticos que incorporan protecciones por corriente residual y se clasifican de acuerdo al retardo de tiempo en (NMX-J- 538/2) (ver Tabla 2.50):

- Sin retardo de tiempo: tipo no retardo de tiempo
- Con retardo de tiempo: tipo retardo de tiempo

- Con retardo de tiempo no ajustable
- Con retardo de tiempo ajustable

2.5.8. SECUENCIAS DE OPERACIÓN

De acuerdo con las recomendaciones de la IEC (Comisión Internacional de Electrotécnia), la secuencia nominal de operación de un interruptor, pueden ser las siguientes:

- O-3 min. - CO - 3 min. - CO
- CO - 15 s - CO
- 0.3 s - CO - 3 min. - CO (para interruptores con recierre automático)

Siendo:

- O = Operación de apertura
- C = Operación de cierre
- CO = Operación de cierre seguida de una apertura

En interruptores de media tensión cuando no se tenga la alimentación eléctrica externa, el interruptor deberá contar con algún mecanismo de energía almacenada, con excepción de los mecanismos de resorte que deben contar con un material externo con el cual se debe cargar manualmente el resorte en un tiempo máximo estimado de tres minutos.

Los interruptores deben garantizar las siguientes diferencias en simultaneidad de tiempos de operación entre el primero y el último polo del interruptor:

- a) Operación de cierre: 5 milisegundos como máximo
- b) Operación de apertura: 3 milisegundos como máximo

2.5.9. CONDICIONES DE OPERACIÓN

2.5.9.1. Clasificación general

La Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC) clasifica los interruptores de acuerdo a su tensión de operación en dos grupos:

1. Interruptores de media tensión
2. Interruptores de baja tensión

2.5.9.2. Clasificación de los interruptores de media tensión

Los interruptores de media tensión se dividen básicamente en dos grupos, clasificados de acuerdo con los elementos que intervienen en la apertura del arco de las cámaras de extinción.

1. Interruptores en gas. Los interruptores en SF₆, pueden ser aplicados en sistemas de media tensión, ya que por su característica de alta rigidez dieléctrica del SF₆ lo hace un medio ideal para enfriar el arco aun a presiones bajas. Ocupan áreas reducidas ya que tienen capacidades dieléctricas superiores a otros fluidos, con lo cual las distancias se reducen. Son aplicables en subestaciones de distribución y servicios del sector de sistemas de distribución. Su mantenimiento es casi nulo, su costo es elevado pero amortizable a corto plazo
2. Interruptores en vacío. Este tipo de interruptores se utilizan en instalaciones de hasta 34.5 kV dentro de tableros blindados, deberá tenerse cuidado en su instalación y selección, ya que en estos interruptores si por alguna razón se llegara a perder el vacío, la cámara del interruptor

podría reventar. Este interruptor es muy compacto, el cual prácticamente no necesita mantenimiento y su precio es relativamente bajo. Siendo la operación del mecanismo de cierre o apertura de los siguientes 3 tipos:

- a) Tipo neumático. El fabricante deberá garantizar que el aire sea seco, de tal forma que el funcionamiento del mecanismo sea confiable
- b) Tipo hidráulico. Con accionamiento por medio de motor, que accione una bomba, compresor o cargue un resorte
- c) Tipo resorte. Utilizado como medio, de energía almacenada, accionado eléctricamente o por medio de un dispositivo mecánico

Según el tipo de mecanismo y medio de extinción, los tipos de alarmas y bloqueos son:

- a) Alarma por pérdida de presión en el mecanismo de operación y bloqueo para el aire
- b) Alarma por alta y baja presión en el sistema de aire
- c) Alarma por resorte descargado
- d) Alarma por pérdida de presión del gas (SF_6) y bloqueo

2.5.9.3. Clasificación de los interruptores de baja tensión

Los interruptores en baja tensión se clasifican básicamente en:

1. Interruptores electromagnéticos. Este tipo de interruptores pueden instalarse en sistemas de generación y distribución tanto industriales como comerciales. Estos interruptores están disponibles para montaje

fijo o montaje removible, pueden ser instalados en gabinetes en pared. Cuando se instalen interruptores hasta 1 600 A, éstos pueden ser instalados en gabinetes, en pared y de montaje fijo, o bien, en gabinetes autosoportables, del tipo removible. Normalmente este tipo de interruptores, cualquiera que sea su tamaño, cuentan con mecanismo integrado de energía almacenada y con sistema de protección electrónica de sobrecorriente. Se recomienda utilizar este tipo de interruptores cuando las necesidades de protección y de mando de los circuitos de distribución de baja tensión y alta potencia, es primordial

2. Interruptores termomagnéticos. Este tipo de interruptores son apropiados para usarse como interruptores generales o derivados, para protección de alimentadores principales y los equipos conectados a éstos. ofrece una protección completa para circuitos de distribución de baja tensión, al incorporar la protección de sobrecarga para los conductores y la protección contra corto circuito para todos los elementos del circuito como los propios conductores, motores y aparatos de control de éstos. Pueden ser utilizados en tableros de pared, tableros autoportados, centros de control de motores, combinaciones con arrancadores de motores, sistemas de alumbrado, etc. Este tipo de interruptores pueden ser suministrados en capacidad interruptiva normal, que son los más usuales y que se adaptan a la mayoría de los sistemas de distribución, o bien, los de alta capacidad interruptiva cuando los niveles de corto circuito excedan la capacidad interruptiva de los interruptores de línea normal
3. Interruptores de seguridad (servicio normal o servicio pesado). Este tipo de inte-

ruptores representan la protección más segura contra fallas de corto circuito, debido a su respuesta casi instantánea. Sus aplicaciones más comunes son las siguientes:

- a) Servicio ligero. Este tipo de interruptores están diseñados para aplicaciones donde el número de operaciones no es frecuente, se recomiendan para residencias, edificios, comercios, talleres, etc. Proveen un medio seguro para desconectar una carga o abrir un circuito. Provistos de fusibles protegen contra sobrecarga y circuito corto
- b) Servicio pesado. Este tipo de interruptores están diseñados para aplicaciones donde el número de operaciones es muy frecuente y el requisito de seguridad, funcionamiento y continuidad es muy importante, se recomienda para aplicaciones comerciales, industriales, hospitales, servicios públicos, etc. Proveen un medio seguro para desconectar una carga o abrir un circuito. Provisto de fusibles protegen contra sobrecarga y cortocircuito

2.5.9.4. Dispositivos de disparo

1. Interruptores termomagnéticos. El dispositivo de activación en derivación debe tener un contacto auxiliar normalmente abierto, conectado en serie con la bobina, excepto cuando la tensión de operación para la bobina se tome del lado de carga del interruptor, o cuando la bobina de activación en derivación es para trabajo continuo
 - a) Tensión de activación. El dispositivo de activación por baja tensión en corriente alterna como en corriente directa debe activarse cuando la tensión nominal de la bobina baje al 35 por cierto. Se acepta que se active cuando la tensión baje a un valor entre 70 y 35 por cierto
 - b) Tensión de restablecimiento. El dispositivo de activación por baja tensión, con restablecimiento eléctrico, debe restablecerse a un 85% de su tensión nominal. Uno de restablecimiento mecánico debe permitir el establecimiento a esta misma tensión
2. Interruptor electromagnético. Los interruptores electromagnéticos deben tener unidades de activación por sobrecorriente de estado sólido, incluyendo los sensores de corriente, para protección en las tres fases y de fallas a tierra. Cada unidad de activación de interruptores electromagnéticos recibe la señal de tres sensores de corriente. Estas unidades de activación de los interruptores electromagnéticos deben poder calibrarse de acuerdo a las siguientes características:
 - a) Elemento de tiempo diferido largo (L)
 - Corriente: 0.5 a 1.25 veces del rango del sensor
 - Ajuste de tiempo: 4-36 segundos a 6 veces el rango del sensor
 - b) Elemento de tiempo diferido corto (S)
 - Corriente: 4 a 10 veces el rango del sensor
 - Ajuste de tiempo: 0.18 a 0.5 segundos
 - c) Elemento instantáneo (Y)
 - Corriente: 4 a 12 veces el rango del sensor
 - d) Elementos de falla a tierra (G)
 - Corriente: 0.2 veces la gama del sensor
 - Tiempo: 0.22 a 0.5 segundos
 - Interruptor de seguridad

En este tipo de interruptores se provocará la apertura del circuito por fase, en la fase o fases falladas en forma instantánea al fundirse el eslabón fusible que podrá ser de un sólo elemento o bien de doble elemento por fusible.

2.5.9.5. Mecanismo de operación

- a) Interruptor termomagnético. El mecanismo de operación debe tener características de activación (disparo) libre.
- b) Interruptor electromagnético. Estos interruptores deberán contar con dispositivo mecánico instalado en el frente del interruptor para la activación manual, en caso de emergencia o prueba deberá tener activación libre, tanto mecánico como eléctrico.
- c) Interruptor de seguridad. Para abrir el interruptor la manija debe operar directamente las navajas sin necesidad de emplear resortes. El interruptor tendrá portacandado y portafusibles en el gabinete. El portafusibles debe llevar resortes auxiliares, abrazaderas o equivalente.

2.5.9.6. Valores nominales de operación

Los principales valores nominales recomendados por normas internacionales y que intervienen directamente en la selección de un interruptor son los siguientes:

- a) Tensión nominal
- b) Tensión de operación
- c) Corriente nominal
- d) Corriente interruptora de corto circuito
- e) Capacidad interruptora en MVA (*)
- f) Capacidad de cierre en corto circuito (*)
- g) Corriente sostenida de corta duración

(**)

- h) Frecuencia
- i) Secuencia nominal de operación (*)
- j) Tensión nominal de control

Nota 1: Para (*), no aplica para interruptores de baja tensión.

Nota 2: Para (**), no aplican para interruptores termomagnéticos.

2.5.10. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Para que las condiciones ambientales no afecten la operación correcta de los interruptores, se debe señalar altitud de operación, temperatura ambiente, elevación de temperatura, así como otras condiciones especiales existentes en el sitio de instalación como humedad relativa, corrosión, salinidad, contaminación y en general, cualquier otra que pueda afectar la operación correcta del equipo.

2.5.10.1. Temperatura ambiente

1. Interruptores de media tensión. La temperatura ambiente máxima no debe exceder de 40° C y su valor promedio en un período de 24 horas, no debe exceder de 35° C. La temperatura ambiente mínima debe ser de -5° C para interruptores de servicio interior y -25° C para interruptores servicio intemperie. La elevación de temperatura de partes, materiales y dieléctricos en interruptores de alta tensión a una temperatura ambiente máxima de 40° C, no debe exceder este límite
2. Interruptores de baja tensión. La temperatura ambiente no debe exceder de 40° C, la temperatura ambiente mínima debe ser de -5° C, aunque un interruptor termo-

magnético puede operar en servicio continuo en una temperatura ambiente de $40^{\circ} \pm 30^{\circ}\text{C}$ sin que se active automáticamente. Los interruptores de baja tensión tendrán los siguientes límites de temperatura en los puntos de conexión:

- a) Para Interruptores termomagnéticos la elevación de temperatura alcanzada por cualquier terminal, zapata o cualquier otro punto de conexión no debe exceder de 50°C sobre la temperatura ambiente
- b) En los Interruptores electromagnéticos las temperaturas dependerán de las clases de aislamiento de los distintos materiales empleados en su construcción y de la prueba de elevación de temperatura con corriente nominal
- c) En Interruptores de seguridad ninguna parte debe tener una elevación de temperatura de más de 30°C , sobre la temperatura ambiente cuando se determine de acuerdo al método de elevación de temperatura

La elevación de temperatura de partes, materiales y dieléctricos en interruptores de baja tensión para temperatura ambiente máxima de 40°C , no debe exceder los límites de temperatura indicados en la Tabla 2.51.

2.5.10.2. Altitud de operación en interruptores

Interruptores de media tensión

Los valores normalizados para interruptores de media tensión están dados para operar en altitudes hasta de 1 000 m.s.n.m. El equipo normalizado puede ser operado en altitudes mayores si la tensión máxima de operación no es mayor que la tensión máxima de diseño o nominal del interruptor al ser afectado por los factores de corrección en la Tabla 2.52. La corriente nominal es reducida de acuerdo con los factores de corrección mostrados en la Tabla 2.53.

Interruptores de baja tensión

Los valores normalizados para interruptores de baja tensión están dados para operar en altitudes hasta de 2 000 m.s.n.m. El equipo normalizado puede ser operado en altitudes mayores si la tensión de operación no es mayor que la tensión máxima de diseño o nominal del interruptor al ser afectada por los factores de corrección de la Tabla 2.54 Los valores del nivel de aislamiento se corrigen por efecto de la altitud aplicando los mismos factores indicados para corregir la tensión nominal. La corriente nominal es reducida de acuerdo con los factores de corrección de la Tabla 2.55.

Tabla 2.49 Características de interruptores en baja tensión con dispositivo de activación (disparo) instantáneo

Línea número	Tensión nominal (volts)	Tensión máxima (volts)	Niveles de aislamiento-dieléctrico	Corriente interruptiva trifásica (amperes simétricos)	Marco (Amperes)	Activación (disparo) instantáneo por sobrecorriente
1	600	635	2 200	14 000	225	40-225
2	600	635	2 200	22 000	600	40-600
3	600	635	2 200	22 000	800	100-800
4	600	635	2 200	42 000	1 600	200-1 600
5	600	635	2 200	42 000	2 000	200-2 000
6	600	635	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000
7	600	635	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200
8	600	635	2 200	85 000	4 000	4 000
9	480	508	2 200	14 000	225	40-225
10	480	508	2 200	22 000	600	40-600
11	480	508	2 200	22 000	8 000	100-800
12	480	508	2 200	42 000	1 600	200-1 600
13	480	508	2 200	50 000	2 000	200-2 000
14	480	508	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000
15	480	508	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200
16	480	508	2 200	85 000	4 000	4 000
17	240	250	2 200	14 000	225	40-225
18	240	250	2 200	22 000	600	40-600
19	240	250	2 200	22 000	800	100-800
20	240	250	2 200	42 000	1 600	200-1 600
21	240	250	2 000	50 000	2 000	200-2 000
22	240	250	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000
23	240	250	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200
24	240	250	2 200	85 000	4 000	4 000

Fuente: ANSI C37.16

Tabla 2.50 Características de interruptores en baja tensión, sin dispositivo de activación (disparo) instantáneo

Línea número	Tensión nominal (volts)	Tensión máxima (volts)	Niveles de aislamiento dieléctrico	Corriente interruptiva trifásica (amperes simétricos)	Marco (amperes)	Banda de tiempo mínimo	Banda de tiempo intermedia	Banda de tiempo máxima
1	600	635	2 200	14 000	225	100-225	125-225	150-225
2	600	635	2 200	22 000	600	175-600	200-600	250-600
3	600	635	2 200	22 000	800	175-800	200-800	250-800
4	600	635	2 200	42 000	1 600	350-1 600	400-1 600	500-1 600
5	600	635	2 200	42 000	2 000	350-2 000	400-2 000	500-2 000
6	600	635	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000	2 000-3 000	2 000-3 000
7	600	635	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200	2 000-3 200	2 000-3 200
8	600	635	2 200	85 000	4 000	4 000	4 000	4 000
9	480	508	2 200	14 000	225	100-225	125-225	150-225
10	480	508	2 200	22 000	600	175-600	200-600	250-600
11	480	508	2 200	22 000	8 000	175-800	200-800	250-800
12	480	508	2 200	42 000	1 600	350-1 600	400-1 600	500-1 600
13	480	508	2 200	50 000	2 000	350-2 000	450-2 000	500-2 000
14	480	508	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000	2 000-3 000	2 000-3 000
15	480	508	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200	2 000-3 200	2 000-3 200
16	480	508	2 200	85 000	4 000	4 000	4 000	4 000
17	240	250	2 200	14 000	225	100-225	125-225	150-225
18	240	250	2 200	22 000	600	175-600	200-600	250-600
19	240	250	2 200	22 000	800	175-800	200-800	250-800
20	240	250	2 200	42 000	1 600	350-1 600	400-1 600	500-1 600
21	240	250	2 200	50 000	2 000	350-2 000	400-2 000	500-2 000
22	240	250	2 200	65 000	3 000	2 000-3 000	2 000-3 000	2 000-3 000
23	240	250	2 200	65 000	3 200	2 000-3 200	2 000-3 200	2 000-3 200
24	240	250	2 200	85 000	4 000	4 000	4 000	4 000

Fuente: ANSI C37.16

Tabla 2.51 Límites de temperatura y elevación para partes, materiales y dieléctricos en interruptores de baja tensión en aire

No	Descripción de la parte , del material y el dieléctrico	Valores máximos	
		Temperaturas total 40°C	Elevación de temperatura en °C sobre su temperatura ambiente de 40°C
1	Contactos de cobre a aleaciones de cobre con o sin recubrimiento	105	65
2	Conductores con aislante termoplástico (ver nota 1)	100	60
3	Conductores con aislamiento de tela barnizada	125	85
4	Fibras empleadas como aislantes eléctricos	130	90
5	Madera y otros materiales combustibles	130	90
6	Compuestos	140	100
7	Melamina	190	150
8	Compuestos fenólicos usados como aislantes eléctricos (ver nota 1)	190	150
9	Compuestos sellados siendo la temperatura de ablandamiento		15

Nota 1: Esta limitación no es aplicable a compuestos con propiedades especiales de resistencia al calor

Tabla 2.52 Factor de corrección de tensión

Altitud en m.s.n.m	Factor de corrección de tensión
1 000	1.00
1 220	0.98
1 525	0.95
3 050	0.80

Tabla 2.53 Factor de corrección de corriente

Altitud en m.s.n.m	Factor de corrección de corriente
1 000	1.000
1 220	0.996
1 525	0.990
3 050	0.960

Tabla 2.54 Factores de corrección de tensión

Altitud en m.s.n.m	Factor de corrección de tensión
2 000	1.00
2 600	0.95
3 900	0.80

Tabla 2.55 Factores de corrección de corriente

Altitud en m.s.n.m	Factor de corrección de corriente
2 000	1.00
2 600	0.99
3 900	0.96

2.6. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO⁵

El procedimiento para coordinación de aislamiento consiste en la selección de la tensión máxima para el equipo y de un conjunto de tensiones de aguante nominales normalizadas correspondientes que caracterizan el aislamiento del equipo necesario para la aplicación.

2.6.1. TENSIÓN Y SOBRETENSIONES

Las tensiones y sobretensiones que esfuerzan el aislamiento deben determinarse en amplitud, forma y duración por medio de un análisis del sistema en el que se incluya la selección y localización de los dispositivos de prevención y limitación de sobretensiones.

Para cada clase de tensiones y sobretensiones, este análisis permite determinar una tensión y una sobretensión representativas, al considerar las características del aislamiento con respecto a su comportamiento ante las formas de tensión o sobretensión en el sistema y ante las formas de tensión normalizadas que se aplican en una prueba de tensión de aguante normalizada como se describe en la Tabla 2.56

2.6.2. TENSIÓN DE AGUANTE DE COORDINACIÓN

El procedimiento para la determinación de las tensiones de aguante de coordinación consiste

en determinar los valores más bajos de la tensión de aguante del aislamiento que cumplen el criterio de comportamiento, en los casos en que se les somete a las sobretensiones representativas, bajo las condiciones de servicio.

Las tensiones de aguante de coordinación del aislamiento tienen la forma de las sobretensiones representativas de cada clase, y sus valores se obtienen multiplicando las sobretensiones representativas por un factor de coordinación; este factor depende de la precisión en la evaluación de las sobretensiones representativas, de la estimación empírica o estadística de la distribución de las sobretensiones y las características del aislamiento.

Las tensiones de aguante de coordinación pueden determinarse, ya sea, con tensiones de aguante convencionalmente supuestas o con tensiones de aguante estadísticas. Esto afecta el procedimiento de determinación y el factor de coordinación.

La simulación de sobretensiones simultáneamente con la evaluación del riesgo de falla, con las características adecuadas de aislamiento, permite determinar directamente las tensiones de aguante de coordinación estadísticas sin tener que determinar las sobretensiones representativas.

2.6.3. NIVEL DE AISLAMIENTO

La selección del nivel de aislamiento nominal consiste en la selección del conjunto más eco-

⁵ Fuente: NMX-J-150/1

nómico de tensiones de aguante normalizadas U_w del aislamiento, suficientes para demostrar que se cumple con todas las tensiones de aguante requeridas.

La tensión máxima del equipo es aquélla que se selecciona como el siguiente valor normalizado de U_m igual o mayor que la tensión máxima del sistema del lugar en el que el equipo se instala.

Para equipo que va a instalarse bajo condiciones ambientales normales respecto al aislamiento, U_m debe ser al menos igual a U_s .

Para equipo que va a instalarse fuera de las condiciones ambientales normales respecto al aislamiento, U_m puede seleccionarse mayor que el siguiente valor normalizado de U_m igual o mayor que U_s de acuerdo con las necesidades especiales que se involucran.

Nota: Como ejemplo, la selección de un valor U_m mayor que el siguiente valor normalizado de U_m igual o mayor que U_s puede elevarse cuando el equipo tiene que instalarse a una altitud mayor que 1 000 m para compensar la disminución de la tensión de aguante del aislamiento externo

La asociación de las tensiones de aguante normalizadas con la tensión máxima del equipo se realiza con base en el diseño de los sistemas de acuerdo con las normas y para fortalecer la normalización.

Las tensiones de aguante nominales normalizadas se asocian con la tensión máxima del equipo de acuerdo con la Tabla 2.57 para la categoría I y con la Tabla 2.58 para la categoría II. Estas ten-

siones de aguante nominales normalizadas son válidas para condiciones ambientales normales y tienen ajustes de acuerdo con las condiciones atmosféricas normalizadas de referencia.

Las asociaciones que se obtienen al vincular en línea horizontal las tensiones de aguante normalizadas de todas las columnas, sin cruzar las líneas horizontales marcadas, se definen como los niveles de aislamiento normalizados

2.6.4. TENSIÓN MÁXIMA DE LOS EQUIPOS

Las tensiones máximas normalizadas para los equipos se dividen en dos categorías:

- a) Categoría I: mayor que 1 kV hasta e inclusive 245 kV (véase Tabla 2.57). Esta categoría cubre los sistemas de distribución y transmisión. Por lo tanto, los aspectos operacionales deben considerarse al seleccionar el nivel de aislamiento nominal del equipo.
- b) Categoría II: superior a 245 kV (véase la Tabla 2.58). Esta categoría cubre principalmente los sistemas de transmisión.

2.6.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones atmosféricas normalizadas de referencia, las cuales aplican a las tensiones de aguante normalizadas, son:

- a) Temperatura: $t_0=20\text{ }^\circ\text{C}$;
- b) Presión: $b_0=101.3\text{ kPa}$ (1 013 mbar)
- c) Humedad absoluta: $h_0=11\text{ g/m}^3$

Tabla 2.56 Clase y forma de onda de sobretensión, formas de tensiones normalizadas y pruebas de tensión de aguante normalizada

Clase	Baja frecuencia		Transitoria		
	Permanente	Temporal	Frente lento	Frente rápido	Frente muy rápido
Formas de ondas de tensiones y sobretensiones					
Intervalos de frecuencia de formas de ondas de tensiones y sobretensiones	$f=60\text{ Hz}$ $T_t \geq 3\ 600\text{ s}$	$(10 < f < 50)\text{ Hz}$ $(0.02 \leq T_t \leq 3\ 600)\text{ s}$	$(20 < T_p \leq 5\ 000)\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20\text{ ms}$	$(0.1 < T_1 \leq 20)\ \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300\text{ ms}$	$T_f \leq 100\text{ ns}$ $(0.3 < f_1 < 100)\text{ MHz}$ $(30 < f_2 < 300)\text{ MHz}$
Formas de ondas de tensiones normalizadas					a
Pruebas de tensiones normalizadas	a	Prueba corta duración de la frecuencia del sistema (60 Hz)	Prueba de impulso por maniobra	Prueba de impulso por rayo	a

^a Se especifica en la norma del producto correspondiente

Fuente: NMX-J-150/1

Tabla 2.57 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 254 \text{ kV}$)

Tensión máxima del equipo U_m kV (valor eficaz)	Tensión de aguante normalizada de corta duración a 60 Hz kV (valor eficaz)	Tensión de aguante normalizada de impulso por rayo kV (valor cresta)
3.6	10	20 40
15.5**	19	45 60 75
7.2	20	40 60
112**	28	60 75 95
15.5	35	75 95 110
117.5 **	38	75 95
124 **	50	95 125 145
25.8	50	95 125 150
136**	70	145 170 125
38	70	150 200
152**	95	250
72.5	140	325
1100 **	1 150*	1 380*
	185	450
123	1 185*	1 450*
	230	550
145	1 185 *	1 450*
	230	550
	275	650
170	1 230*	1 550*
	275	650
	325	750
245	1 275*	1 650*
	1 325*	1 750*
	360	850
	395	950
	460	1 050

Si estos valores son insuficientes para satisfacer las tensiones de aguante requeridas de fase a fase, es necesario realizar pruebas de aguante adicionales de fase a fase

** Estos valores no son de uso común, sin embargo, pueden utilizarse en las normas de productos

NOTAS:

1 Los valores de esta tabla están referidos a condiciones atmosféricas normalizadas

2 La tensión de aguante normalizada de impulso por rayo de fase a fase es la misma que la de fase a tierra

Fuente : NMX- J- 150/1

Tabla 2.58 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría II ($U_m > 254$ kV)

Tensión máxima del equipo U_m kV (valor eficaz)	Tensión de aguante normalizada de impulso por maniobra			Tensión de aguante normalizada de impulso por rayo ^{b), e), f)}
	Aislamiento longitudinal ^{a)} kV (valor cresta)	Fase a tierra kV (valor cresta)	Fase a fase (relación entre el valor de cresta de fase a tierra) ^{g)}	kV (valor cresta)
300 ^{c)}	750	750	1.5	850 950
	750	850	1.5	950 1 050
362 ^{c)}	850	850	1.5	950 1 050
	850	950	1.5	1 050 1 175
420	850	850	1.6	1 050 1 175
	950	950	1.5	1 175 1 300
	950	1 050	1.5	1 300 1 425
550 ^{c)}	950	950	1.7	1 175 1 300
	950	1 050	1.6	1 300 1 425
	950 1 050	1 175	1.5	1 425 1 550
800 ^{c)}	1 175	1 300	1.7	1 675 1 800
	1 175	1 425	1.7	1 800 1 950
	1 175 1 300	1 550	1.6	1 950 2 100

* NOTA – La presencia de U_m por encima de 800 kV aún no se definen

- a) Valor de la componente de impulso de la prueba combinada con el valor cresta de fase a tierra de polaridad opuesta a 60 Hz igual a $U_m \cdot 2 / 3$.
- b) Estos valores aplican tanto para aislamiento fase a tierra y como para fase a fase; para el aislamiento longitudinal estos valores se aplican como componente del impulso por rayo nominal normalizado con el valor cresta de la componente de 60 Hz de polaridad opuesta de magnitud igual a $0.7U_m \cdot 2 / 3$, en la tensión de aguante nominal normalizada combinada.
- c) Estos valores no son de uso común, sin embargo, pueden utilizarse en las normas de productos
- d) Los valores de esta tabla están referidos a condiciones atmosféricas normalizadas
- e) La tensión de aguante normalizada de impulso por rayo de fase a fase es el mismo valor que la de fase a tierra.
- f) Valor de la componente de impulso en la prueba combinada correspondiente.
- g) El valor de la tensión aguante de impulso por maniobra de fase a fase en kV se obtiene mediante el producto de la tensión de aguante de impulso por maniobra de fase a tierra y el valor de esta columna

Fuente: NMX-J-150/1

2.7. AISLADORES TIPO SUSPENSIÓN DE PORCELANA O DE VIDRIO TEMPLADO⁶

2.7.1. CLASIFICACIÓN

Los aisladores tipo suspensión se clasifican por su acoplamiento y aplicación de acuerdo con lo siguiente:

1. Por su acoplamiento
 - a) Horquilla y ojo anular
 - b) Calavera y bola
2. Por su aplicación
 - a) Normal
 - b) Corrosión
 - c) Contaminación
3. Por su resistencia mecánica
 - a) 44 kN
 - b) 111 kN
 - c) 160 kN

2.7.2. DESIGNACIÓN

La designación consta de 10 caracteres alfanuméricos como máximo, según se muestra a continuación:

DDSMARRRXY

En donde:

- DD es el diámetro aproximado del esbozo en (cm)
S es el tipo suspensión
M es el material (V= vidrio o = porcelana)

- A es el tipo de acoplamiento (H= horquilla y ojo anular o C = calavera y bola)
RRR es la resistencia mecánica o electromecánica en (kN)
X es la corrosión (manguito de cinc)= (C)
Y es la contaminación (C=contaminación o M= muy contaminada).

2.7.3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y DIMENSIONALES

Los aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado y sus herrajes deben satisfacer las características electromecánicas y dimensiones indicadas por la NMX- J- 245

2.7.3.1. Acabado

Aislamiento

El esbozo del aislador debe tener un acabado vidriado y liso; de constitución homogénea, compacta y libre de porosidades. Los aisladores de porcelana deben ser de color gris o café oscuro y los de vidrio templado verde o claro translucido.

Herrajes o partes metálicas

Todas las partes metálicas deben ser de acero o hierro esferoidal y deben estar galvanizadas.

Vástago

Debe ser de acero o hierro nodular o maleable, que cumpla con el valor de resistencia mecánica. La posición del vástago (ojo anular o bola)

⁶ Fuente: NMX-J-245

debe ser perpendicular al plano del esbozo del aislador, y estar alineado con respecto al eje central del esbozo y horquilla o calavera.

Chavetas

Deben ser de acero inoxidable grado A2 o A4. La chaveta utilizada en la calavera del aislador debe ser del tipo R y tener ambos extremos alabeados, de tal forma que impidan su extracción completa. La chaveta utilizada en el perno de acoplamiento tipo horquilla debe ser del tipo R (Joroba).

Perno y calavera

El perno debe ser de acero. La calavera y la horquilla pueden ser de acero, hierro nodular o hierro maleable.

Cemento

No debe presentar aflojamiento en el acoplamiento de los herrajes, calavera y bola u horquilla y ojo anular.

2.7.3.2.Empaque, embalaje

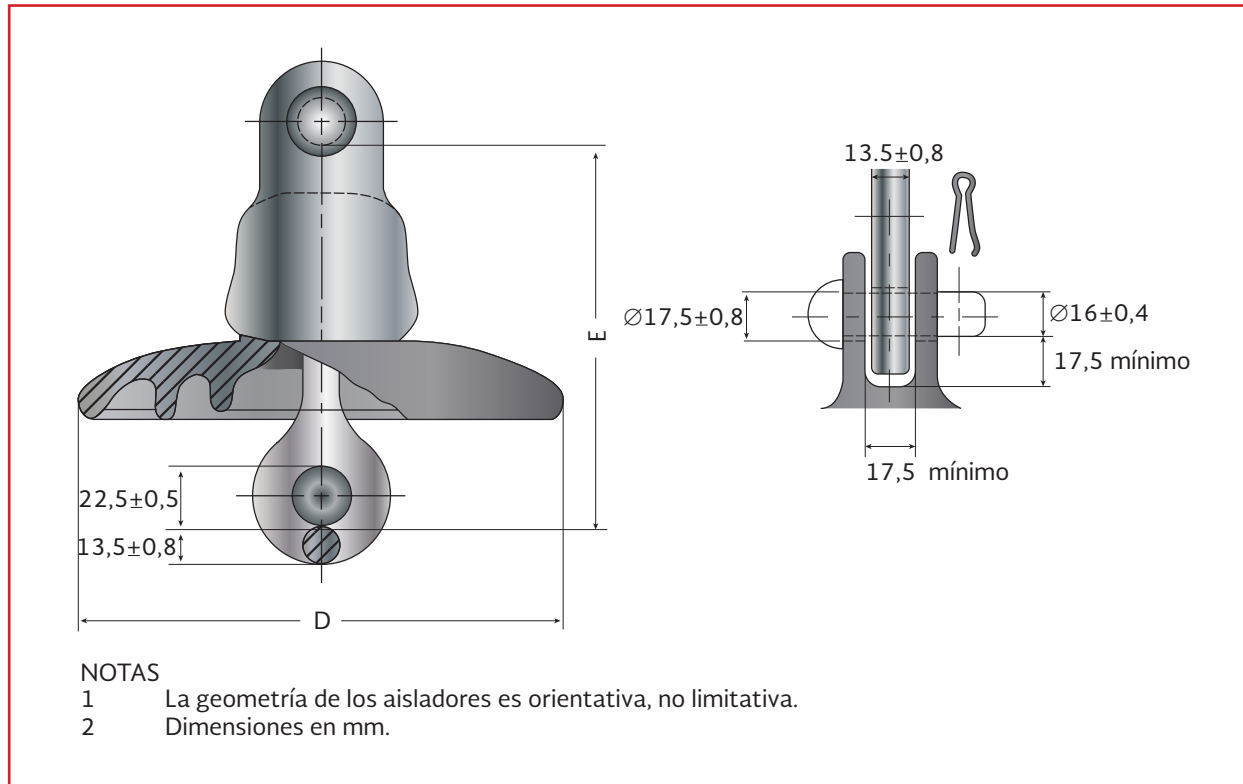
Los aisladores deben empacarse en cajas o rejas de madera o de plástico, que resistan el manejo rudo sin dañar el contenido y que puedan almacenarse a la intemperie, con una cantidad máxima de 6 piezas.

Los aisladores empacados deben entregarse en tarimas, flejados y debidamente ordenados para efectuar un conteo rápido. La masa total del embalaje no debe ser mayor a 1 500 kg para poder mover cada tarima con un cargador frontal (montacargas).

Se permite además, que en una tarima se acomoden debidamente ordenados y flejados dos o más tipos de aisladores, cuando las cantidades de cada uno de ellos no sea suficiente para completar la carga de una tarima.

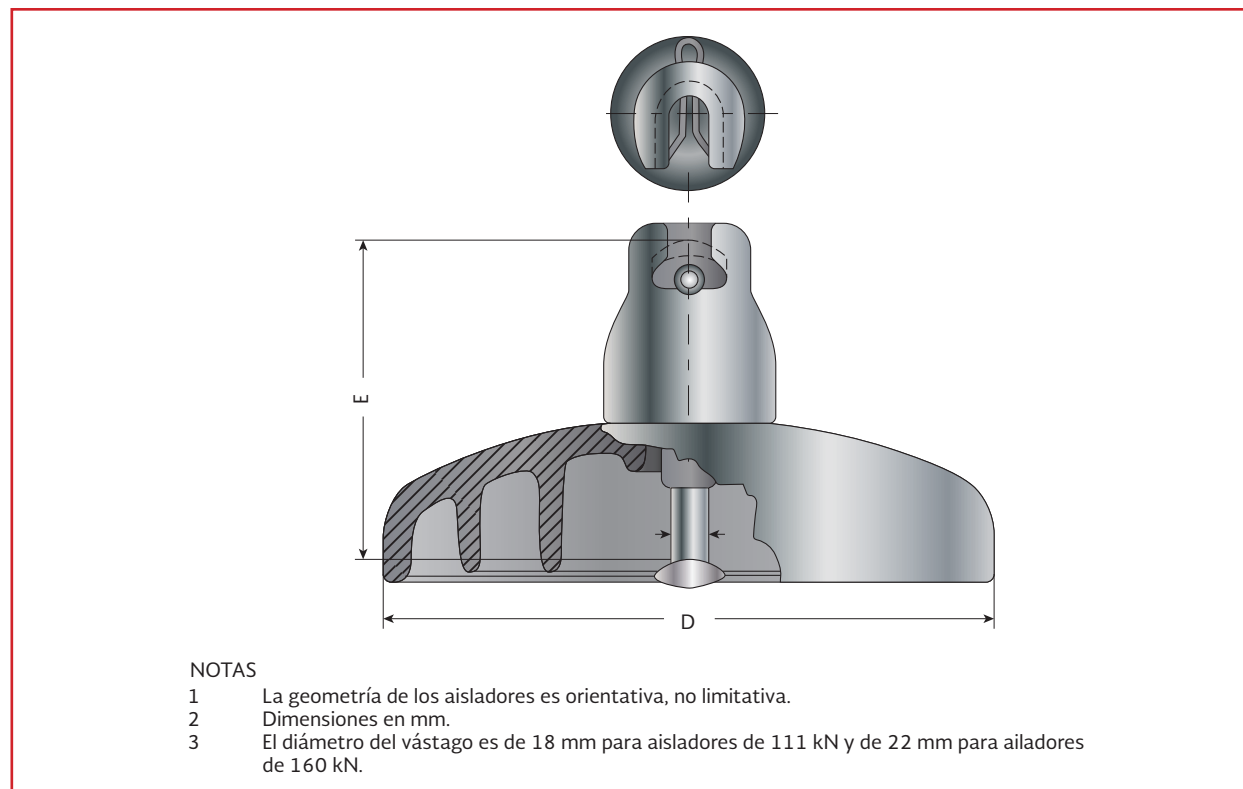
En la, Ilustración 2.21 y Ilustración 2.22 y Tabla 2.59 se muestra las características según la NMX-J-245.

Ilustración 2.21 Aislador tipo suspensión con acoplamiento de horquilla - ojo



Fuente: NMX- J- 245

Ilustración 2.22 Aislador con acoplamiento calavera y bola (perfil normal y anticontaminación)



Fuente: NMX- J- 245

2.8. CUCHILLAS SECCIONADORAS EN AIRE⁷

2.8.1. CARACTERÍSTICAS

Las cuchillas de operación en grupo se deben instalar en líneas troncales, en puntos de enlace entre dos circuitos, donde exista equipo de protección o seccionamiento de restauradores, transiciones de circuito aéreas a subterráneas, etcétera.

El mecanismo de operación de las cuchillas de operación en grupo debe estar conectado a tierra. El valor de resistencia de tierra debe ser de 10 ohms como máximo en tiempo de secas.

Se deben de comprobar los ajustes de las cuchillas antes de que se pongan en operación. Vea las recomendaciones del fabricante. Los cortacircuitos que se operen con pértiga no necesitan estar conectados a tierra; las cuchillas de operación en grupo preferentemente se deben instalar en lugares de fácil acceso; todas las cuchillas de operación en grupo deben ser del tipo para abrir con carga; las cuchillas se deben instalar con el contacto fijo en el lado fuente. El mecanismo de mando de las cuchillas de operación en grupo debe estar asegurado con un candado con llave predeterminado por el responsable del área.

Para operar cuchillas de operación en grupo, utilice guantes dieléctricos de la clase adecuada a la tensión de operación. Para abrir el ramal de un restaurador fusible, primero abra los cortacircuitos con la pértiga universal de derecha a izquierda de cada uno de los conjuntos que no estén conduciendo corriente. Finalmente utilice rompe cargas para abrir el último cortacircuito que conduzca corriente.

⁷ Fuente: NMX-J-323, CFE 08-00-01, IEEE STD C37, CFE V4200-25, CFE V4200-12, NRF-006-CFE

Para restablecer el servicio de un restaurador fusible una vez corregida la anomalía que provocó la falla permanente, primero abra el mecanismo de conexión (by pass) y reponga los eslabones fusibles de cada grupo de izquierda a derecha. En la Tabla 2.60 e Ilustración 2.23 se muestra un arreglo de cuchillas de CFE. La codificación de cuchillas para seccionar líneas de media tensión consta de cinco campos:

- El primer campo indica el número de unidades
- En el segundo y tercer campo se indica el tipo de cuchillas: Cuchillas de operación en Grupo (CG) y Restaurador Fusible (RF)
- En el cuarto campo se indica el número de fases conectadas
- En el quinto campo se indica el tipo de sistema: 3F-4H (A)

2.8.1.1. Ejemplo:

Cuchillas de operación en grupo para tres fases sistema 3F-4H.

1 C G 3 A

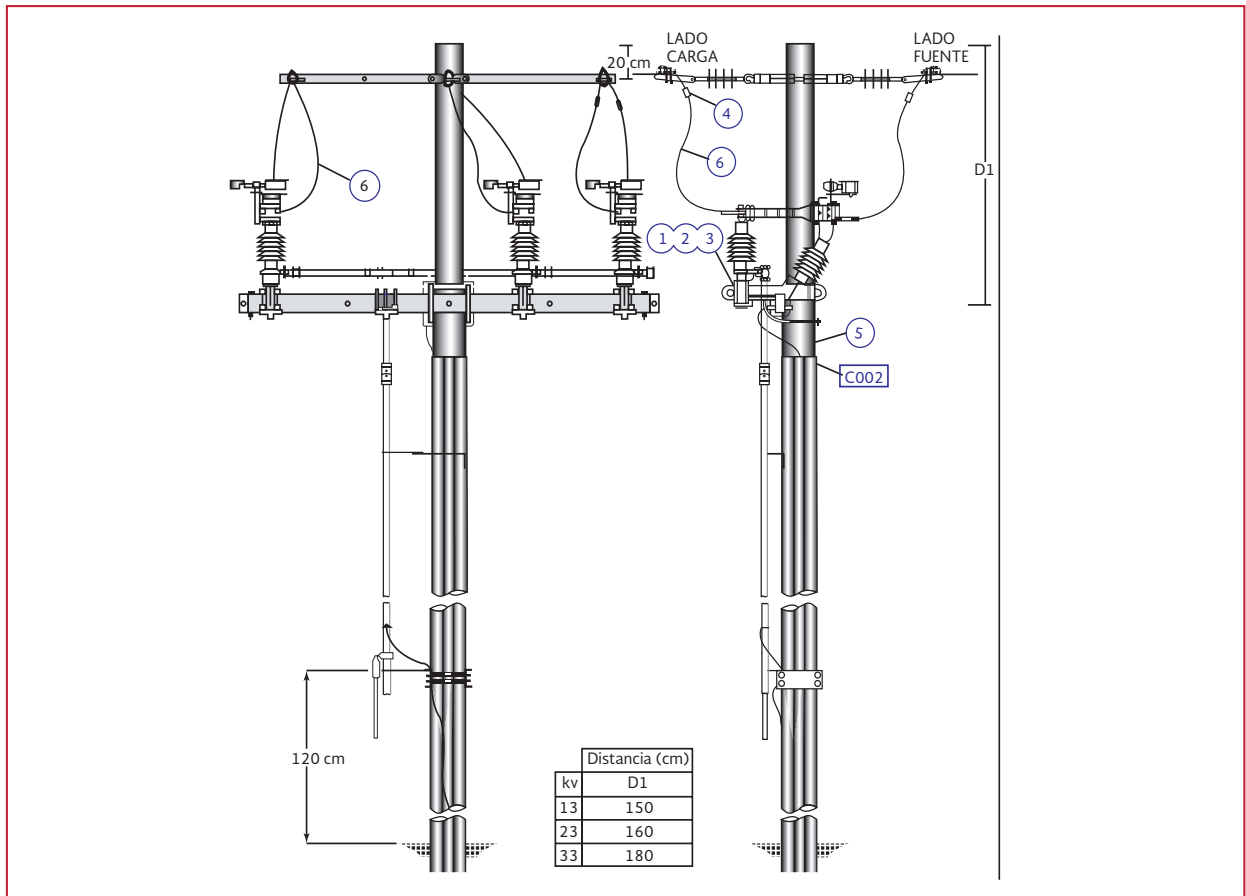
La clave indica una (1) cuchilla de operación en grupo (CG) conectada a tres fases (3) en un sistema tres fases, cuatro hilos (A). Fuente: CFE 08-00-01.

2.8.2. TENSIÓN

2.8.2.1. Tensiones y corrientes nominales normalizadas

Los valores normalizados para servicio interior o exterior se indican en la Tabla 2.61 y Tabla 2.63. La corriente momentánea nominal de cresta, se obtiene multiplicando la corriente de corta dura-

Ilustración 2.23 Cuchillas de CFE



ción de 1 segundo por 2.5. La variabilidad reportada de los valores de corriente de corta duración de 1 segundo en kA es dependiente de la tensión del sistema y de los valores de cor.tocircuito del mismo. Si un valor de más de 1 segundo es necesario, el valor de 3 segundos es el recomendado.

2.8.3. CORRIENTE

2.8.3.1. Capacidad interruptiva

Es el valor de la corriente de cortocircuito máxima que debe de interrumpir el elemento fusible a una tensión nominal determinado bajo condiciones de prueba. Esta capacidad está en función de la contribución de corriente de cortocircuito por parte de la compañía suministradora y las cargas conectadas en la instalación del usuario.

2.8.3.2. Corriente aplicada de corta duración

La corriente nominal es la corriente que deben soportar las cuchillas en forma permanente, sin sufrir ningún daño a frecuencia y tensión nominal. La corriente está dada en amperes por el valor eficaz (rmc). Los valores están indicados en la Tabla 2.61 y Tabla 2.62.

2.8.4. NIVEL BÁSICO AL IMPULSO

Las cuchillas seccionadoras deberán ser capaces de soportar sobretensiones transitorias, originadas principalmente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación; el nivel básico al impulso de acuerdo a las normas está dado a una altitud de 1 000 m.s.n.m. Los valores se muestran en la Tabla 2.61, Tabla 2.63 y Tabla 2.64.

2.8.4.1.Potencial aplicado

Las cuchillas deberán soportar los valores de potencial aplicado mostrados en la Tabla 2.61.

2.8.5. CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

2.8.5.1. Número de polos

Las cuchillas seccionadoras podrán ser de: 1, 2 y 3 polos según el caso. Ver Ilustración 2.24, Ilustración 2.25, Ilustración 2.26, Ilustración 2.27, Ilustración 2.28, Ilustración 2.29.

2.8.5.2.Tipo de operación

Las cuchillas seccionadoras podrán requerirse de operación unipolar o en grupo según sea el caso.

2.8.5.3.Tipo de montaje

Por su tipo de montaje las cuchillas seccionadoras podrán ser:

- a) Cuchillas seccionadoras verticales
- b) Cuchillas seccionadoras horizontales

2.8.5.4.Conexión

En las cuchillas seccionadoras verticales y horizontales, el contacto fijo debe conectarse en el lado de la acometida, las de accionamiento al centro y doble interrupción, la conexión de la fuente de energía no requiere ninguna recomendación.

2.8.5.5.Tipo de servicio

Las cuchillas seccionadoras podrán ser para servicio interior o exterior.

2.8.5.6.Aisladores

La distancia de fuga de los aisladores será:

- a) 3.5 cm/kV en atmósfera de contaminación media
- b) 4.5 cm/kV en atmósfera de contaminación alta

2.8.6. RECOMENDACIONES

2.8.6.1.Montaje

El montaje está dado básicamente por el arreglo de equipo de la subestación, por lo que debe revisarse el diseño y en él se observará el tipo de montaje.

2.8.6.2.Tipo de operación

El tipo de operación de las cuchillas está dado por la facilidad o dificultad para abrir o cerrarlas.

Cuchilla montaje vertical

Para seleccionar la operación mediante el empleo de una pértiga se requiere que al frente de la cuchilla exista el área libre, que no debe tener una distancia menos de 2 m para que una persona pueda operar las cuchillas con la pértiga en forma segura; de no existir esta condición la cuchilla debe operarse mediante mecanismos para operarlas con una manivela y en grupo; para este caso no se requiere de un gran espacio, ya que lo único que se tiene que tomar en cuenta son las distancias de seguridad del operador a las fases eléctricas de la subestación las cuales dependen de la tensión de la subestación.

Ilustración 2.24 Cuchilla tripolar

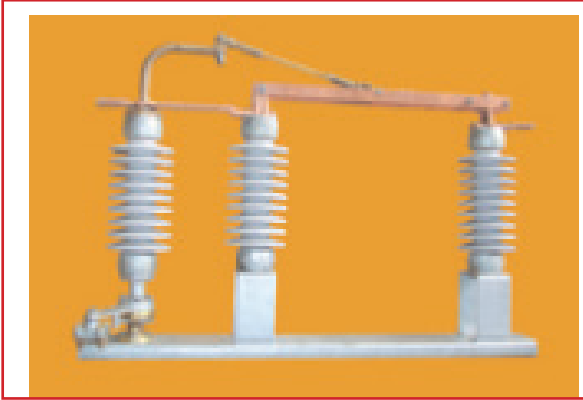


Ilustración 2.25 Cuchilla unipolar o monopolar

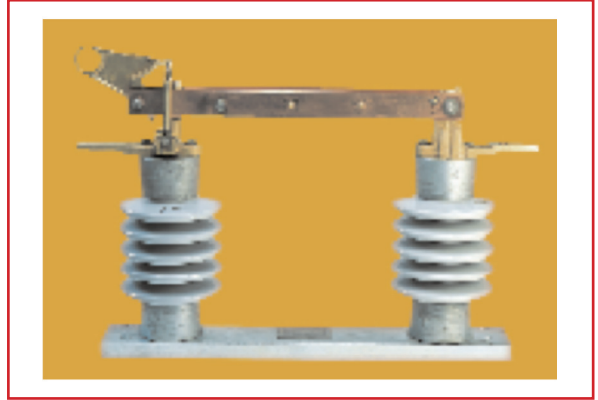


Ilustración 2.26 Cuchilla de apertura vertical (TTR6) para distribución y transmisión

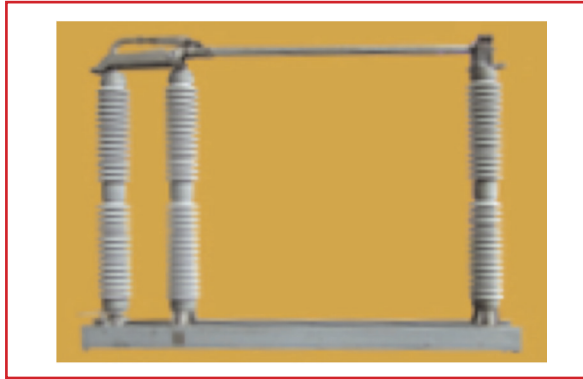


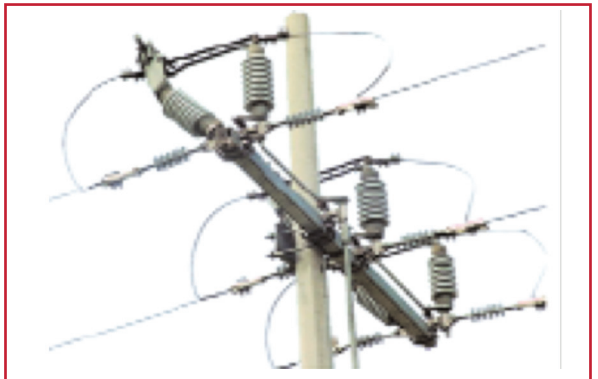
Ilustración 2.27 Cuchilla de apertura lateral central (DRV) para distribución y transmisión



Ilustración 2.28 Cuchilla de doble apertura lateral central



Ilustración 2.29 Cuchilla COGC



Cuchillas de montaje horizontal

La operación de este tipo de cuchillas siempre debe ser en grupo; las cuchillas desconectadoras montadas horizontalmente no permiten su operación mediante pértiga.

2.8.6.3. Longitud de la varilla de mando

Al especificar cuchillas de operación en grupo, se deberá de indicar la longitud de la varilla de mando de acuerdo a la posición de las cuchillas, de acuerdo al arreglo de la subestación.

2.8.7. TIPOS DE CUCHILLAS

2.8.7.1. Cuchilla unipolar o monopolar (p)

- a) Las cuchillas unipolares o monopolares son del tipo de operación con pértiga sin carga, ver Tabla 2.65
- b) Servicio intemperie para subestaciones de distribución
- c) Tensión nominal de diseño desde 15 hasta 38 kV
- d) Corriente nominal desde 630 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 200 kV
- f) Aplicable para el sistema de distribución

2.8.7.2. Cuchilla tripolar (TP-II)

- a) Las cuchillas Tripolares son del tipo de operación del grupo sin carga
- b) Servicio intemperie para subestaciones de distribución, ver Tabla 2.66

- c) Tipo de montaje vertical, horizontal
- d) Tensión nominal de diseño desde 15.5 hasta 38 kV
- e) Corriente nominal desde 630 hasta 2 000 A
- f) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 200 kV
- g) Aplicable para el sistema de distribución

2.8.7.3. Cuchilla de apertura

vertical (TTR_v) para distribución y transmisión

- a) Servicio intemperie para subestaciones de distribución y transmisión
- b) Tipos de montaje vertical, horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 15 hasta 170 kV
- d) Corriente nominal de diseño desde 630 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 750 kV
- f) Para tensiones de diseño arriba de 123 kV puede suministrarse con cuchilla de puesta a tierra según se requiera

Ver Tabla 2.67 y Tabla 2.68.

2.8.7.4. Cuchilla de apertura

lateral central (DRV) para distribución y transmisión

Las cuchillas DRV son del tipo de apertura lateral central, posición de aisladores en “V” de operación en grupo sin carga, con o sin puesta a tierra, mecanismos de accionamiento manual o motorizado, ver Tabla 2.69.

- a) Servicio intemperie para subestaciones de distribución y transmisión
- b) Tipo de montaje vertical, horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 72.5 hasta 170 kV
- d) Corriente nominal de 800 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 450 hasta 750 kV
- f) Para tensiones de diseño arriba de 123 kV puede suministrarse con cuchilla de puesta a tierra según se requiera

2.8.8. CUCHILLA DE DOBLE APERTURA LATERAL CENTRAL (TTT-7)

- a) Las cuchillas TTT-7 son del tipo de doble apertura lateral central, tres columnas de aisladores. Con aislador giratorio al centro de cada polo, de operación en grupo sin carga, con o sin puesta a tierra, mecanismos de accionamiento de la cuchilla principal motorizado, ver Tabla 2.70
- b) Tipo de montaje horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 245 hasta 420 kV
- d) Corriente nominal desde 1 250 hasta 3 150 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 1 050 hasta 1 550kV

2.8.8.1.Cuchilla COGC

- a) Los equipos COGC son cuchillas de operación en grupo con carga, apertura lateral y posición de aisladores en “V”

- b) Montaje horizontal y vertical en poste sin cuchilla de puesta a tierra, mecanismo de accionamiento manual
- c) Servicio intemperie para el sistema de distribución
- d) Tensión nominal de diseño desde 15.5 hasta 25.8 kV
- e) Corriente nominal de 630 A
- f) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) de 125 hasta 170 kV

2.8.9. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.8.9.1. Temperaturas

Tener conocimiento de la temperatura: mínima, máxima y promedio del sitio.

2.8.9.2. Altitud de operación

Las cuchillas desconectadoras deberán estar diseñadas para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m., para la selección de cuchillas que operen a altitudes mayores y cuyas partes aislantes se encuentren en el aire expuestas a la presión atmosférica, deberán aplicarse los factores de corrección indicados en Tabla 2.64.

2.8.9.3. Tipo de atmósfera

Básicamente se consideran dos tipos de atmósferas:

- a) Contaminación media. Sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que tienen este tipo de contaminación son:
 - Sitios a más de 50 km de la costa
 - Campos agrícolas

- Ciudades sin industria contaminantes
 - Lugares a más de 30 km de industrias contaminantes
- b) Contaminación alta:
- Son los sitios a menos de 50 km de la costa
 - Sitios cercanos a plantas que producen o consumen carbón plantas petroquímicas, cementeras y acereras

2.9. SELECCIÓN DE TABLEROS⁸

2.9.1. CARACTERÍSTICAS

Las características particulares de los componentes contenidos en los tableros para sistemas trifásicos, estarán sujetas a sus especificaciones correspondientes, ver Ilustración

⁸ Fuente: NMX-J-068, NOM-16-ENER, NFR-030-CFE, CFE V6700-62,

Tabla 2.60 Componentes de Ilustración 2.20

Ref. No.	Especificación o NRF CFE	U	Descripción corta	Cantidad		
				13 kV	23 kV	33 kV
1	NRF-006	Pz	Cuchilla COGC-15-*-* (1)	1	-	-
2	NRF-006	Pz	Cuchilla COGC-25,8-*-* (1)	-	1	-
3	NRF-006	Pz	Cuchilla COGC-38-*-* (1)	-	-	1
4		Pz	Conector	6	6	6
5		Lote	Bajante de tierra	1	1	1
6	E0000-32	m	Cable Cu 3/0	9	9	9

Fuente: CFE 08-00-01

Tabla 2.61 Capacidades eléctricas (corrientes nominales y momentáneas)

Tensiones máxima	Corriente nominal	Corriente pico	Corriente de corta duración	Tensión de impulso (BIL) 1.2 x 50 µs	Tensión aplicada 60 Hz 1 min en seco
7.2	400	65	25	60	20
	630	65	25	60	20
	1250	99	38.1	60	20
17.5	400	65	25	95	38
	630	65	25	95	38
	1250	99	38.1	95	38
28.8	400	65	25	125	60
	630	65	25	125	60
	1 250	99	38.1	125	60
38	400	65	25	150	80
	630	65	25	150	80
	1 250	99	38.1	150	80

Tabla 2.62 Corrientes nominales y momentáneas

Corriente nominal en amperes	Corriente momentánea nominal en kA eficaces para servicio interior y exterior
200	20
400	20
600- 630	40
1 200- 1 250	60
1600	70
2000	80

Notas: La corriente nominal de 3 segundos, se obtiene dividiendo la corriente momentánea nominal entre 1.6.
Desconectores de 200 A, solamente para servicio interior

Fuente: NMX-J-323

Tabla 2.63 Corrientes nominales y de corta duración de 1 segundo, para servicio interior y exterior

Corriente nominal en amperes	Corriente momentánea nominal en kA eficaces para servicio interior y exterior
200	12.5
400	10 y 12.5
600 - 630	12.5, 16 y 25
1 200 - 1 250	12.5, 16, 20, 25, 31, 35, 40 y 50
1 600	16, 20, 25, 31.5, 40, y 50
2 000	20, 25, 31.5, 40 y 50

NOTAS: Desconectores de 200 A, solamente para servicio interior

La corriente momentánea nominal de cresta se obtiene multiplicando la corriente de corta duración de 1 segundo por 2.5

La variabilidad reportada de los valores de corriente de corta duración de 1 segundo en kA es dependiente de la tensión del sistema y de los valores de corto circuito del mismo

Si un valor de más de 1 segundo es necesario, el valor de 3 segundos es el recomendado

Fuente: NMX-J-323

Tabla 2.64 Factor de corrección por altitud

Altitud (m)	Tensión nominal no disruptiva	Corriente nominal
1 000	1.00	1.00
1 200	0.98	0.995
15 500	0.95	0.99
1 800	0.92	0.985
2 100	0.89	0.98
2 400	0.86	0.97
2 700	0.83	0.965
3 000	0.80	0.96
3 600	0.75	0.95
4 200	0.70	0.935
4 800	0.65	0.925
5 400	0.61	0.91
6 000	0.56	0.90

Fuente: IEEE STD C37

Tabla 2.65 Especificación de cuchillas unipolar y monopolar CFE

Descripción corta CFE	Tensión nominal de diseño del equipo Vn kV eficaz	Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo NBAI kV(-cresta)		Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz)				Corriente Nominal	Valor de prueba de la corriente de aguante	
		Cerrada a tierra	Abierta a través de la distancia del aislamiento	Cerrada a tierra y entre polos		Abierta a través de la distancia del aislamiento			De corta duración	Valor cresta
				Seco 1 min	Húmedo 10 s	Seco 1 min	Húmedo 10 s			
CSP-125-1-15.5-630	15	125	145	70	60	77	66	630	kA (1 s)	65.00
CSP-150-1-25.8-630	25.8	150	165	70	60	77	66	630	kA	65.00
CSP-200-1-38-630	38	200	220	95	80	105	88	630	kA	65.00
CSP-125-1-15.5-1250	15	125	145	70	60	77	66	1 250	kA	99.06
CSP-150-1-25.8-1250	25.8	150	165	70	60	77	66	1 250	kA	99.06
CSP-200-1-38-1250	38	200	220	95	80	105	88	1 250	kA	99.06
CSP-125-1-15.5-2000	15	125	145	70	60	77	66	2 000	kA	113.80

Fuente: CFE V4200-25

Tabla 2.66 Especificación de cuchillas tripolar CFE

Descripción corta CFE	Tensión nominal de diseño del equipo Vn kV eficaz	Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo NBAI kV(cresta)		Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz)				Corriente Nominal	Valor de prueba de la corriente de aguante	
		Cerrada a tierra abierta a través y entre polos	Abierta a través de la distancia del aislamiento	Cerrada a tierra y entre polos		Abierta a través de la distancia del aislamiento			De corta duración	Valor cresta
				Seco 1 min	Húmedo 10 s	Seco 1 min	Húmedo 10 s	kA (1 s)			kA
CSA-125-1-15,5-630-MH	15	125	145	70	60	77	66	630	25.00	65.00
CSA-150-1-25,8-630-MH	25.8	150	165	70	60	77	66	630	25.00	65.00
CSA-200-1-38-630-MH	38	200	220	95	80	105	88	630	25.00	65.00
CSA-125-1-15,5-1250-MH	15	125	145	70	60	77	66	1 250	38.10	99.06
CSA-150-1-25,8-1250-MH	25.8	150	165	70	60	77	66	1 250	38.10	99.06
CSA-200-1-38-1250-MH	38	200	220	95	80	105	88	1 250	38.10	99.06
CSA-125-1-15,5-2000-MH	15	125	145	70	60	77	66	2 000	43.80	113.80

Fuente: CFE V4200-25

Tabla 2.67 Cuchilla TR6 para distribución hasta 25.8 kV

Descripción corta CFE	Tensión nominal de diseño del equipo Vn kV eficaz	Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo NBAI kV(cres-ta)		Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz)				Corriente Nominal	Valor de prueba de la corriente de aguante	
		Cerrada a tierra y Abierta a través y entre polos	Abierta a través de la distancia del aislamiento	Cerrada a tierra y entre polos		Abierta a través de la distancia del aislamiento			De corta duración	Valor cresta
				Seco 1 min	Húmedo 10 s	Seco 1 min	Húmedo 10 s	kA (1 s)			kA
CSA-125-3-15.5-630	16	125	145	70	60	77	66	630	25.00	65.00
CSA-125-3-15.5-1250	15.5	125	145	70	60	77	66	1 250	38.10	99.06
CSA-125-3-15.5-2000	16	125	145	70	60	77	66	2 000	43.80	113.80
CSA-150-3-25.8-630	26	150	165	70	60	77	66	630	25.00	65.00
CSA-150-3-25.8-1250	25.8	150	165	70	60	77	66	1250	38.10	99.06

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12

Tabla 2.68 Cuchilla TR6 para sistema de transmisión

Descripción corta CFE	Tensión nominal del sistema Vn kV eficaz	Tensión nominal del diseño de cuchilla kV eficaz	Tensión de aguante al impulso por rayo (1.2/50 microsegundos)			Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz)		Corriente Nominal De corta duración	Valor de prueba de la corriente de aguante	
			Valores comunes	Abierta entre contactos de la cuchilla	Valores comunes	Abierta entre contactos de la cuchilla			Valor cresta	kA
						seco/húmedo 1 min	seco/húmedo 1 min			
CSA-550-3-123-1250-MH/MV	115	115	123	550	630	230	265	1 250	31.5	82.9
CSA-550-3-123-1600-MH/MV	115	115	123	550	630	230	265	1 600	40.00	104.00
CSA-550-3-123-2000-MH/MV	115	115	123	550	630	230	265	2 000	40.00	104.00
CSA-650-3-123-1250-MH/MV	115	115	123	650	750	275	315	1 250	31.50	81.90
CSA-650-3-123-1600-MH/MV	115	115	123	650	750	275	315	1 600	40.00	104.00
CSA-650-3-123-2000-MH/MV	115	115	123	650	750	275	315	2 000	40.00	104.00
CSA-650-3-145-1250-MH/MV	138	138	145	650	750	275	315	1 250	31.50	81.90
CSA-650-3-145-1600-MH/MV	138	138	145	650	750	275	315	1 600	40.00	104.00
CSA-650-3-145-2000-MH/MV	138	138	145	650	750	275	315	2 000	40.00	104.00

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12

Tabla 2.69 Cuchillas DRV para distribución

Descripción corta CFE	Tensión nominal del sistema Vn kV eficaz	Tensión nominal del diseño de cuchilla kV eficaz	Tensión de aguante al impulso por rayo (1.2/50microsegundos)(kV pico)			Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz)		Corriente nominal de corta duración	Valor de prueba de la corriente de aguante	
			Valores comunes	Abierta entre contactos de la cuchilla	Valores comunes	Abierta entre contactos de la cuchilla	seco/húmedo 1 min		kA (1 s)	kA
CSA-750-3-145-1250-MH/MV	138	138	145	750	860	325	375	1250	31.50	81.90
CSA-750-3-145-1600-MH/MV	138	138	145	750	860	325	375	1600	40.00	104.00
CSA-750-3-145-2000-MH/MV	138	138	145	750	860	325	375	2000	40.00	104.00
CSA-750-3-170-1250-MH/MV	161	161	170	750	860	325	375	1250	31.50	81.90
CSA-750-3-170-1600-MH/MV	161	161	170	750	860	325	375	1600	40.00	104.00
CSA-750-3-170-2000-MH/MV	161	161	170	750	860	325	375	2000	40.00	104.00

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12

Tabla 2.70 Cuchilla COGC

Descripción corta CFE	Tensión nominal de diseño del equipo Vn KV eficaz	Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo NBI KV(cresta)		Tensión de aguante a la frecuencia de sistema KV (eficaz)				Corriente Nominal	Valor de prueba de la corriente de aguante	
		Cerrada a tierra Abierta a través y entre polos	Abierta a través de la distancia del aislamiento	Cerrada a tierra y entre polos		Abierta a través de la distancia del aislamiento			De corta duración	Valor cresta
				seco 1 min	húmedo 10 s	seco 1 min	húmedo 10 s	Amp	kA	kA
COGC-15-125V	16	125	145	70	60	77	66	630		16.00
COG-15-125V	15.5	125	145	70	60	77	66	630	25.00	
COGC-25-150V	26	150	165	70	60	77	66	630		16.00
COG-25-150V	26	150	165	70	60	77	66	630	25.00	
COGC-25-170V	25.8	170	195	80	70	88	77	630		16
COG-25-170V	25.8	170	195	80	70	88	77	630	25	

Fuente: NRF-006-CFE

2.30. e Ilustración 2.31. Para la selección de tableros de mediana y baja tensión es necesario considerar los siguientes aspectos:

2.9.2. TENSIÓN NOMINAL

2.9.2.1. Tablero blindado (Metal-Clad)

Los valores de tensión nominal de los tableros Metal-Clad y tableros blindados para subestación compacta deben ser los indicados en la Tabla 2.71 y Tabla 2.72.

Tensión de control

Para energizar las bobinas de cierre, apertura del cortacircuito o el motor, si es de energía almacenada, las tensiones nominales de control se indicarán en la Tabla 2.73.

2.9.2.2. Tablero blindado para subestación compacta

Los valores de tensión de control se indican en la Tabla 2.73.

2.9.3. CARACTERÍSTICAS NORMATIVAS

2.9.3.1. Condiciones Normales de Servicio

Las condiciones que se consideran normales para la operación de los tableros de alta tensión y que se tendrán en cuenta deben ser como sigue:

1. La temperatura del aire ambiente no excede de 40°C y su valor promedio, medido en un período de 24 horas, no excede de 35°C
2. La temperatura mínima del aire ambiente no es inferior a:
 - a) Para instalación en interior: - 5°C
 - b) Instalación a la intemperie: - 25°C

NOTA: Se deben tomar medidas para asegurar la adecuada operación de componentes tales como relevadores, los cuales no están diseñados para estas condiciones.

2.9.4. TENSIÓN DE IMPULSO Y SOSTENIDA

Es la combinación de los valores de tensión (tensión sostenida a la frecuencia del sistema y tensión de impulso) que caracterizan el aislamiento de un tablero en relación con su aptitud para soportar los esfuerzos dieléctricos. Los valores de nivel de aislamiento para tableros Metal-Clad y tableros blindados para subestación compacta deben ser los indicados en la Tabla 2.71 y Tabla 2.72.

La tensión nominal de aislamiento (VA) de un circuito en un tablero blindado de distribución en baja tensión en un centro de control de motores y en un tablero de distribución de fuerza y alumbrado es el valor de tensión para el cual fue diseñado y para lo cual están referidas las pruebas dieléctricas, claros y distancias de fuga.

Ilustración 2.30 Tableros de media y baja tensión



Ilustración 2.31 Tableros de media tensión



2.9.5. CORRIENTE

2.9.5.1. Corriente nominal

En los tableros Metal-Clad, los valores de corriente nominal que circularán por los alimentadores o barras colectoras, deben seleccionarse de los valores de la Tabla 2.74. La corriente que el circuito del tablero blindado para subestación compacta es

capaz de conducir continuamente bajo condiciones prescritas de uso y funcionamiento, el valor de esta corriente para HV se encuentra en 400 y 630 Amperes. En los tableros blindados en baja tensión los valores de corriente nominal, que circulará por los alimentadores o barras colectoras, deben seleccionarse de los siguientes: 400, 600, 630, 800, 1 000, 1 200, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 000, 3 150, 4 000 y 5 000 amperes.

La corriente nominal I_n de un circuito de un centro de control de motores es establecida por el fabricante, tomando en consideración los rangos de los componentes del equipo eléctrico en el ensamble de un circuito, así como su disposición y aplicación, debido a que la determinación de los valores nominales es compleja, y estos no se han podido normalizar. Los valores de corriente nominal para los tableros de distribución de fuerza y alumbrado en HV deben ser los que se indican a continuación:

- a) 400-1 200 Amp. Zapatas principales
- b) 100-2 000 Amp. Interruptor principal
- c) 600 a 2 000 Amp. Capacidad en barras principales

2.9.5.2. Corriente soportable de corto tiempo

Los valores de corriente soportable de corto tiempo están bajo consideración y el corto tiempo normalizado para estos valores será de un segundo. Para duraciones mayores de un segundo, la relación entre corrientes y tiempos, si no se especifica en otra forma, el fabricante debe considerar que está de acuerdo con la Ecuación 2.3.

$$\text{constante} = I^2 t \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Considerar que la corriente soportable de corto tiempo de un circuito es la corriente máxima (en valor eficaz) que puede soportar el propio circuito durante el corto tiempo prescrito, sin sufrir daño eléctrico, térmico, mecánico o deformación permanente.

2.9.5.3. Corriente soportable de cresta

El valor de la corriente soportable de cresta en los tableros Metal-Clad y tableros blindado

para subestación debe ser igual a 25 veces la corriente soportable de corto tiempo. La corriente soportable de un circuito de un tablero blindado de distribución de baja tensión, un centro de control de motores y un tablero de distribución de fuerza y alumbrado es el valor de la corriente que el circuito puede soportar bajo condiciones de prueba.

2.9.6. GRADOS DE PROTECCIÓN

Para tableros blindados (Metal-Clad) y tablero blindado para subestación el grado de protección debe especificarse separadamente para cubiertas y divisiones, es necesario especificar el grado de protección para cubiertas, el grado de protección se indica con un número característico de acuerdo con la Tabla 2.75.

El grado de protección existente en un tablero blindado de distribución de baja tensión, en un CCM y en un tablero de distribución de fuerza y alumbrado contra el contacto con partes vivas, la penetración de cuerpos sólidos y extraños así como líquidos, se indica en la Tabla 2.75.

2.9.7. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

2.9.7.1. Tablero blindado (Metal-Clad)

Capacidad interruptiva

Ésta podrá ser de 250 a 750 MVA y las características de los interruptores en aire para los tableros en media tensión se indican en la Tabla 2.76.

Tipo de servicio

Interior o intemperie con pasillo o sin pasillo.

Tipo de mecanismo de operación del interruptor principal

Podrá ser por medio de solenoide o energía almacenada.

Cables de fuerza

Éstos podrán entrar por la parte inferior del módulo y por la parte superior para módulos con interruptor de enlace.

Preparación de superficies y recubrimientos

El acabado de estructuras y gabinetes, consiste de epóxico catalizador, excepto que se indique otro color en la hoja de datos de la especificación.

Accesorios

Los tableros de mediana tensión podrán contar con los siguientes accesorios de acuerdo a las necesidades de operación:

1. Transformadores de corriente
2. Transformadores de potencial
3. Relevadores de protección
4. Instrumentos de medición
5. Indicadores, voltímetros y amperímetros
6. Conmutadores de instrumentos y prueba
7. Lámparas indicadoras
8. Resistencias tipo calefactoras de espacio y termostato

2.9.7.2. Tablero blindado para subestación compacta

Término genérico con que se designa al conjunto integrado en un gabinete metálico, totalmente cerrado, éstos se fabrican en secciones para facilitar su transporte y montaje, pero una vez instalados forman un solo conjunto. Cada sección llena una función, mide, protege, conecta o desconecta y transforma. Los aparatos o equipos y sus conexiones se encierran en gabinetes metálicos de tal manera que protegen a los equipos, la propiedad y a las personas encargadas de su manejo.

Tipo de servicio

Interior.- Para ser montados en el interior de un edificio, bajo un cobertizo sin que se vean afectados por la lluvia, la humedad o cualquier otro agente físico que la perjudiquen, se fabrican con lámina no menor de 2.1 mm (1/16") de espesor.

Exterior o intemperie; Para ser montadas a la intemperie, directamente sobre una cimentación de concreto y expuesta a la lluvia y al sol. Se fabrican con lámina no menor de 3.2 mm (1/8"), con techo inclinado, puertas con empaque de neopreno y sin dejar expuestos aparatos o elementos de control.

El tablero estará formado por gabinetes individuales integrando un arreglo de un solo frente. En la Tabla 2.77 y Tabla 2.78, se indican los componentes normales y opcionales de una subestación y las dimensiones de los gabinetes y transformadores.

Barras de tierra

Deberá llevar una barra de tierra de cobre de alta conductividad a todo lo largo del tablero con una capacidad del 25 % de las barras principales con zapatas del tipo mecánico con prisionero central.

Resistencias calefactoras

Para evitar condensación de la humedad dentro de los gabinetes, se deberán proporcionar resistencias calefactoras para servicio continuo con cubierta de acero inoxidable con tensión de operación de 127 V, 250 W, o 220 V, 300 W controlado por un termostato.

Barras principales

Las barras principales como las derivadas, serán de cobre electrolítico de alta conductividad. Las conexiones y uniones de barras principales y derivadas, se proporcionarán en la Tabla 2.79 donde se indican las características eléctricas principales de las subestaciones.

2.9.7.3. Tablero blindado en baja tensión

El tablero para baja tensión del tipo blindado, está formado por secciones rígidamente soldadas, autoportadas, unidas entre sí para formar ensambles, con interruptores del tipo electromagnético, montaje fijo o removible, tres polos, tiro sencillo, operación eléctrica o manual y mecanismo de energía almacenada. El tablero se fabrica para servicio interior o para servicio a intemperie. El tablero será diseñado en tal forma que pueda acoplarse en sus extremos con otras secciones del mismo tipo.

El tablero o secciones para su embarque, serán provistos de una base de canal estructural que per-

mite su instalación sobre canales. Esta estructura estará fabricada con perfiles de lámina de acero rolada en frío para lograr una alta resistencia mecánica.

La estructura deberá tener suficiente rigidez para soportar los esfuerzos mecánicos producidos por la corriente de cortocircuito, así como los esfuerzos ocasionados por la apertura y cierre de los interruptores.

Los compartimentos del tablero estarán contruidos de tal forma, que se encontrarán separados y aislados por barreras metálicas de acero para cada interruptor, instrumento y barras. Cada uno de los compartimentos de interruptor o instrumentos contará con una puerta frontal embisagrada con perillas moleteadas. En la parte posterior, se proporcionarán cubiertas desmontables atornilladas, para facilitar su acceso al compartimento de cables.

Capacidad interruptiva

La capacidad interruptiva es 85 kA (en sistemas a 480 V).

Barras y conexiones

Las barras principales y las derivadas serán de cobre electrolítico de alta conductividad y en capacidades de 800 a 4000 A. Las conexiones y uniones de barras principales y derivadas, serán plateadas y fijadas con tornillos.

Barra de tierra

La barra de tierra será de cobre electrolítico de alta conductividad en todo lo largo del tablero con una capacidad del 25 por ciento de las barras principales y zapatas del tipo

mecánico con prisionero central para calibres de conductores requeridos.

Soportes

Las barras serán soportadas por aisladores de porcelana o resina epóxica, con nivel de aislamiento y resistencia mecánica para soportar los esfuerzos causados por la corriente simétrica de cortocircuito.

Alambrado de control

El alambrado de control será con cable calibre 14 AWG con aislamiento retardante a la flama, con tensión máxima de operación de 600 V y temperatura máxima de operación de 90 grados centígrados.

Alambrado de dispositivos

Los dispositivos empleados para control, protección y medición montados en el tablero, serán alambrados entre sí mediante conductores provistos de zapatas terminales de compresión tipo ojillo y las puntas finales irán alambradas hasta las tablillas terminales.

Lámparas indicadoras

Lámpara piloto con protección de penetración de polvo y agua, tipo resistencia o transformador, con foco de 6 u 8 volts con capuchones en colores rojo, verde y ámbar según se requiera.

Conmutador de cierre-disparo de interruptor

Este conmutador será de tres posiciones, dos con contactos momentáneos, retorno automático y una con contacto sostenido, con capacidad continúa de 20 a 480 V.

Conmutador amperímetro-voltímetro

Estos conmutadores serán de cuatro posiciones, con contactos sostenidos traslapados, con capacidad de 10 a 480 V.

Placas de leyenda

Estas placas de leyenda serán de aluminio anodizado, fondo negro y letras blancas.

Transformadores de corriente y potencial

Serán del tipo seco, con aislamiento para 600 V.

Los transformadores de corriente serán del tipo ventana, se colocará uno en cada fase a la entrada de los interruptores principales o a la salida de los derivados. La relación, la clase y la potencia de precisión se darán de acuerdo a los requerimientos del diseñador. Los transformadores de potencial serán dos para cada alimentador principal, con fusibles en el primario y en el secundario. La relación, la clase y la potencia de precisión se darán de acuerdo a los requerimientos del diseñador.

Instrumentos de medición

Serán del tipo semiembutido para montarse en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior, con caja en color negro y caratula blanca con números negros, operarán con transformadores de corriente de 5 A en el secundario y de potencial de 120 V en el secundario.

Resistencias calefactoras

Para evitar condensaciones de la humedad dentro de los gabinetes, deberán colocarse resistencias calefactoras para servicio continuo con cubierta de acero inoxidable y tensión de opera-

ción de 127 V, 250 W, ò 220 V, 300 W controladas por termostato.

2.9.7.4.Tableros de distribución de corriente directa

1. Se requieren tableros de distribución de corriente directa de 125 V.c.d y 48 V.c.d, que sean entregados de acuerdo con estas especificaciones técnicas, fabricados con componentes eléctricos nuevos
2. Se emplearán para alimentar los circuitos de control y de fuerza (motores c.d., alumbrado de emergencia, equipo de comunicación, etc.), necesarios para la operación de la subestación
3. Los tableros de distribución de corriente directa serán construidos para ser instalados en interiores. Se utilizarán para suministrar los requerimientos de alimentación de corriente directa con una tensión nominal de 125 V.c.d y 48 V.c.d. Por lo tanto la clase de protección será IP54 según IEC 144 u otra equivalente
4. El sistema de corriente directa de la subestación (que por lo tanto incluye a los tableros de distribución de corriente directa de 125 V.c.d), deberá de ser aislado de tierra
5. El convertidor de 125 V.c.d/48 V.c.d solicitado en las especificaciones técnicas generales de tableros de distribución de corriente alterna, corriente directa y servicio propio para subestaciones, deberá instalarse en un tablero denominado de donde se distribuirá a todas las cargas correspondientes a través de interruptores termomagnéticos. En el tablero deberá existir un interruptor termomagnético de entrada, para interconectarlo con el tablero de distribución de 125 V c.d
6. Las barras conductoras serán de cobre electrolítico de alta conductividad, dispuesta en forma tal, que soporten los efectos térmicos y dinámicos que pueda producir el cortocircuito máximo. Las barras conductoras de cobre tendrán una capacidad nominal de 200 Amperios como mínimo
7. La tensión de aislamiento será para 600 volts como mínimo
8. Cada uno de los tableros de distribución de corriente directa se deberá de suministrar con el siguiente equipo:
 - a) Un relé de bajo voltaje, conectado entre las barras principales (en la acometida)
 - b) Un relé de supervisión de fallas a tierra, del positivo y del negativo
 - c) Un voltímetro de corriente directa
 - d) Interruptores bipolares, del tipo de caja moldeada, con unidades de activación termomagnético, y como mínimo con un contacto auxiliar de posición NA (normalmente abierto) y un contacto auxiliar de posición NC (normalmente cerrado), totalmente independientes entre sí, esto es, no se permite el uso de contactos de sobre cambio, también denominados de un polo-doble tiro
9. Los interruptores termomagnéticos deberán tener una capacidad mínima interruptiva de 10 kA
10. La cantidad y capacidad de los interruptores termomagnéticos en cada tablero de distribución, así como la disposición de éstos en cada tablero, se indicarán en el proyecto
- 11.Los relés solicitados (de bajo voltaje y de fallas a tierra) para cada tablero, incluirán como mínimo dos contactos independientes de doble polo doble tiro, esto es, 2 NC (normalmente cerrado) y

2 NA (normalmente abierto), los cuales se usarán para la indicación y la alarma de las fallas que supervisan. Todos estos contactos auxiliares (libres de potencial) deberán estar alambrados a bornes terminales de regleta

12. La construcción de todos los tableros será de tal manera que se ha de impedir el contacto accidental con las partes energizadas del tablero, como por ejemplo barras y bornes
13. Considerando lo anterior, para los tableros de distribución de corriente directa, las barras energizadas deberán cubrirse mediante láminas acrílicas transparentes, aislantes y apropiadas para este fin, de tal manera que éstas protejan a los operarios de inspección o mantenimiento de choques eléctricos o contactos accidentales

2.9.7.5. Centro de control de motores

Gabinete que tiene por objeto montar los dispositivos de control y protección de varios motores, formado por secciones rígidamente soldadas, auto-soportadas, unidas entre sí para formar ensambles, las estructuras tienen 228 cm. de alto, 55 cm. de ancho y 50 cm. de fondo, cada sección tiene un máximo de seis compartimentos para controlar motores de 15 h.p a 220 V o de 25 h.p en 480 V, cada uno de estos compartimentos son cajas (sille-tas) que pueden enchufarse y extraerse para modificación o mantenimiento.

El centro de control de motores se fabrica para servicio interior o intemperie. El diseño contempla que puede acoplarse en sus extremos con otras secciones del mismo tipo, en el frente llevan puertas para permitir el acceso al equipo para su conexión y servicio, varias secciones colocadas una al lado de otra (o espalda con es-

palda) forman un conjunto de frente muerto. El ensamble del centro de control de motores deberá tener suficiente rigidez para soportar los esfuerzos mecánicos producidos por la corriente de cortocircuito, así como los esfuerzos normales de operación y de montaje.

Capacidad interruptiva

La Capacidad interruptiva es 22 kA.

Barras colectoras principales

Para la distribución de la energía se deberán usar un juego de barras con capacidad de 300 amperes como mínimo, y en centros de control de motores de doble frente la capacidad mínima de las barras verticales será incrementada a 600 amperes.

Barras de bus horizontal

Cada compartimento vertical y ducto de alambrado se encuentra aislado de las barras horizontales por medio de barretas metálicas.

Ducto vertical de alambrado

El ducto de alambrado de 111 mm de ancho interior entre unidades removibles adyacentes, además abarca todo el fondo de la estructura.

Ducto horizontal de alambrado

Espacios de 229 mm en las partes superior e inferior de la estructura suministran los ductos necesarios para el alambrado entre las secciones.

Cables de entrada

Los cables de alimentación pueden entrar por la parte superior o inferior del centro de control y

pueden ser conectados fácilmente a las zapatas montadas en las barras o al interruptor principal.

Espacios libres para recibir tubos conduit

El diseño de la estructura con armazón abierta, proporciona máximo espacio para la entrada de tubos conduit, en la parte superior o inferior de la misma.

Unidad removible

El centro de control de motores aloja arrancadores hasta el tamaño NEMA 5. Cada unidad está completamente aislada de las unidades adyacentes. Los interiores de las unidades están cerrados excepto en un espacio cerca del fondo de la unidad que sirve para la entrada y salida de los cables que van al ducto vertical de alambrado. Las conexiones al bus vertical son hechas mediante contactos deslizantes. Los espacios mínimos necesarios ocupados por las diferentes combinaciones de las unidades removibles en CCM se muestran en la Tabla 2.80.

Componentes de la unidad removible

Cada unidad removible de arrancador o combinación está equipada con un interruptor de caja moldeada termomagnético, que es operado por una manija que va montada sobre el mismo interruptor.

Los arrancadores estándar están equipados con relevadores de sobrecarga en 2 polos, con reposición manual o automática.

Cada arrancador lleva su propio contacto de sello para el circuito de la bobina, transformador de control y opcionalmente contactos auxiliares.

Las corrientes y capacidades máximas para arrancadores así como sus combinaciones de interruptores y arrancadores para motores trifásicos se muestran en la Tabla 2.81 y Tabla 2.82.

Mecanismo de operación

Una manija de movimiento vertical de posiciones indica las posiciones de cerrado, abierto o activación (disparo) del interruptor, cuenta con un mecanismo de candado que hace posible asegurar el interruptor en las posiciones de abierto o cerrado.

Transformador de control

Tipo encapsulado de 180/120 V.c.a. 60 Hz, con portafusibles de 600 V y fusibles de 30 A en lado primario y 10 A en lado secundario.

Lámparas indicadoras

Estas lámparas deben cumplir con lo siguiente:

- a) Tensión nominal 120 V. en c.a
- b) Tipo transformador o resistencia
- c) Focos de 6 V
- d) Capuchones desmontables rojo, verde y blanco

Estación de botones

Estas estaciones deben cumplir con lo siguiente:

- a) Contacto momentáneo 600 V c.a. y 100 A. momentáneos, 30 A. interruptivos, 3 A. continuos, en 120 V en c.a
- b) Para arrancador no reversible: arrancar-parar
- c) Para arrancador reversible: adelante, atrás y parar

Resistencias tipo calefactoras de espacio y termostato

- a) Tensión de alimentación 127 o 220 V en c.a
- b) Potencia 150 o 220 watts
- c) Protección mecánica rejilla metálica
- d) Control por termostato automático con temperatura ajustada entre 15 y 30 grados centígrados
- e) Protección por fusibles del tipo cartucho

Placas de identificación

Cada tablero contará con una placa de identificación, la cual será de aluminio anodizada, fondo negro y letras blancas.

Instrumentos de medición

Serán del tipo Semi-embutido para montarse en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior y podrán operar con transformadores de corriente de 5 A en el secundario y de potencial de 120 V en el secundario.

Transformadores de corriente y potencial

Estos serán del tipo seco, con aislamiento para 600 V. la relación, la clase y la precisión se darán de acuerdo a los requerimientos de diseño.

2.9.7.6. Tablero de distribución de fuerza y alumbrado

Los tableros de distribución y alumbrado del tipo autosoportado o sobrepuesto suministran amplias posibilidades de aplicación en sistemas de distri-

bución de baja tensión. Están disponibles con una amplia gama de interruptores y gabinetes.

Los interruptores se montan horizontalmente y se conectan a las barras principales por medio de conectores. El conjunto de interruptores y barras eléctricamente unidos van instalados en un solo ensamble o frente que se integra al gabinete.

El gabinete tiene una estructura firme, y cubiertas atornilladas que se desmontan con facilidad para mayor facilidad de acceso durante el montaje o mantenimiento.

Estos tableros pueden llevar equipo de medición opcional como son: Amperímetro, voltímetro, conmutadores de fases con transformadores de potencial y corriente.

Los tableros de baja tensión se pueden fabricar como se describe a continuación:

- a) Tablero de frente vivo: Es aquel que tiene partes vivas expuestas en el frente
- b) Tablero de frente muerto: Es aquel donde las partes vivas no están expuestas en el frente
- c) Tablero cerrado: Es aquel con el frente muerto que tiene una cubierta metálica que cubre totalmente el ensamble. El acceso al interior del tablero es a través de puertas o cubiertas

Capacidad interruptiva

- 65 kA simétricos, a 240 V en c.a.
- 35 a 51 kA simétricos, a 480 V en c.a.

Sistema

- 3 fases; 3 hilos
- 3 fases; 4 hilos

Barras colectoras principales

Para la distribución de energía se deberán usar un juego de barras con capacidad en amperes de: 600, 800, 1200, 2 000, 1 600.

Alimentación

La alimentación se puede hacer a través de zapatas o interruptor principal.

Construcción de gabinete

Este tablero se construye en gabinete NEMA 1 como equipo estándar.

Interruptores derivados

Las capacidades de los interruptores derivados deberán ser de:

10 a 1200 A. estos y otros valores se indican en la Tabla 2.83 y Tabla 2.84.

Instrumentos de medición

Serán del tipo semi-embutido para montaje en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior, con caja en color negro y carátula blanca con números negros. Operarán con transformadores de corriente de 5 A. en el secundario y de potencial de 120 V. en el secundario.

Placas de leyenda

Estas placas de leyenda serán de aluminio anodi-

zado, fondo negro y letras blancas.

2.9.7.7. Tableros de protección, control y medición para subestaciones eléctricas

Para este apartado se toma como referencia la norma CFE V6700-62, la cual aplica para tableros de protección, control y medición que sean instalados en subestaciones eléctricas de transmisión y distribución.

La identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores se presenta en la Tabla 2.85. La nomenclatura de la Tabla 2.86 y Tabla 2.87 se utiliza para identificar el arreglo de barras de la subestación donde se va a instalar la sección tipo y forma parte del nombre asignado para la descripción del mismo. Por su parte la Tabla 2.88 muestra la identificación por equipo de monitoreo y medición; la Tabla 2.89 muestra la identificación por tipo de construcción. Se debe contar con la medición de: valores instantáneos de tensión (V), corriente (A), potencia activa (MW), potencia reactiva (Mvar) y frecuencia (Hz); valores integrados de energía activa (MWh) y energía reactiva (MVARh) y cuando se indique en Características Particulares, el registro de “sags” y “swells”.

2.9.8. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones que se consideran normales para la operación de los tableros y que se tendrán en cuenta para el diseño y construcción de los mismos serán las siguientes:

2.9.8.1. Elevación de temperatura

En los tableros Metal-Clad y tableros blindados

para subestación la elevación de temperatura sobre el ambiente en condiciones normales de servicio de cualquier componente contenido en un tablero no debe exceder los límites de elevación de temperatura prescritos en la especificación relativa a ese componente, los cuales estén referidos a la temperatura del aire ambiente. Los límites de elevación de temperatura no deben excederse de los datos de la Tabla 2.90, para tableros blindados de distribución en baja tensión, en los centros de control de motores y en los tableros de distribución de fuerza y alumbrado.

2.9.8.2.Temperatura ambiente

En tableros blindados (Metal-Clad) y en tableros blindados para subestación la temperatura del aire ambiente no excederá de 40 grados centígrados y su valor promedio medido en un período de 24 horas, no excederá de 35 grados centígrados. Para los tableros blindados de distribución en baja tensión, los centros de control de motores y los tableros de distribución de fuerza y alumbrado, los valores de temperatura ambiente no deben exceder de +10°C, y el promedio sobre un período de 24 horas, no debe ser mayor de +55°C.

2.9.8.3.Temperatura mínima

La temperatura mínima del aire ambiente no será inferior a:

- Para instalación en interior a -5 °C
- Para instalación a la intemperie a -25 °C

2.9.8.4.Altitud

En los tableros blindados (Metal-Clad) y tableros blindados para subestación la altitud no excederá de 1 000 m. Al seleccionar tableros para altitudes que excedan de 1 000 m debe consultarse la Tabla 2.91, para el caso de tableros que tengan partes aisladas por aire a la presión atmosférica.

En los tableros blindados para distribución en baja tensión, los centros de control de motores y los tableros para distribución de fuerza y alumbrado los valores de altitud se indican de igual forma en la Tabla 2.91.

2.9.8.5.Atmósfera contaminada

Es la mezcla de aire y vapores o gases de aire y polvos o fibras combustibles en proporciones tales que en contacto con energía calorífica, ocasionan una explosión o fuego.

2.9.8.6.Exposición al calor y clima húmedo

Para instalación intemperie, el fabricante debe tomar en cuenta la presencia de condensación, lluvia, nieve, una capa de hielo o escarcha hasta de 5 kg/m², cambio rápido de temperatura, presión del viento de 700 PA (71.4 kg/m²) y los efectos de la radiación solar.

2.9.8.7.Instalación de gabinetes de acuerdo a la designación de NOM

En los tableros blindados (Metal-Clad) y los tableros blindados para subestación, la descripción sim-

plificada de los diferentes tipos de caja o gabinete según designaciones NOM, con el fin de proteger el equipo eléctrico alojado en los mismos, contra las condiciones externas y con objeto de prevenir a las personas de contacto accidental con partes vivas, se muestran a continuación y serán seleccionados de acuerdo a las necesidades de instalación en la Tabla 2.92 y Tabla 2.93.

2.9.8.8. Recomendaciones

La selección de tableros para mediana y baja tensión debe hacerse cuidadosamente, pues se trata de adquirir equipo cuya mano de obra en la instalación de los mismos sea lo más económica, rápida y fácil, no obstante ello, estos tableros requieren de precauciones especiales, para su manejo, instalación y operación, para lo cual recomendamos escoger una marca acreditada, que entregue esta clase de tableros con una construcción provista de seguridad sobre todo rigidez en la estructura metálica, ya que vienen provistos con dispositivos de protección, medición, control y transformadores para medición y control.

Una recomendación más es la de capacitar al personal que va a operar estos tableros, todas las partes de su funcionamiento y forma de operar para evitar posibles fallas en el sistema.

Si los tableros incluyen relevadores, quite los blocks de las armaduras, verifique los circuitos de control (excepto los circuitos de los transformadores de potencial y de corriente) para asegurarse que no hay conexiones a tierra o cables deteriorados que puedan provocar un corto circuito antes de energizarlos. No trabaje con partes vivas. Si fuera necesario trabajar en algún circuito en el compartimiento posterior de cables, deberá energizarse el bus principal

y verificar que no haya retroalimentación de otras fuentes. Si esto no fuera posible, únicamente deberán quitarse las cubiertas posteriores del compartimiento en cuestión, cubriendo las partes vivas con material aislante adecuado. Si un tablero para servicio intemperie tiene que alimentarse antes de su instalación, deberán tomarse providencias para energizar las resistencias y controlar la condensación de humedad dentro del tablero. Si un tablero para servicio interior se tiene que almacenar antes de instalarlo, deberá protegerse contra la humedad, bajo techo y mantenerse libre de condensación. En el manejo de los tableros (aunque estén empacados) se deberá tener cuidado, ya que contienen relevadores e instrumentos delicados que podrían dañarse con un manejo rudo.

2.9.9. TABLEROS DE TRASFERENCIA

El tablero de transferencia está diseñado para operar en forma continua para alimentar la carga o cargas conectadas a la unidad básica de transferencia ya sea por el lado de la red (fuente normal) o por el lado de respaldo con la Planta eléctrica de emergencia.

El tablero está conformado por una unidad básica de transferencia tipo contactores, con contactos auxiliares para tener bloqueo de tipo eléctrico y con enclavamiento mecánico que impide que ambas fuentes cierren al mismo tiempo.

Entradas digitales totalmente programables:

- Parada de Emergencia
- Arranque Remoto
- Sobrecarga Generador
- Contactor de Red
- Contactor de Generador

Entradas análogas:

- Temperatura del Motor
- Presión de Aceite
- Nivel de Combustible
- Entradas para tensión de Red
- Entradas para tensión de Generador

Funciones de los tableros de transferencia automática:

- Sensar el voltaje de alimentación
- Dar la señal de arranque a la planta cuando el voltaje falta, baja o sube de un nivel adecuado
- Realizar la transferencia de la carga de la red comercial a la planta y viceversa. (Esta función se realiza a través de la unidad de fuerza, que puede ser del tipo contactores o interruptores, según la capacidad requerida)
- Dar la señal a la unidad de fuerza para que haga el cambio cuando se normaliza la alimentación (retransferencia)
- Retardar la retransferencia para dar tiempo a la compañía suministradora de normalizar su alimentación
- Retardar la señal de paro al motor para lograr su enfriamiento
- Mandar la señal de paro al motor a través del control maestro
- Mantener cargado el acumulador
- Permitir un simulacro de falla de la compañía suministradora

2.9.10. VARIADORES E INVERSORES

Los convertidores de frecuencia son equipos destinados al control de velocidad de motores

eléctricos de inducción trifásicos, para una amplia gama de aplicaciones industriales. Con tecnología de última generación y diseño moderno, permiten una fácil instalación/operación y se adaptan perfectamente a las necesidades de los accionamientos con una excelente relación costo-beneficio.

Estos equipos en su actualidad han sido proyectados con software de última generación lo que permite equipos optimizados y una excelente interactividad con el usuario a través de la HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Además disponen de funciones y recursos especiales que permiten protección y control (velocidad, par o posición) de los motores eléctricos y proporcionan aumento de eficiencia / productividad de los sistemas, en la Ilustración 2.32 se muestra un variador de velocidad

2.10. SELECCIÓN DE CONDUCTORES⁹

Para la selección adecuada de un conductor es necesario considerar los siguientes factores ver Ilustración 2.33 e Ilustración 2.34.

⁹ Fuente: ACS = International Annealed Copper Estándar, NOM-001-SEDE

Nota Importante:

Es importante recordar que para la selección, mantenimiento e instalación de las especificaciones de variadores e inversores se requiere totalmente los manuales de patente de fabricante.

Ilustración 2.32 Variador de velocidad



Tabla 2.71 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica americana

Tensión nominal (valor eficaz) kV	Tensión nominal (valor eficaz) kV	Tensión soportable de impulso (1.2/50 μ S) (valor de cresta) kV		Tensión soportable sostenida (1min, 60hz) (valor eficaz) kV	
		A tierra y entre fases	A través de la distancia de seccionamiento	A tierra y entre fases	A través de la distancia de seccionamiento
4.16	4.76	60	66	19	21
7.2	8.25	75	83	26	29
13.8	15.0	95	105	36	40
23.	25.8	125	138	60	66
34.5	38.0	150	165	80	88

Nota: Estos valores se aplican a condiciones atmosféricas normales como:

Temperatura ambiente 25°C, Presión atmosférica 760 mm de Hg. Humedad de 1g/m³.

Los valores de tensión nominal de los tableros de baja tensión blindados deben ser los que se indican a continuación: 240 V; 110 V

Los valores de tensión nominal de los centros de control de motores deben ser los que se indican a continuación: 220V; 110V

Los valores de tensión nominal de los tableros de distribución de fuerza y alumbrado deben ser los que se indican a continuación: 2240 V.c.a.; 48 V.c.d., 600 V.c.a.; 250 V.c.d.

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.72 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica europea

Tensión nominal (valor eficaz) kV	Tensión máxima (valor eficaz) k	Tensión soportable de impulso (1.2/50 μ S) (valor de cresta) kV		Tensión soportable sostenida (1min, 60 Hz.) (valor eficaz) kV	
		A tierra y entre fases	A través de la distancia de seccionamiento	A tierra y entre fases	A través de la distancia de seccionamiento
3.3	3.6	40	46	10	12
6.6	7.2	60	70	20	23
15	17.5	95	110	338	45
22	24	125	145	50	60
33	36	170	195	70	80

Nota: Estos valores se aplican a condiciones atmosféricas normales como: Temperatura ambiente 25°C, Presión atmosférica 760 mm de Hg, Humedad de 1 g/m³

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.73 Tensiones nominales, niveles de aislamiento y valores de prueba dieléctrica para tableros de 15 kV a 38 kV

Tensión nominal de control	Corriente nominal (A)	Corriente nominal de corto circuito (A)	Tensión de aguante a 60 Hz (kV)	Nivel básico de aislamiento al impulso
15	1 250 2 000	25; 31.5 y 40	35	95
25.8	2 000	25 y 31.5	50	125
38	1250	25 y 31.5	70	170

Fuente: NFR-030-CFE

Tabla 2.74 Valores nominales de corriente en barras colectoras y alimentadores

Corrientes nominales para alimentadores o barras colectoras (amperes)		
400	1 200	3 000
600	1 250	3 150
630	1 600	4 000
800	2 000	5 000
100	2 500	-

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.75 Grados de protección

Segundo número característico	Grado de protección	
	Breve descripción	Definición
0	No protegido	Sin protección especial
1	Protegido contra el goteo de agua	El goteo de agua en forma vertical, no debe tener efecto perjudicial
3	Protegido contra la lluvia	Agua que cae en forma rociada en un ángulo de hasta 60° respecto de la vertical, no debe tener efecto perjudicial
4	Protegido contra salpicaduras	Agua dirigida contra la envolvente en forma de salpicaduras, en todas direcciones, no debe tener efecto perjudicial

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.76 Características de selección de cortocircuitos en aire para tableros en media tensión

Identificación		Valores nominales						Capacidades requeridas							
Clase de tensión nominal	Clase nominal MVA 3 fases	Tensión		Nivel de aislamiento		Corriente		Tiempo	Retardo	Tensión	Valores de corriente				
		Tensión máxima nominal	Factor de rango de tensión máxima	Baja frecuencia	Impulso	Corriente nominal continua	Corriente nominal de corto circuito (a máx. kV nominales)				Capacidad interruptiva	Capacidad de conducción tiempo cortó 3 s	Capacidad momentánea cerrar trabar	Peso Kg	
Clase kV	Clase MVA	E kV rmc	k	kV rmc	kV rmc	Amp.	kA rmc	Ciclos	en segundos	E/K kV rmc	kA rmc	kA rmc	kA rmc		
4.16	250	4.76	1.24	19	60	2 000	29	5	2	3.85	36	36	36	58	335
						1 200								78	343
						2 000									
						1 200									
7.2	350		1.19			2 000	41			40	49	49	49	78	513
						3 000									625
						1 200									
						2 000									
7.2	500	8.25	1.25	36	95	2 000	33	5	2	6.6	41	41	41	66	658
						1 200								37	636
						2 000	18							58	640
						1 200									
13.8	500					2 000									
						1 200									
						2 000	28	5	2	11.5	36	36	36	58	720
						1 200								77	728
						2 000									

Tabla 2.77 Componentes normales y opcionales de una subestación compacta

Componente	Especificaciones		Gabinete
	Normal	Opcional	
Acometida	Para conexión y medición de la Cía. de Luz	Apartarrayos mufa pasamuros	A
Verificación de medidores	Para poder comprobar, a solicitud del cliente, los medidores sin interrumpir el servicio	Aparatos de medición Transformadores de potencial y corriente	B
Interruptor	Interruptor en aire, apertura con carga, fusibles de ACI., operación manual	Interruptor en aceite Operación eléctrica Operación por elevadores	C
Desconectadores	Desconectador en aire, tripolar, operación manual	Cuchillas desconectoras, operación por pértiga	D
Fusibles	Fusibles de alta capacidad interruptiva (ACI) operación manual por pértiga	Fusibles de baja capacidad interruptiva Operación por pértiga	E
Espacio	Gabinete que se deja libre para futura ampliación o para permitir una adecuada separación de los transformadores	Especificar el equipo	F
Transformador	Trifásico, enfriamiento por aceite, 4 derivaciones de 2.5%, elevación de temperatura 55/40°C a 1 000 m.s.n.m. ductos laterales	Tipo seco Contactos para señales Ventilación forzada	T

Tabla 2.78 Dimensiones de los gabinetes y transformadores

Gabinete	Dimensiones en centímetros					
	2.4 a 15 kV			Hasta 25 kV		
	A alto	B ancho	C fondo	A alto	B ancho	C fondo
A	240	110	120	260	260	200
B	240	150	120	260	150	200
C	240	130	120	260	150	200
D	240	110	120	260	150	200
E	240	110	120	260	150	200
F	240	Variable	120	260	150	200
Transformadores						
45-112.5 kVA máximo	150	145	145	200	150	170
150-500 kVA máximo	170	160	225	200	170	240
750-1000 kVA máximo	180	180	260	200	190	260

Tabla 2.79 Características eléctricas principales de las subestaciones compactas

kVA	Transformador		Interruptor		Barras
	kV	Amp	MVA	Amp Fusible	Amp
50	2.4	13	100	25	
	4.16	11	100	25	
	6	5	150	10	400
	13.2	2	150	6	
	23	1	1000	4	
75	2.4	18	100	40	
	4.16	10	100	25	
	6	7	150	16	400
	13.2	3	150	6	
	23	2	1 000	4	
112.5	2.4	27	100	63	
	4.16	16	100	40	
	6	11	150	25	400
	13.2	5	150	10	
	23	3	1 000	6	
	2.4	36	100	63	
	4.16	21	100	40	
150	6	15	150	40	400
	13.2	7	150	16	
	23	4	1 000	10	
225	2.4	54	100	100	
	4.16	31	100	63	
	6	22	150	40	400
	13.2	10	150	25	
	23	6	1 000	16	
300	2.4	72	100	100	
	4.16	42	100	100	
	6	29	150	63	600
	13.2	13	150	25	
	23	8	1 000	16	
500	6	48	150	100	
	13.2	22	150	40	600
	23	13	1 000	25	
750	6	72	150	100	
	13.2	33	150	63	600
	23	19	1 000	40	
1 000	6	96	150	160	
	13.2	44	150	100	600
	23	25	1 000	63	

Tabla 2.80 Espacios mínimos necesarios ocupados por diferentes combinaciones de equipo en cm

Equipo	Tamaño	Capacidades máximas		Espacios frontales		
		220 V	480 V	Ancho cm	Espacio cm	Alto cm
Interruptor T.M.		100A	100A	55	1	32
		225A	225A	55	2	64
	x	400A	400A	55	2	64
	x	600A	600A	55	2	64
	x	800A	800A	55	2	64
	x	1 000A	1000A	55	2	64
Combinación Tensión Completa Arrancador Interruptor	1	7 ½ h.p.	10 h.p.	55	1	32
	2	15 h.p.	25 h.p.	55	1	32
	3	30 h.p.	50 h.p.	55	2	64
	4	50 h.p.	100 h.p.	55	3	96
	5x	100 h.p.	200 h.p.	55	4	128
Combinación Reversible Arrancador Interruptor	1	7 ½ h.p.	10 h.p.	55	2	64
	2	15h.p.	25 h.p.	55	3	96
	3	30 h.p.	50 h.p.	55	4	128
	4	50 h.p.	100 h.p.	55	4	128
	5x	100 h.p.	200 h.p.	55	6	192
Combinación Tensión Reducida Arrancador Interruptor	2X	15 h.p.	25 h.p.	55	4	128
	3X	30 h.p.	50 h.p.	55	5	160
	4X	50 h.p.	100 h.p.	55	5	192
	5X	100 h.p.	200 h.p.	55	6	192

Tabla 2.81 Corrientes y capacidades máximas para arrancadores utilizados en cm, según designación NEMA

Tamaño Nema	Amperes 8 horas	h.p.. máx. Motores trifásicos	
		220 v	460 v
00		1 ½	2
0	15	3	5
1	25	7 ½	10
2	50	15	25
3	100	30	50
4	150	50	100
5	300	100	200

NOTA: Aplica principalmente para motores de una sola velocidad tipo jaula de ardilla y arranque a tensión completa.

Tabla 2.82 Tamaños combinados de interruptores y arrancadores para motores trifásicos, empleados

Capacidad máxima		Corriente normal en amperes	Interruptor en amperes	Arrancador tamaño	Conductor TW (AWG o MCM)
h.p.	V				
1/4	220	1	15	00	14
1/2	220	2	15	00	14
3/4	220	2.8	15	00	14
1	220	3.5	15	00	14
	480	1.8	15	00	14
1 1/2	220	5	15	00	14
	460	2.5	15	00	14
2	220	6.5	20	00	14
	480	3.3	15	00	14
3	220	9	30	0	14
	480	4.5	15	0	14
5	220	15	30	1	12
	480	7.5	20	0	14
7 1/2	220	22	50	1	10
	480	11	20	1	14
10	220	27	50	2	10
	480	14	30	1	12
15	220	40	70	2	8
	480	20	30	2	10
20	220	52	100	3	6
	480	26	50	2	8
25	220	64	100	3	4
	480	32	50	2	8
30	220	78	125	3	2
	480	39	70	3	8
40	220	104	200	4	0
	480	52	100	3	6
50	220	125	200	4	0
	480	63	100	3	4
60	220	150	225	5	3/0
	480	75	125	4	2
75	220	185	300	5	4/0
	480	93	150	4	2
100	220	246	400	5	300
	480	123	200	4	0
125	220	310	400		
	480	155	225	5	3/0
150	220	360	600		
	480	180	300	5	4/0
200	220	480	800		
	480	240	400	5	300

Tabla 2.83 Datos de aplicación de interruptores electromagnéticos

Tensión en C.A.	Rango de corrientes de activación (disparo)	Capacidad interruptiva simétrica amperes	Corriente máxima de corto circuito en la que el cortacircuitos puede ser aplicado cuando se suministre con tiempo diferido corto
481 a 600	50-800	22 000	22 000
	50-1 600	42 000	42 000
	1 000-2 000	42 000	42 000
	1 200-3 200	50 000	50 000
	1 200-3 200	65 000	65 000
481 a 480	50-800	30 000	30 000
	50-1600	50 000	50 000
	1 000-2 000	50 000	50 000
	1 200-3 200	50 000	50 000
	1 200-3 200	65 000	65 000
240 o menos	50-800	42 000	30 000
	50-1 600	65 000	50 000
	1 000-2 000	65 000	50 000
	1 200-3 200	85 000	50 000
	1 200-3 200		85 000

Tabla 2.84 Características de interruptores para tableros de alumbrado y distribución

No. de Polos	Rango de Capacidades	Capacidad interruptiva de corto circuito amp.-rnc simétricos.											
		V.c.a.							V.c.d.				
		120	120/240	240	277	480/277	480	600	48	125	250	500	
1	10-70	10k	10k							5k			
2	10-125	10k	10k							5k			
3	10-100	10k	10k	10k						5k			
1	15-30	10k											
2	15-60	10k	10k										
2	100-225	10k	10k										
3	100-225	10k	10k	10k									
2	250-400	25k	25k	25k									
3	250-400	25k	25k	25k									
1	15-30	18k	14k	14k	14k								
1	15-100	10k	10k										
2	15-100	10k	10k	10k									
3	15-100	10k	10k	10k									
1	15-100	25k	25k	18k	18k	18k				10k			
2	15-100	25k	25k	25k		18k	18k				10k		
3	15-100	25k	25k	25k		18k	18k				10k		
2	15-100	25k	25k	25k		18k	18k	14k		10k			
3	15-100	25k	25k	25k		18k	18k	14k		10k	10k		
1	15-30	65k	65k	65k	65k	65k				10k			
1	35-100	65k	65k	25k	25k	25k				10k	10k		
2, 3	15-100	65k	65k	65k		25k	25k	18k					
2, 3	70-250	42k	42k	42k		25k	25k	22k		10k	10k		
2, 3	70-250	65k	65k	65k		35k	35k	25k					
2, 3	125-400	42k	42k	42k		30k	30k	22k		10k	10k		
2, 3	125-400	65k	65k	65k		35k	35k	35k	25k				
2, 3	300-1 000	42k	42k	42k		30k	30k	22k		14k	14k		
2, 3	300-800	42k	42k	42k		30k	30k	22k		14k	14k		
2, 3	300-1 000	65k	65k	65k		65k	65k	25k					
2, 3	300-800	65k	65k	65k		65k	65k	25k		14k	14k		
2, 3	600-1 200	100k	100k	100k		50k	50k	25k					
2, 3	600-1 200	125k	125k	125k		100k	100k	65k					
2, 3	600-2 000	65k		65k	50k	50k	50k	42k					

Tabla 2.85 Tensiones de operación

Nomenclatura	Aplicación
5	Tensiones de 44 kV y menores
7	Tensiones mayores de 44 kV y hasta 161 kV.
9	Tensiones mayores de 161 kV y hasta 230 kV.
A	Tensiones de 400 kV y mayores

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.86 Identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores

Nomenclatura "ANSI"	Protección primaria
50	Sobrecorriente instantánea
51	Sobrecorriente temporizado
67	Sobrecorriente direccional
21	Distancia
85	Comparación direccional
87L	Diferencial de línea

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.87 Identificación por Arreglo de Barras

Nomenclatura	Aplicación
IM	Para arreglos de interruptor y medio
DI	Para arreglos de doble interruptor
PA	Para arreglos con barra principal y auxiliar
PT	Para arreglos con barra principal y transferencia
AN	Para arreglos de conexión en anillo
BS	Para arreglo de barra sencilla
AD	Para arreglos de alimentadores de distribución
TB	Para arreglos de tres barras: barra 1, barra 2 y barra de transferencia

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.88 Identificación por equipo de Monitoreo y Medición

Nomenclatura	Aplicación
RD	Registrador de disturbios
MM	Medidores multifunción

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.89 Identificación por tipo de construcción

Nomenclatura	Aplicación
IN	Integral
ID	Integrada para distribución
SX	Simplex
DX	Duplex

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.90 Límites de elevación de temperatura

Partes del TEEF	Elevación de temperatura (°C)
Aparatos instalados en el TEEF	De acuerdo a las especificaciones aplicadas a estos aparatos
Terminales para conductores aislados externos	70 ⁽¹⁾
Barras colectoras y conductores de Cu y Al	Limitadas por esfuerzos mecánicos de material conductor. Efectos posibles sobre equipo adyacente Límite de temperatura permisible del material aislante en contacto con el conductor El efecto de la temperatura de los conductores sobre los aparatos conectados a ellos
Medios de operación manual:	
de metal	15 ⁽²⁾
de material aislante	25
Gabinetes y tapas de acceso externo:	
Superficies metálicas	30 ⁽³⁾
Superficies aislantes	40

NOTA:

- 1) El límite de 70°C de elevación de temperatura es un valor basado en la prueba convencional. Un TEEF que es usado o probado bajo sus propias condiciones de servicio puede tener conexiones en las cuales el tipo, la naturaleza y disposición de ellas no sean iguales a las que han sido adoptadas para la prueba y resultar probablemente un aumento de temperatura diferente en las terminales el cual puede aceptarse así
- 2) Los medios de operación manual dentro de un TEEF que sean accesibles después de haber abierto éste, por ejemplo: manijas operadas esporádicamente, pueden tener elevaciones de temperatura mayores
- 3) A menos que se especifique en otra forma, en los casos de tapas y gabinetes accesibles pero que no necesariamente se tocan durante las operaciones normales, es permitido un aumento de 10°C sobre el límite de elevación de temperatura

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.91 Factores de corrección por altitud

Tipos de tableros	Altitud m.s.n.m.	Factores de corrección	
		Tensión	Corriente
Tableros de baja tensión	2000 (o menos)	1.00	1.00
	2 600	0.95	0.99
	3 900	0.80	0.96
Tableros de media tensión	1 000	1.00	1.00
	1 500	0.95	0.99
	3 000	0.80	0.96

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.92 Descripción de diferentes tipos de cajas y gabinetes designación NOM

Tipo de caja o gabinete	Condiciones externas de uso
Tipo 1	Usos Generales.- Diseñado para uso en interiores, en áreas donde no existen condiciones especiales de servicio y para proteger el contacto accidental de personas con el equipo protegido.
Tipo 2	A prueba de goteo.- Diseñado para uso en interiores, proteger el equipo contra goteo de líquidos no corrosivos y contra la salpicadura de lodos.
Tipo 3	Para servicio intemperie.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra tolveneras y aire húmedo. Gabinete metálico resistente a la corrosión.
Tipo 3R o 3LL	A prueba de lluvia.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra la lluvia. Gabinete metálico resistente a la corrosión.
Tipo 4	Hermético al agua y al polvo.- Diseñado para equipo expuesto directamente a severas condensaciones externas, salpicaduras de agua o chorro de manguera.
Tipo 4X	Hermético al agua, polvo y resistente a la corrosión.- Debe cumplir con los mismos requisitos que se indican para gabinetes tipo 4, y además ser resistentes a la corrosión (con acabado especial para resistir corrosión o gabinete hecho de poliéster).
Tipo 5	Hermético al polvo.- Este tipo de gabinetes será remplazado por el tipo 12 (según NEMA).
Tipo 6	Sumergible, hermético al agua y al polvo.- Diseñado para uso en interiores y exteriores, en caso de inmersión ocasional, caída de chorros directos de agua, polvos o pelusas.
Tipo 7	A prueba de gases explosivos (equipo encerrado en aire).- Diseñado para uso en atmósferas peligrosas clase 1 grupos B, C o D, y soportar una explosión interna sin causar peligros externos.
Tipo 8	A prueba de gases explosivos (equipo encerrado en aceite).- Diseñado por el mismo fin que el Tipo 7 pero su equipo trabaja sumergido en aceite y evitar cualquier posibilidad de chispas que se produzcan, arriba del aceite.
Tipo 9	A prueba de polvos explosivos (equipo encerrado en aire).- Diseñado para uso en atmósferas peligrosas clase II grupos E, F y G, y evitar el ingreso de cantidades peligrosas de polvos explosivos.
Tipo 10	Para uso en minas.- Diseñado para uso en minas, cumpliendo los requisitos para atmósferas que contienen mezclas de metano y aire. Gabinete a prueba de explosión con juntas y seguros adecuados.
Tipo 11	Resistente a la corrosión (Equipo encerrado en aceite).- Diseñado para proteger el equipo contra condensaciones externas de líquidos corrosivos, humos y gases corrosivos. Gabinete resistente a la corrosión.
Tipo 12	Uso industrial, hermético al polvo y al goteo.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra fibras, insectos, pelusas, polvos, salpicaduras ligeras, goteos y condensaciones externas de líquidos.
Tipo 13	Uso industrial, hermético al aceite y al polvo.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra aceites, líquidos refrigerantes y polvos. Principalmente en gabinetes de dispositivos piloto para máquinas herramienta.

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.93 Equivalencias entre gabinetes

Designación	Observaciones
IPOO	Sin protección
IP 02	Sin protección contra contacto y cuerpos extraños y protección contra gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical
IP 11	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua verticales
IP 12	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical
IP 13	Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical
IP 21	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua verticales.
IP 22	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical.
IP 23	Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical
IP 44	Protección contra contacto con herramientas, contra sólidos de diámetros mayores de 1 mm y contra salpicaduras de agua en todas direcciones Totalmente Cerrado
IP 54	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra salpicaduras de agua en todas direcciones A prueba de Chapoteo
IP 55	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorro de agua en todas direcciones Uso Lavadora
IP 56	Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra oleaje fuerte
IP 65	Protección completa contra contacto, protección completa contra polvos y contra chorro de agua en todas direcciones

Fuente:NOM-16-ENER

2.10.1. TENSIÓN Y AMPACIDAD A TEMPERATURA NOMINAL

2.10.1.1. Conductores mayores de 600 V

Usos permitidos. Se permitirán los conductores aéreos de más de 600 volts en exteriores, sólo para sistemas de más de 600 volts, como a continuación se indica:

- En exteriores
- Para conductores de acometida, alimentadores y circuitos derivados

En la Tabla 2.94 se muestran las características y aplicaciones de los conductores de media tensión de 5 hasta 35 kV.

2.10.1.2. Conductores para sistema de tierras

Se utiliza exclusivamente cobre suave en la red de tierras, así como en los conductores de conexión de ésta con equipos a partes aterrizadas. El rango de utilización es muy amplio y depende de la corriente de corto circuito a tierra de que se disponga.

Cuando se requiera de un conductor para aterrizar equipos o partes en movimiento, tales como grúas viajeras o puertas de subestaciones que necesiten mucha flexibilidad, se usa la trenza plana de cobre estañado.

Tiene aplicación también en la conexión del polo negativo en bancos de baterías y plantas de emergencia para la selección de conductores en las aplicaciones particulares para un proyecto, consultar la información comercial de fabricantes, en el cual se encuentra una descripción del conductor, aisla-

miento y sus características físicas y parámetros eléctricos, formas constructivas, aplicaciones, etc.

2.10.1.3. Capacidad de conducción

La capacidad de conducción de conductores aislados de 0 a 2000 V, ya sea en canalización o en aire libre se indica en la Tabla 2.95, Tabla 2.96, Tabla 2.97, Tabla 2.98, Tabla 2.99, Tabla 2.100, Tabla 2.101 y Tabla 2.102.

Para la capacidad de conducción de conductores aislados de 2 001 V a 35 000 V, en aire se indican en la Tabla 2.103 a Tabla 2.110.

La capacidad de conducción de conductores aislados de 2 001 V a 35 000 V, directamente enterrados se indica en la Tabla 2.111 a Tabla 2.119.

2.10.2. NIVEL DE AISLAMIENTO

Para la selección del aislamiento se combinan las máximas temperaturas de operación, con las cualidades ambientales y/o de propagación a la flama. Existen tres clases de aislamientos para usarse en cables de energía.

Clase 1 nivel 100 por ciento

Quedarán incluidos en esta clasificación los conductores que se usen en sistemas protegidos con relevadores que liberen fallas a tierra lo más rápido posible, en un tiempo no mayor a un minuto. Este nivel de aislamiento es aplicable a la mayoría de los sistemas con neutro a tierra y puede también aplicarse a otros sistemas donde la razón entre la reactancia de secuencia cero y de secuencia positiva (X_0/X_1) no esté en el intervalo de -1 a -40 y que cumplan la condición de liberación de falla, ya que en los sistemas incluidos en el intervalo descrito pueden

Ilustración 2.33 Características constructivas de un cable de media tensión

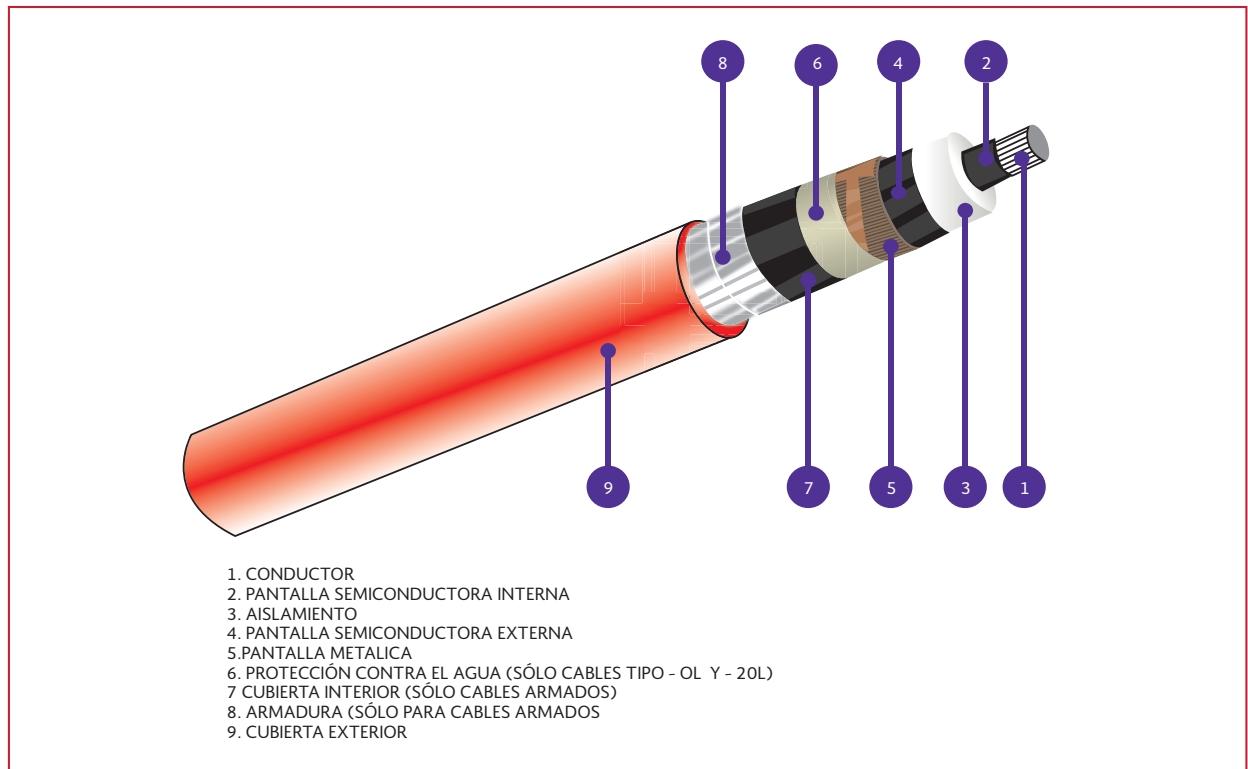


Ilustración 2.34 Conductores de interruptor principal



encontrarse valores de tensión excesivamente altos en condiciones de fallas a tierra.

Clase 2 nivel 133 por ciento

Anteriormente, en esta categoría se agrupaban los sistemas con neutro aislado. En la actualidad, se incluyen los conductores destinados a instalaciones en donde las condiciones de tiempo de operación de las protecciones no cumplen con los requisitos del nivel 100 por ciento, pero que, en cualquier caso, se libera la falla en no más de una hora.

El nivel 133 por ciento se podrá usar también en aquellas instalaciones donde se desee un espesor del aislamiento mayor al 100 por ciento. Por ejemplo, conductores submarinos, en que los esfuerzos mecánicos propios de la instalación y las características de operación requieren un nivel de aislamiento mayor.

Clase 3 nivel 173 por ciento

Los conductores de esta categoría deberán aplicarse en sistemas en los que el tiempo para liberar una falla no está definido. También se recomienda el uso de conductores de este nivel en sistemas con problemas de resonancia, en los que se pueden presentar sobretensiones de gran magnitud.

2.10.3. MATERIALES

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, el primero es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso

del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos. En la Tabla 2.120 se comparan en forma general las propiedades principales de los metales usados en la manufactura de los conductores.

En el cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave o recocado, semiduro y duro; con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tensión mecánica.

El cobre suave tiene las aplicaciones más generales, ya que su uso se extiende a cualquier conductor aislado o no, en el cual sea de primordial importancia la alta conductividad eléctrica y la flexibilidad.

La principal ventaja del aluminio sobre el cobre es su peso menor (densidad 2.70 g/cm^3 contra 8.89 g/cm^3 del cobre).

En la Tabla 2.121 se comparan algunas de las características más importantes en conductores fabricados con cobre y aluminio.

2.10.3.1. Flexibilidad

El grado de flexibilidad de un conductor, depende del número de alambres del mismo. Por supuesto que las características de flexibilidad del aislamiento deben ser compatibles con los demás elementos del cable. Por lo tanto, los conceptos que se mencionan a continuación son aplicables al cable en general.

La flexibilidad de un cable es una de las características más difíciles de cuantificar, de hecho, es

uno de los conceptos comúnmente usados para describir la construcción de un cable; no existe a la fecha ningún método de prueba para medir el grado o magnitud de la flexibilidad.

Sin embargo, la mejor base para evaluar la flexibilidad es a través de las ventajas a que da lugar en los cables de energía, la cual en última instancia, es una manera de apreciarla. A continuación se enuncian las ventajas de la flexibilidad:

- Mayor facilidad para sacar o meter el cable en el carrete, lo que minimiza la probabilidad de daño al momento de instalar
- Mayor facilidad para colocar en posición en la instalación, especialmente en lugares estrechos
- La construcción del cable que permite dobleces y cambio de dirección en general, sin menoscabo de la integridad del mismo, conduce evidentemente a una instalación confiable
- El manejo sencillo de un material contribuye a que los instaladores trabajen con más rapidez y menos esfuerzo, evitando que pongan en práctica métodos que resultarían perjudiciales, como calentar el conductor para permitir dobleces, etcétera

2.10.3.2. Forma

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- a) Redonda
- b) Sectorial

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Se utiliza en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamien-

to. Los conductores de calibres pequeños (8 AWG y menores) suelen ser alambres sólidos, mientras que los calibres mayores generalmente son cables.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de 1 o más alambres. El conductor resultante recibe el nombre de conductor concéntrico.

Un conductor sectorial es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es sustancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a 1/0 AWG. En éstos los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en el plomo y revestimientos de protección.

Comparando los cables con conductores sectoriales, con los equivalentes de conductores redondos, encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas:

- Menor diámetro
- Menor peso
- Costo más bajo

Pero tienen en cambio estas desventajas:

- Menor flexibilidad
- Mayor dificultad en la ejecución de las uniones

2.10.4. RESISTENCIA ELÉCTRICA

2.10.4.1. Resistencia a la humedad

Los cables de energía frecuentemente entran en contacto con humedad y el cable absorbe agua

a una velocidad que queda determinada por las temperaturas del medio ambiente, temperatura en el conductor, temperatura en el aislamiento y la permeabilidad del aislamiento y su cubierta.

2.10.4.2. Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica de un material aislante es el valor de la intensidad del campo eléctrico al que hay que someterlo para que se produzca una perforación en el aislamiento. Normalmente, este valor es cercano al del gradiente de prueba y de 4 a 5 veces mayor que el gradiente de operación normal. Las unidades en que se expresa este valor por lo común es kV/mm.

2.10.4.3. Pantallas eléctricas

Una definición ampliamente aceptada de la función de las pantallas es la siguiente:

Se aplican las pantallas eléctricas en los cables de energía con el fin de confinar en forma adecuada el campo eléctrico a la masa de aislamiento de los conductores.

Las pantallas usadas en el diseño de cables de energía tienen diferentes funciones. Dependiendo del material y su localización, pueden ser:

Pantalla sobre el conductor

En circuitos con tensiones de 2 kV y mayores se utiliza la pantalla semiconductor a base de cintas o pantallas extruidas. Los materiales usados en la fabricación de estas pantallas dependen del diseño mismo del conductor: en conductores con aislamiento de papel impregnado se usan cintas de papel CB (Carbón Black), en conductores con aislamiento sólido se utilizan pantallas extruidas de material compatible con el utilizado en el aislamiento.

Pantalla sobre el aislamiento

En circuitos de 5 kV y mayores se utilizan pantallas sobre el aislamiento que a su vez se subdividen en:

- a) Pantalla semiconductor
- b) Pantalla metálica

En conjunto las funciones de las pantallas sobre el aislamiento son:

- a) Crear una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en la dirección de máxima resistencia del aislamiento
- b) Proveer al conductor de una capacitancia a tierra uniforme

Los conductores que se instalan en ductos o directamente enterrados por lo general pasarán por secciones de terreno húmedo y seco o ductos de características eléctricas variables. Esto da como resultado una capacitancia a tierra variable y como consecuencia, una impedancia no uniforme.

- c) Reducir el peligro de descargas eléctricas al personal o en presencia de productos inflamables

Como se explicó con anterioridad, cuando la superficie externa del aislamiento de los cables (exenta de las pantallas) no está en contacto con tierra a lo largo de la trayectoria de instalación, se puede presentar una diferencia de potencial considerable entre la cubierta del conductor y tierra.

Pantalla semiconductor sobre el aislamiento

La pantalla semiconductor sobre el aislamiento se encuentra en contacto inmediato con éste. Está formada por un material semiconductor compatible con el material del aislamiento. En adición a las

funciones descritas, esta pantalla asegura el contacto íntimo con el aislamiento, aun en el caso de movimiento de la pantalla metálica.

2.10.4.4. Selección de la pantalla metálica

A continuación se presentan las características de selección de acuerdo a cada propósito de diseño:

Pantalla para propósitos electrostáticos

Estas pantallas deben ser en general de metales no magnéticos y pueden estar constituidas de cintas, alambres o bien pueden ser cubiertas metálicas (plomo o aluminio).

Las pantallas constituidas a base de cintas o de alambres son generalmente de cobre normal, aunque pueden utilizarse en ambos casos cobre estañado, éstas últimas se utilizan donde se pudiera prever problemas graves de corrosión derivados de las condiciones de instalación. En la Tabla 2.122 se presenta el cuadro comparativo de pantallas a base de cintas con las de alambres.

Pantallas para conducir corriente de falla

En la pantalla metálica se puede requerir una conductancia adicional para conducir corriente de falla, dependiendo de la instalación y características eléctricas del sistema, particularmente con relación al funcionamiento de dispositivos de protección por sobrecorriente, como la corriente prevista de falla de fase a tierra y la manera en que el sistema puede ser aterrizado.

Pantalla neutra

Con las dimensiones apropiadas se puede diseñar la pantalla, para que en adición a las funciones descritas opere como neutro; por ejemplo, siste-

mas residenciales subterráneos.

2.10.4.5. Aplicaciones de las pantallas

Como se mencionó anteriormente, es necesaria la pantalla sobre el conductor en cables de 2 kV y mayores, para tensiones menores no se requiere; en conductores de 5 kV y mayores se requiere de pantallas sobre el aislamiento. Esto significa que dentro de los límites de 2 kV inclusive, se puede no utilizar pantallas sobre aislamiento, de aquí que interviene una gran dosis de sentido común para considerar la aplicación de las pantallas.

Es innegable que un conductor con pantalla instalado en forma apropiada, ofrece las condiciones óptimas de seguridad y confiabilidad. Sin embargo, un conductor con pantalla es más costoso y más difícil de procurar e instalar. A continuación se resumen las recomendaciones de aplicaciones en que se deberá usar o prescindir de las pantallas.

Las pantallas sobre aislamiento deben ser consideradas para cables de energía arriba de 5000 volts, cuando exista cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Conexiones a líneas aéreas
- b) Transición a ambiente de diferente conductancia
- c) Transición de terrenos húmedos o secos
- d) Terrenos secos, de tipo desértico
- e) Conduits anegados o húmedos
- f) En donde se utilizan compuestos para facilitar el jalado de los conductores
- g) Donde fácilmente se depositen en la superficie del conductor materiales conductores tales como hollín, sales, etcétera
- h) Donde pudieran presentarse problemas de radio interferencia
- i) Donde se involucre la seguridad del personal

2.10.4.6. Propiedades de las cubiertas

Cubiertas metálicas. El material normalmente usado en este tipo de cubiertas es el plomo y sus aleaciones. Otro metal que también se emplea, aunque en menor escala, es el aluminio.

Cubiertas termoplásticas. Las más usuales son fabricadas con PVC (cloruro de polivinilo) y polietileno de alta y baja densidad.

Cubiertas elastoméricas. Básicamente se utiliza el neopreno (policloropreno) y el hypalon (polietileno clorosulfonado).

Cubiertas textiles. En este tipo de cubiertas se emplea una combinación de yute impregnado en asfalto y recubierto con un baño final de cal y talco, con el fin de evitar que se adhieran las capas adyacentes.

Para definir los límites de aplicación de los materiales de las cubiertas o sus combinaciones, es necesario conocer las exigencias a que pueden quedar expuestos los cables de energía por el medio ambiente de la instalación, exigencias que se pueden dividir de la siguiente manera:

Térmicas

La temperatura de operación en la cubierta es de vital importancia, al igual que en el de los aislamientos. Sobrepasar los límites establecidos conduce a una degradación prematura de las cubiertas.

Químicas

Los componentes de los conductores son compuestos o mezclas químicas y su resistencia ante

ciertos elementos del medio donde se instalen son previsible y muy importantes de considerar para la selección del material de la cubierta.

Mecánicas

Los daños mecánicos a que pueden estar sujetos los conductores de energía se deben, para cables en instalaciones fijas, a los derivados del manejo en el transporte e instalación como son: radios de curvatura pequeños, tensión excesiva, compresión, etcétera, que reducen la vida del cable completo para mayor información de este tema consulte la NOM-001-SEDE.

2.10.5. AISLAMIENTOS

2.10.5.1. Materiales

Dada la diversidad de tipos de aislamiento que hasta la fecha existen para cables de energía, el diseñador deberá tener presentes las características de cada uno de ellos, para su adecuada selección tanto en el aspecto técnico como en el económico. Tradicionalmente, el papel impregnado ha sido el aislamiento que por su confiabilidad y economía se empleaba en mayor escala; la aparición de nuevos aislamientos tipo seco aunado al mejoramiento de algunos ya existentes, obligan al ingeniero de proyectos a mantenerse actualizado respecto a las diferentes alternativas disponibles. La función del aislamiento es impedir el contacto del conductor con otros conductores, metales, tierra, humedad, etc., que provocarían la falla del aislamiento. Se pueden dividir en dos grupos:

De papel impregnado

Emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera, con celulosa de fibra larga. El cable aislado

con papel sin humedad se impregna con una sustancia para mejorar las características del aislante.

Las sustancias más usuales son los compuestos que se listan a continuación, y la que se elija dependerá de la tensión y de la instalación del cable.

- a) Aceite viscoso
- b) Aceite viscoso con resinas refinadas
- c) Aceite viscoso con polímeros de hidrocarburos
- d) Aceite de baja viscosidad
- e) Parafinas microcristalinas del petróleo

Aislamientos de tipo seco

A excepción del hule natural (ya en desuso), los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos.

- a) Termoplásticos: Son aquellos que, al calentarse, su plasticidad permite conformarlos a voluntad, recuperando sus propiedades iniciales al enfriarse, pero manteniendo la forma que se les imprimió
- b) Termofijos: Después de un proceso inicial similar al anterior, los subsecuentes calentamientos no los reblandecen

A continuación se describen las características de algunos de los aislamientos de tipo seco.

- a) Sintenax: El PVC (Cloruro de polivinilo) para aislamiento de cables de alta tensión,

ha adquirido una importancia especial, gracias a sus ventajas sobre los plásticos hasta ahora conocidos. La alta rigidez dieléctrica y su resistencia a la ionización (efecto corona) permiten su operación en cables de energía de hasta 23 kV

- b) El hule etileno propileno (EP) y el polietileno de cadena cruzada (XLP) son los principales materiales empleados en la actualidad para cables de energía, con aislamiento extruido, en media tensión

2.10.6. TAMAÑO O DESIGNACIÓN

2.10.6.1. Escala AWG

La escala más usada para alambres destinados a usos eléctricos es la “American Wire Gage” (AWG), misma que ha sido ya adoptada en México.

2.10.6.2. Escala milimétrica IEC

La escala de la “International Electrotechnical Commission” es la más usada en la actualidad, la escala consiste en proporcionar la medida directa de las áreas transversales de los calibres, en milímetros cuadrados.

2.10.7. APLICACIÓN

2.10.7.1. Conductores para 600 V

En la Tabla 2.123 se muestran las características y aplicaciones de los conductores para baja tensión.

Tabla 2.94 Aislamientos y usos, para cables de energía

Tipo o nombre	Descripción	Aplicaciones
Cables SINTENAX unipolares 6, 15 y 25 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor (15 y 25 kV) aislamiento SINTENAX, pantalla sobre el aislamiento (15 y 25 kV) y cubierta exterior de PVC.	Circuitos industriales de distribución primaria, acometidas y circuitos auxiliares.
Cables de energía VULCANEL EP o XLP 5, 15 y 35 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.	Circuitos trifásicos de distribución.
Cables de energía VULCANEL EP o XLP triplex 5, 15 y 35 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.	Circuitos trifásicos de distribución.
Cables VULCANEL EP o XLP con plomo 5 y 15 KV para refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla semiconductor sobre aislamiento, forro de plomo y cubierta exterior de PVC.	Circuitos de distribución de potencia en refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.
Cables de energía VULCANEL XLP para alumbrado de pistas de aeropuerto 5 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de XLP y cubierta exterior de PVC.	Conexión de lámparas de alumbrado en pistas de aeropuertos.
Cables tripolares tipo 6PT con papel impregnado y forro de plomo para 6 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de papel impregnado, cintura, forro de plomo y cubierta exterior termoplástica.	Distribución de energía eléctrica en sistemas de 6 kV.
Cables monopoles 23 PT aislados con papel impregnado y con forro de plomo para 23 kV.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de papel impregnado, pantalla semiconductor sobre aislamiento, forro de plomo y cubierta exterior termoplástica.	Distribución de energía eléctrica en sistemas de 23 kV.
Cables de energía VULCANEL 23TC.	Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de KLP, pantalla sobre el aislamiento, cinta separadora y cubierta exterior termoplástica.	Acometidas aero-subterráneas en 23 kV.
Cables de energía VULCANEL EP o XLP, tipo DS para 15, 25 y 35 kV.	Conductor de aluminio, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.	Circuitos trifásicos de distribución.
Cables de energía VULCANEL EP o XLP tipo DRS (distribución residencial subterránea) 15, 25 y 35 kV.	Conductor de aluminio, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, cubierta semiconductor sobre el aislamiento y neutro concéntrico de cobre estañado.	Distribución de energía eléctrica en circuitos primarios monofásicos subterráneos en zonas residenciales.

Tabla 2.95 Capacidad de conducción de corrientes en amperes de conductores aislados de 0 a 2 000 V, 60°C a 90°C en canalización o directamente enterrados para una temperatura ambiente de 30°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	Temperaturas máximas de operación					
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
	Tipos TW*, UF*	Tipos: RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, USE*	Tipos: SA, SIS, FEO*, FEPS*, R-HI*, RHW-2, THHW*, THWN-2, THHW*, USE-2, XHHW*, XHHW-2	Tipos: TW*, UF*	Tipos: RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWW*, XHHW*, USE*	Tipos: SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, XHHW-2
	Cobre (Cu)					
0.8235 (18)	-----	-----	14	-----	-----	-----
1.307 (16)	-----	-----	18	-----	-----	-----
2.082 (14)	20	20	25	-----	-----	-----
3.307 (12)	25	25	30	20	20	25
5.260 (10)	30	35	35	25	30	35
8.367 (8)	40	50	50	30	40	45
13.13 (6)	55	65	65	40	50	60
21.15 (4)	70	85	85	55	65	75
33.62 (2)	95	115	115	75	90	100
42.41 (1)	110	130	130	85	100	115
53.48 (1/0)	125	150	150	100	120	135
67.43 (2/0)	145	175	175	115	135	150
85.01 (3/0)	165	200	200	130	155	175
107.2 (4/0)	195	230	230	150	180	205
126.7 (250)	215	255	255	170	205	230
152.0 (300)	240	285	258	190	230	255
177.3 (350)	260	310	310	210	250	280
202.7 (400)	280	335	335	225	270	305
253.4 (500)	320	380	380	260	310	350
304.0 (600)	355	420	420	285	340	385
380.0 (750)	400	475	475	320	385	435
506.7(1000)	455	545	545	375	445	500
	Aluminio recubierta de cobre					

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.96 Factores de corrección basados en temperatura ambiente 30°C

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente °C	Rango de temperatura del conductor		
	60° C	75° C	90° C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60		0.58	0.71
61-65		0.47	0.65
66-70		0.33	0.58
91-75			0.50
76-80			0.41
81-85			0.29

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.97 Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C

Área de la sección transversal	Temperaturas máximas de operación										
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C					
	Tipos TW*, UF*	Tipos RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, USE*	Tipos SA, SIS, FEO*, -FEPS*, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, TT, THWN-2, THHW*, USE-2, XHHW*, XHHW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RHW*, -THW*, THHW*, THW-LS, THHW*, XHHW*, USE*	Tipos SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, XHHW-2					
	Cobre (Cu)					Aluminio o aluminio recubierto de cobre					
0.8235 (18)			18								
1.307 (16)			25								
2.082 (14)	25	30	35*								
3.307 (12)	30	35	40*	25*					35	25	
5.260 (10)	40	50	45*	35*					45	35	
8.367 (8)	60	70	80	45					55	60	
13.13 (6)	80	95	105	60					75	80	
21.15 (4)	105	125	140	80					100	110	
33.62 (2)	140	170	190	110					135	150	
42.41 (1)	165	195	220	130					155	175	
53.48 (1/0)	195	230	260	150					180	205	
67.43 (2/0)	225	265	300	175					210	235	
85.01 (3/0)	260	310	350	200					240	275	
107.2 (4/0)	300	360	405	235					280	315	
126.7 (250)	340	405	455	265					315	355	
152.0 (300)	375	445	505	290					350	395	
177.3 (350)	420	505	570	330					395	445	
202.7 (400)	455	545	615	355					425	480	
253.4 (500)	515	620	700	405					485	545	
304.0 (600)	575	690	780	455					540	615	
380.0 (750)	655	785	885	515					620	700	
506.7(1000)	780	935	1055	625					750	845	

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.98 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 ° C

Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						
Temperatura ambiente °C	60° C	75° C	90° C	150° C	200° C	250° C
10 o menos	1.58	1.36	1.26	1.13	1.09	1.07
11-15	1.50	1.31	1.22	1.11	1.08	1.06
16-20	1.41	1.25	1.18	1.09	1.06	1.05
21-25	1.32	1.20	1.14	1.07	1.05	1.04
26-30	1.22	1.13	1.10	1.04	1.03	1.02
31-35	1.12	1.07	1.05	1.02	1.02	1.01
36-40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
41-45	0.87	0.93	0.95	0.98	0.98	0.99
46-50	0.71	0.85	0.89	0.95	0.97	0.98
51-55	0.50	0.76	0.84	0.93	0.95	0.96
56-60		0.65	0.77	0.90	0.94	0.95
61-65		0.53	0.71	0.88	0.92	0.94
66-70		0.38	0.63	0.85	0.90	0.93
91-75			0.55	0.83	0.88	0.91
76-80			0.45	0.80	0.87	0.90

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.99 Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C.

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor			
		150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		Tipo Z	Tipos FEP, FEPB, SA	Tipos PFAH, TFE	Tipo Z
mm²	AWG o kcmil	COBRE		NIQUEL O COBRE RECUBIERTO DE NIQUEL	DE ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE
2.08	14	46	54	59	—
3.31	12	60	68	78	—
5.26	10	80	90	107	—
8.37	8	106	124	142	—
13.3	6	155	165	205	112
21.2	4	190	220	278	148
26.7	3	214	252	327	170
33.6	2	255	293	381	198
42.4	1	293	344	440	228
53.5	1/0	339	399	532	263
67.4	2/0	390	467	591	305
85.0	3/0	451	546	708	351
107	4/0	529	629	830	411

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.100 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 °C

Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:						
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura de los conductores					
	60 °C	75 °C	90 °C	150 °C	200 °C	250 °C
10 o menos	1.58	1.36	1.26	1.13	1.09	1.07
11-15	1.50	1.31	1.22	1.11	1.08	1.06
16-20	1.41	1.25	1.18	1.09	1.06	1.05
21-25	1.32	1.20	1.14	1.07	1.05	1.04
26-30	1.22	1.13	1.10	1.04	1.03	1.02
31-35	1.12	1.07	1.05	1.02	1.02	1.01
36-40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
41-45	0.87	0.93	0.95	0.98	0.98	0.99
46-50	0.71	0.85	0.89	0.95	0.97	0.98
51-55	0.50	0.76	0.84	0.93	0.95	0.96
56-60	-	0.65	0.77	0.90	0.94	0.95
61-65	-	0.53	0.71	0.88	0.92	0.94
66-70	-	0.38	0.63	0.85	0.90	0.93
91-75	-	-	0.55	0.83	0.88	0.91
76-80	-	-	0.45	0.80	0.87	0.90
81-90	-	-	-	0.74	0.83	0.87
91-100	-	-	-	0.67	0.79	0.85
101-110	-	-	-	0.60	0.75	0.82
111-120	-	-	-	0.52	0.71	0.79
121-130	-	-	-	0.43	0.66	0.76
131-140	-	-	-	0.30	0.61	0.72
141-160	-	-	-	-	0.50	0.65
161-180	-	-	-	-	0.35	0.58
181-200	-	-	-	-	-	0.49
201-225	-	-	-	-	-	0.35

Funete: NOM-001-SEDE

Tabla 2.101 Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor			
		150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		Tipo Z	Tipos FEP, FEPB, SA	Tipos PFAH, TFE	Tipo Z
mm ²	AWG o kcmil	COBRE		Níquel o cobre recubierto de níquel	Aluminio o aluminio recubierto de cobre
2.08	14	46	54	59	—
3.31	12	60	68	78	—
5.26	10	80	90	107	—
8.37	8	106	124	142	—
13.3	6	155	165	205	112
21.2	4	190	220	278	148
26.7	3	214	252	327	170
33.6	2	255	293	381	198
42.4	1	293	344	440	228
53.5	1/0	339	399	532	263
67.4	2/0	390	467	591	305

Tabla 2.101. Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C (continuación)

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor			
		150 °C	200 °C	250 °C	150 °C
		Tipo Z	Tipos FEP, FEPB, SA	Tipos PFAH, TFE	Tipo Z
mm ²	AWG o kcmil	COBRE		Níquel o cobre recubierto de níquel	Aluminio o aluminio recubierto de cobre
85.0	3/0	451	546	708	351
107	4/0	529	629	830	411

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.102 Factores de corrección para conductores aislados al aire libre

Temperatura ambiente °C	Para temperatura ambiente diferente de 40°C, multiplique las capacidades de corriente de la tabla mostradas arriba, por el factor de corrección correspondiente en esta tabla	
41-50	0.97	0.98
51-60	0.94	0.95
61-70	0.90	0.93
71-80	0.87	0.90
81-90	0.83	0.87
91-100	0.79	0.85
101-120	0.71	0.79
121-140	0.61	0.72
141-160	0.50	0.65
161-180	0.35	0.58
181-200	-	0.49
201-225	-	0.35

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.103 Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración tríplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C.

Área de la sección transversal mm ² (AWG - KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	65	-
13.30 (6)	90	100
21.15 (4)	120	130
33.62 (2)	160	170
42.41 (1)	185	195
53.48 (1/0)	215	225
67.43 (2/0)	250	260
85.01 (3/0)	290	300
107.2 (4/0)	335	345
126.7 (250)	375	380
177.3 (350)	465	470
253.4 (500)	580	580
380.0 (750)	750	730
506.7 (1 000)	880	850

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.104 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado mono conductor, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2,001-5,000 V	5,001-35,000 V
8.367 (8)	50	-
13.30 (6)	70	75
21.15 (4)	90	100
33.62 (2)	125	130
42.41 (1)	145	150
53.48 (1/0)	170	175
67.43 (2/0)	195	200
85.01 (3/0)	225	230
107.2 (4/0)	265	270
126.7(250)	295	300
177.3 (350)	365	370
253.4 (500)	460	460
380.0 (750)	600	590
506.7 (1 000)	715	700

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.105 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado, conductor de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG -KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
13.30 (6)	70	75
21.15 (4)	90	100
33.62 (2)	125	130
42.41 (1)	145	150
53.48 (1/0)	170	175
67.43 (2/0)	195	200
85.01 (3/0)	225	230
107.2 (4/0)	265	270
126.7 (250)	295	300
177.3 (350)	365	370
253.4 (500)	460	460
380.0 (750)	600	590
506.7(1 000)	715	700

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.106 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de cobre, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG - KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	59	—
13.30 (6)	79	93
21.15 (4)	105	120
33.62 (2)	140	165
42.41 (1)	160	185
53.48 (1/0)	185	215
67.43 (2/0)	215	245
85.01 (3/0)	250	285
107.2 (4/0)	285	325
126.7 (250)	320	360
177.3 (350)	395	435
253.4 (500)	485	535
380.0 (750)	615	670
506.7 (1000)	705	770

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.107 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
13.30 (6)	61	72
2115 (4)	81	95
33.62 (2)	110	125
42.41 (1)	125	145
53.48 (1/0)	145	170
67.43 (2/0)	170	190
85.01 (3/0)	195	220
107.2 (4/0)	225	255
126.7 (250)	250	280
177.3 (350)	310	345
253.4 (500)	385	425
380.0 (750)	495	540
506.7 (1000)	585	635

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.108 Capacidad de conducción de corriente de un cable triplex o de tres cables cobre, en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	55	—
13.30 (6)	75	83
2115 (4)	97	110
33.62 (2)	130	150
42.41 (1)	155	170
53.48 (1/0)	180	195
67.43 (2/0)	205	225
85.01 (3/0)	240	260
107.2 (4/0)	280	295
126.7 (250)	315	330
177.3 (350)	385	395
253.4 (500)	475	480
380.0 (750)	600	585
506.7 (1000)	690	675

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.109 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de cobre en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 150°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	61	
13.30 (6)	84	83
2115 (4)	110	110
33.62 (2)	145	150
42.41 (1)	175	170
53.48 (1/0)	200	195
67.43 (2/0)	225	225
85.01 (3/0)	270	260
107.2 (4/0)	305	295
126.7 (250)	355	330
177.3 (350)	430	395
253.4 (500)	530	480
380.0 (750)	665	585
506.7 (1000)	770	675

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.110 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de aluminio en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
13.30 (6)	58	65
2115 (4)	76	84
33.6 (2)	100	115
42.41 (1)	120	130
53.48 (1/0)	140	150
67.43 (2/0)	160	175
85.01 (3/0)	190	200
107.2 (4/0)	215	230
126.7 (250)	250	255
177.3 (350)	305	310
253.4 (500)	380	385
380.0 (750)	490	485
506.7 (1000)	580	565

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.111 Capacidad de conducción de corriente de tres cables aislados mono conductores de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres cables por ducto), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	64	—
13.30 (6)	85	90
21.15 (4)	110	115
33.62 (2)	145	155
42.41(1)	170	175
53.48 (1/0)	195	200
67.43 (2/0)	220	230
85.01 (3/0)	250	260
107.2 (4/0)	290	295
126.7 (250)	320	325
177.3 (350)	385	390
253.4 (500)	470	465
380.0 (750)	585	565
560.7 (1000)	670	640

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.112 Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.367 (8)	64	
13.30 (6)	85	90
2115 (4)	110	115
33.62 (2)	145	155
42.41 (1)	170	175
53.48 (1/0)	195	200
67.43 (2/0)	220	230
85.01 (3/0)	250	260
107.2 (4/0)	290	295
126.7 (250)	320	325
177.3 (350)	385	390
253.4 (500)	470	465
380.0 (750)	585	565
506.7(1000)	670	640
Tres circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG - KCM)		
8.367 (8)	56	
13.30 (6)	73	77
2115 (4)	95	99
33.62 (2)	125	130
42.41 (1)	140	145
53.48 (1/0)	160	165
67.43 (2/0)	185	185
85.01 (3/0)	210	210
107.2 (4/0)	235	240
126.7 (250)	260	260
177.3 (350)	315	310
253.4 (500)	375	370
380.0 (750)	460	460
506.7 (1000)	525	495
Seis circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG - KCM)		
8.367 (8)	48	
13.30 (6)	62	64
2115 (4)	80	82
33.62 (2)	105	105
42.41 (1)	115	120
53.48 (1/0)	135	135
67.43 (2/0)	150	150
85.01 (3/0)	170	170
107.2 (4/0)	195	190
126.7 (250)	210	210
177.3 (350)	250	245
253.4 (500)	300	290
380.0 (750)	365	350
506.7 (1000)	410	390

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.113 Ampacidad de tres conductores de aluminio, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito área sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
13.30 (6)	66	70
21.15 (4)	86	91
33.62 (2)	115	120
42.41 (1)	130	135
53.48 (1/0)	150	155
67.43 (2/0)	170	175
85.01 (3/0)	195	200
107.2 (4/0)	225	230
126.7 (250)	250	250
177.3 (350)	305	305
253.4 (500)	370	370
380.0 (750)	470	455
506.7 (1000)	545	525
Tres circuitos área sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	44	----
13.30 (6)	57	60
21.15 (4)	74	77
33.62 (2)	96	100
42.41 (1)	110	110
53.48 (1/0)	125	125
67.43 (2/0)	145	145
85.01 (3/0)	160	165
107.2 (4/0)	185	185
126.7 (250)	205	200
177.3 (350)	245	245
253.4 (500)	295	290
380.0 (750)	370	355
506.7 (1000)	425	405
Seis circuitos área sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	38	----
13.30 (6)	48	50
21.15 (4)	62	64
33.62 (2)	80	80
42.41 (1)	91	90
53.48 (1/0)	105	105
67.43 (2/0)	115	115
85.01 (3/0)	135	130
107.2 (4/0)	150	150
126.7 (250)	165	165
177.3 (350)	195	195
253.4 (500)	240	230
380.0 (750)	290	280
506.7 (1000)	335	320

Fuente: NOM-001-SEDEE

Tabla 2.114 Ampacidad de tres conductores de cobre aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.637 (8)	59	---
13.30 (6)	78	88
21.15 (4)	100	115
33.62 (2)	135	150
42.41 (1)	155	170
53.48 (1/0)	175	195
67.43 (2/0)	200	220
85.01 (3/0)	230	250
107.2 (4/0)	265	285
126.7 (250)	290	310
177.3 (350)	355	375
253.4 (500)	430	450
380.0 (750)	530	545
506.7 (1000)	600	615
Tres circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	53	---
13.30 (6)	69	75
21.15 (4)	89	97
33.62 (2)	115	125
42.41 (1)	135	140
53.48 (1/0)	150	160
67.43 (2/0)	170	185
85.01 (3/0)	195	205
107.2 (4/0)	225	30
126.7 (250)	245	255
177.3 (350)	295	305
253.4 (500)	355	360
380.0 (750)	430	430
506.7 (1000)	485	485
Seis circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	45	---
13.30 (6)	60	63
21.15 (4)	77	81
33.62 (2)	98	105
42.41 (1)	110	115
53.48 (1/0)	125	130
67.43 (2/0)	145	150
85.01 (3/0)	165	170
107.2 (4/0)	185	190
126.7 (250)	200	205
177.3 (350)	240	245
253.4 (500)	290	290
380.0 (750)	350	340
506.7 (1000)	390	380

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.115 Ampacidad de tres conductores de aluminio aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.637 (8)	46	---
13.30 (6)	61	69
21.15 (4)	80	89
33.62 (2)	105	105
42.41 (1)	120	135
53.48 (1/0)	140	150
67.43 (2/0)	160	170
85.01 (3/0)	180	195
107.2 (4/0)	205	220
126.7 (250)	230	245
177.3 (350)	280	295
253.4 (500)	340	335
380.0 (750)	425	440
506.7 (1000)	495	510
Tres circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	41	---
13.30 (6)	54	59
21.15 (4)	70	75
33.62 (2)	90	100
42.41 (1)	105	110
53.48 (1/0)	120	125
67.43 (2/0)	135	140
85.01 (3/0)	155	160
107.2 (4/0)	175	180
126.7 (250)	190	200
177.3 (350)	230	240
253.4 (500)	280	285
380.0 (750)	345	350
506.7 (1000)	400	400
Seis circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	36	---
13.30 (6)	46	49
21.15 (4)	60	63
33.62 (2)	77	80
42.41 (1)	87	90
53.48 (1/0)	99	105
67.43 (2/0)	110	115
85.01 (3/0)	130	130
107.2 (4/0)	145	150
126.7 (250)	160	160
177.3 (350)	190	190
253.4 (500)	230	230
380.0 (750)	280	275
506.7 (1000)	320	315

Fuente: NOM-001-SEDEE

Tabla 2.116 Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C

Un circuito, 3 conductores. Área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V A	5 001-35 000 V A
8.637 (8)	110	-
13.30 (6)	140	130
21.15 (4)	180	170
33.62 (2)	230	210
42.41 (1)	260	240
53.48 (1/0)	295	275
67.43 (2/0)	335	310
85.01 (3/0)	385	355
107.2 (4/0)	435	405
126.7 (250)	470	460
177.3 (350)	570	535
253.4 (500)	690	650
380.0 (750)	845	805
506.7 (1000)	980	930
Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	100	-
13.30 (6)	130	120
21.15 (4)	165	160
33.62 (2)	215	195
42.41 (1)	240	225
53.48 (1/0)	275	255
67.43 (2/0)	310	290
85.01 (3/0)	355	330
107.2 (4/0)	400	375
126.7 (250)	435	410
177.3 (350)	520	495
253.4 (500)	630	600
380.0 (750)	775	740
506.7 (1000)	890	855

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.117 Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, 3 conductores. Área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.637 (8)	85	-
13.30 (6)	110	100
21.15 (4)	140	130
33.62 (2)	180	165
42.41 (1)	205	185
53.48 (1/0)	230	215
67.43 (2/0)	265	245
85.01 (3/0)	300	275
107.2 (4/0)	340	315
126.7 (250)	370	345
177.3 (350)	445	415
253.4 (500)	540	510
380.0 (750)	665	635
506.7 (1000)	780	740
Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	80	-
13.30 (6)	100	95
21.15 (4)	130	125
33.62 (2)	165	155
42.41 (1)	190	175
53.48 (1/0)	215	200
67.43 (2/0)	245	225
85.01 (3/0)	275	255
107.2 (4/0)	310	290
126.7 (250)	340	320
177.3 (350)	410	385
253.4 (500)	495	470
380.0 (750)	610	580
506.7 (1000)	710	680

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.118 Ampacidad de tres conductores de cobre, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V	5 001-35 000 V
8.637 (8)	85	-
13.30 (6)	105	115
21.15 (4)	135	145
33.62 (2)	180	185
42.41 (1)	200	210
53.48 (1/0)	230	240
67.43 (2/0)	260	270
85.01 (3/0)	295	305
107.2 (4/0)	335	350
126.7 (250)	365	380
177.3 (350)	460	460
253.4 (500)	530	550
380.0 (750)	650	665
506.7 (1000)	730	750
Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	80	-
13.30 (6)	100	105
21.15 (4)	130	135
33.62 (2)	165	170
42.41 (1)	185	195
53.48 (1/0)	215	220
67.43 (2/0)	240	250
85.01 (3/0)	275	280
107.2 (4/0)	310	320
126.7 (250)	340	350
177.3 (350)	410	420
253.4 (500)	490	500
380.0 (750)	595	605
506.7 (1000)	665	675

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.119 Ampacidad de tres conductores de aluminio, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)	2 001-5 000 V A	5001 - 35 000 V A
8.637 (8)	65	-
13.30 (6)	80	90
21.15 (4)	105	115
33.62 (2)	140	145
42.41 (1)	155	165
53.48 (1/0)	180	185
67.43 (2/0)	205	210
85.01 (3/0)	230	240
107.2 (4/0)	260	270
126.7 (250)	285	300
177.3 (350)	345	360
253.4 (500)	420	435
380.0 (750)	520	540
506.7 (1000)	600	620
Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)		
8.637 (8)	60	-
13.30 (6)	75	80
21.15 (4)	100	105
33.62 (2)	130	135
42.41 (1)	145	150
53.48 (1/0)	165	170
67.43 (2/0)	190	195
85.01 (3/0)	215	220
107.2 (4/0)	245	250
126.7 (250)	265	275
177.3 (350)	320	330
253.4 (500)	385	395
380.0 (750)	480	485
506.7 (1000)	550	560

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.120 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos

Metal	Densidad	Temperatura de fusión	Coefficiente lineal de dilatación	Resistividad eléctrica a 20°C	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica a 20°C	Conductividad eléctrica
	g/cm ²	°C	10 ⁻⁶ / °C	Ohm -mm ² -/ km	1/(°C)	% IACS*
Aluminio	2.70	650	2.9	28.264	0.00403	61.0
Cobre recocido	8.89	1083	6.5	17.7	0.00383	100
Cobre duro	8.89	1083	6.5	17.421	0.00393	96.2

Fuente: IACS = International Annealed Copper Standard.

Tabla 2.121 Comparación de características entre cobre y aluminio

Característica	Cobre	Aluminio
Para igual volumen		
Relación de peso	1.0	0.3
Para igual conductancia		
Relación de área	1.0	1.64
Relación de diámetro	1.0	1.27
Relación de peso	1.0	0.49
Para igual capacidad		
Relación de área	1.0	1.39
Relación de diámetro	1.0	1.18
Relación de peso	1.0	0.42
Para igual diámetros		
Relación de resistencias	1.0	1.61
Relación de corriente	1.0	0.78

Tabla 2.122 Pantalla de cintas vs pantalla de alambres

Tipo de pantalla	Ventajas	Desventajas
A base de cintas	<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona una pantalla electrostática adecuada -Reduce el ingreso de humedad en el aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Propiedades eléctricas inconsistentes, debido a que en el manejo se afecta el traslape -Requiere de radios de curvaturas mayores que para conductores con pantalla de alambres -Construcción vulnerable durante la instalación -En empalmes y terminales se requiere de mayor tiempo y habilidad para ejecutar adecuadamente los cortes
A base de alambres	<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona una pantalla electrostática adecuada -Las características eléctricas de la pantalla son consistentes y controlables -Fácilmente se incrementa la capacidad modificando el número de alambres -No requiere de gran destreza para realizar cortes en empalmes y terminales -Son menos vulnerables durante la instalación 	<ul style="list-style-type: none"> -Permite el paso de la humedad libremente -Requiere precauciones para evitar desplazamiento de los alambres durante la instalación

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts

Nombre genérico	Tipo	Temperatura máxima del conductor	Aplicaciones previstas	Aislamiento	Recubrimiento externo ¹
Etileno-propileno fluorado	FEP o FEPB	90 °C	Lugares secos y húmedos	Etileno-propileno fluorado	Ninguno
		200 °C	Lugares secos		Trenza de fibra de vidrio
			Para aplicaciones especiales ²		Trenza de fibra de vidrio u otro material trenzado.
Aislamiento mineral (con cubierta metálica)	MI	90 °C	Lugares secos y mojados	Oxido de magnesio ³	Cobre o aleación de acero
		250 °C	Para aplicaciones especiales ²		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y al aceite	MTW	60 °C	Alambrado de máquinas herramienta en lugares mojados.	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad, al calor y al aceite	Ninguno, cubierta de nylon o equivalente
		90 °C	Alambrado de máquinas herramienta en lugares secos.		
Papel		85 °C	Para conductores subterráneos de acometida	Papel	Cubierta de plomo
Perfluoroalcoxi	PFA	90 °C	Lugares secos y húmedos	Perfluoroalcoxi	Ninguno
		200 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		
Perfluoroalcoxi	PFAH	250 °C	Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubiertos de níquel)	Perfluoroalcoxi	Ninguno
Termofijo	RHH	90 °C	Lugares secos y húmedos		Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama ¹
Termofijo resistente a la humedad	RHW	75 °C	Lugares secos y mojados	Termofijo resistente a la humedad y retardante a la flama	Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama ⁴
	RHW-2	90 °C			
Hule silicón	SA	90 °C	Lugares secos y húmedos	Hule silicón	Trenza de fibra de vidrio u otro material.
		200 °C	Para aplicaciones especiales ²		
Termofijo	SIS	90 °C	Sólo para alambrado de tableros.	Termofijo retardante a la flama	Ninguno

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)

Nombre genérico	Tipo	Temperatura máxima del conductor	Aplicaciones previstas	Aislamiento	Recubrimiento externo ¹
Termoplástico y malla externa de material fibroso	TBS	90 °C	Sólo para alambrado de tableros	Termoplástico	Recubrimiento no metálico retardante a la flama
Politetra-fluoroetileno	TFE	250 °C	Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubierto de níquel)	Politetra-fluoroetileno	Ninguno
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama.	THHN	90 °C	Lugares secos	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	Cubierta de nylon o equivalente.
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y retardante a la flama.	THHW	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad.	Ninguno
		90 °C	Lugares secos		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido	THHW-LS	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido	Ninguno
		90 °C	Lugares secos		
Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	THW	75 °C	Lugares mojados	Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor	Ninguno
	THW-2	90 °C	Lugares secos y húmedos		
Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido.	THW-LS	75 °C	Lugares secos y mojados	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido.	Ninguno
Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.	THWN	75 °C	Lugares secos y húmedos	Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.	Cubierta de nylon o equivalente
	THWN-2	90 °C			
Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.	TW	60 °C	Lugares secos y mojados	Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.	Ninguno
Cable monoconductor subterráneo y circuitos derivados de un solo conductor (para cables de tipo UF con más de un conductor, ver el Artículo 340)	UF	60 °C	Ver el Artículo 340	Resistente a la humedad ⁴	Integrado con el aislante
		75 °C ⁵		Resistente a la humedad y al calor	

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)

Nombre genérico	Tipo	Temperatura máxima del conductor	Aplicaciones previstas	Aislamiento	Recubrimiento externo ¹
Cable de acometida subterránea de un solo conductor	USE	75 °C ⁵	Ver el Artículo 340 ⁶	Resistente al calor y a la humedad	Recubrimiento no metálico resistente a la humedad
	USE-2	90 °C	Lugares secos y mojados		
Termofijo retardante a la flama	XHH	90 °C	Lugares secos y húmedos	Termoplástico retardante a la flama	Ninguno
Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	XHHW	90 °C	Lugares secos y húmedos	Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	Ninguno
		75 °C	Lugares mojados		
Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	XHHW-2	90 °C	Lugares secos y mojados	Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad	Ninguno
Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	Z	90 °C	Lugares secos y húmedos	Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	Ninguno
		150 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		
Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	ZW	75 °C	Lugares húmedos	Tetrafluoroetileno modificado con etileno.	Ninguno
		90 °C	Lugares secos y mojados		
		150 °C	Lugares secos y aplicaciones especiales ²		
	ZW-2	90 °C	Lugares secos y mojados		

NOTAS:

- Algunos aislamientos no requieren recubrimiento exterior.
- Cuando las condiciones de diseño requieren que la temperatura máxima de operación del conductor sea superior a 90 °C.
- Para circuitos de señalización que permiten un aislamiento de 300 volts.
- Incluye una cubierta integral.
- Para limitación de ampacidad, véase 340-80.
- Para cables con un recubrimiento no metálico sobre conductores individualmente aislados con hule con una cubierta de aluminio o una cubierta de plomo o en cables multiconductores con algún tipo de estas cubiertas metálicas, no se requiere que sean retardantes de la flama. Para los cables de tipo MC, véase 330-104.

Para los cables de recubrimiento no metálico, véase el Artículo 334, Parte C.

Para los cables tipo UF, véase el Artículo 340, Parte C

Se permite que los tipos de cables para utilizarse en temperaturas de operación 90° C en lugares secos y mojados se marquen con el sufijo “-2” por ejemplo: THW-2, XHHW-2, RHW-2, etc.

Los cables con aislamiento termofijo, sin contenido de halógenos, pueden tener un grabado “LSOH”.

Los cables que se graban como “LS” son no propagadores del incendio y de baja emisión de humos.

Fuente: NOM-001-SEDE

2.11. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS¹⁰

2.11.7.1. Transformador de corriente

Es el transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada en aparatos de medición, protección o ambos, en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de operación, es proporcional a la corriente primaria y desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero ver Ilustración 2.35.

La utilización de transformadores de corriente presenta las ventajas siguientes:

- Aísla eléctricamente los instrumentos de medición y protección del circuito primario
- Permite la normalización de las características de operación de los instrumentos transformando la corriente en valores adecuados a los instrumentos normales, generalmente estos valores son 5 amperes
- Da mayor seguridad al personal

Para seleccionar transformadores de corriente se deben determinar las siguientes características, las cuales para su estudio las dividiremos en:

- Características normativas, dentro de las que se incluyen los valores con los cuales los fabricantes deben diseñar y garantizar el equipo, en base a las recomendaciones de las normas nacionales e internacionales.
- Características de operación, dentro de éstas, el diseñador deberá incluir en las especificaciones respectivas los datos

Ilustración 2.35 Transformador de instrumentos TC



correspondientes a la forma en que va a ser utilizado el equipo.

- Condiciones ambientales, para que éstas no afecten la operación correcta del equipo, se deberá informar al fabricante, durante la elaboración de las especificaciones, las condiciones existentes en el sitio donde se instalará el equipo.

2.11.7.2. Transformador de potencial

Es el transformador diseñado para suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de medición, protección o ambos, en el cual la tensión secundaria, en las condiciones normales de operación, es proporcional a la tensión primaria desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero. El transformador de potencial es un transformador convencional cuyo devanado primario puede ser co-

¹⁰ Fuente: NFR-027-CFE, NMX-J-109, NMX-J-168, NFR-026

nectado a un sistema eléctrico, tanto entre fases, como entre fase y tierra. Los transformadores de potencial ofrecen las mismas ventajas que los de corriente, aíslan eléctricamente los instrumentos del circuito primario, permiten normalizar las características de los instrumentos, (transformar la tensión en valores adecuados a los instrumentos normales, generalmente estos valores son 120 volts) y dan mayor seguridad al personal.

2.11.1. TENSIÓN

2.11.1.1. Transformador de potencial

Tensión nominal primaria. (V_p)

La tensión nominal primaria de un transformador de potencial es el valor de tensión primaria sobre el cual se basan sus especificaciones de operación.

El STD C57.13 del IEEE indica varios grupos de transformadores de potencial, de acuerdo a sus características de aislamiento y tensión nominal primaria, a continuación se describen los tres primeros grupos que son los de mayor aplicación.

Grupo 1.- Los transformadores de este grupo están diseñados para aplicación con 100% de tensión nominal primaria en el devanado primario, cuando se conectan de línea a línea o de línea a tierra.

Por ejemplo, un transformador de potencial de $2\ 400\Delta/4\ 160Y$ puede ser conectado de línea a línea en un sistema de 2 400 V o entre línea a neutro en un sistema de 4 160 V.

Grupo 2.- Los transformadores de potencial de este grupo, están diseñados básicamente para

servicio de línea a línea, pueden ser usados entre línea y neutro o línea a tierra a una tensión en el devanado igual a la tensión nominal primaria o dividido por 1.732.

Por ejemplo, un transformador de $2\ 400\Delta/2\ 400\ Y$ puede ser conectado en un sistema de 2 400 V, pero está limitado por aislamiento a una conexión de línea a neutro de la misma tensión del sistema (1 386 V de línea a neutro).

Grupo 3.- Los transformadores de potencial del grupo 3 son para conectarse solamente de línea a tierra y tienen dos secundarios, su terminal de neutro puede ser aislada o aterrizada.

La Tabla 2.124 indica las tensiones nominales primarias, relaciones de transformación y niveles de aislamiento al impulso para los transformadores de potencial de los grupos anteriormente descritos.

Tensión nominal secundaria (V_s)

Los valores de las tensiones nominales secundarias son de 120 y 69.3 V.

Factor de sobretensión

Todos los transformadores de potencial deben ser capaces de operar continuamente a frecuencia nominal con una tensión igual a 1.10 veces su tensión nominal.

Los transformadores de potencial del grupo 1, deben soportar además en condiciones de emergencia, una tensión igual a 1.25 veces la tensión nominal, con una carga del 64% de la capacidad térmica del transformador, sin exceder una elevación de temperatura de (75°C).

Los transformadores del grupo 3, para sistemas hasta de 161 kV entre fases deben ser capaces, además, de operar durante 1 minuto con una tensión igual a 1.73 veces la tensión nominal entre fases y tierra, sin exceder una elevación de temperatura de (175°C).

Nivel nominal de aislamiento y nivel básico de aislamiento al impulso

Los niveles nominales de aislamiento están dados en la Tabla 2.124 para los tres grupos de transformadores.

El nivel nominal de aislamiento debe estar asociado al nivel básico de aislamiento al impulso cuyos valores están dados en la Tabla 2.124.

2.11.1.2. Transformador de corriente

La tensión nominal de aislamiento de un TC, debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice. La elevación de la tensión nominal de aislamiento depende igualmente de las condiciones especiales de la instalación elegida ver Tabla 2.125.

En climas salinosos, tropicales, con neblina o instalaciones a altitudes superiores de 1 000 m, se deberá prever un nivel de aislamiento superior.

2.11.2. CORRIENTE

2.11.2.1. Transformadores de corriente

"Corriente nominal primaria (I_p)". El valor eficaz de la corriente primaria sobre la cual se basa el funcionamiento del transformador.

Se calcula de acuerdo al consumo de carga conectada al sistema, seleccionándose generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación. En la Tabla 2.125 y se muestran los valores normalizados de corriente primaria para transformadores de corriente, así como las relaciones de transformación.

Corriente nominal secundaria

Es el valor de corriente que se obtiene de dividir la corriente nominal primaria entre la relación nominal de transformación y su valor normalizado es generalmente de 5 A., pero puede ser empleada una corriente nominal de 1 Amp, siempre que así se especifique.

Corriente nominal térmica continua (I_{th})

La corriente nominal térmica continua, debe ser 1.2 veces, la corriente nominal primaria, excepto en transformadores con rango ampliado de corriente, es decir, aquellos que satisfagan las siguientes condiciones:

Cuando la corriente térmica continua es superior a 1.2 veces la corriente nominal.

Cuando los límites del factor de corrección de la relación y del error de fase, para el 100% de la corriente nominal, se cumplan también para corrientes primarias iguales a la corriente nominal térmica continua.

2.11.3. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Las relaciones de transformación preferentes están dadas en la Tabla 2.125 y Tabla 2.126.

2.11.4. CLASE DE PRECISIÓN

La clase de precisión para TC's se designa por el máximo error admisible, en por ciento, que el transformador pueda introducir en la medición, operando con su corriente primaria con carga y frecuencia nominales, siempre y cuando al 10 por ciento de la corriente nominal primaria los errores no sean mayores de doble de los límites fijados para el 100 por ciento. Las clases de precisión normales para medición son: 0.3, 0.6 y 1.2. Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión.

Las clases de precisión para protección se indican en la Tabla 2.127.

Límites de factores de corrección de la relación (FCR) y errores de fase (β) para TC's

Los límites de los factores de corrección de la relación y de los errores de fase (para transformadores con clase de precisión entre 0.1 y 1.2 inclusive), serán tales que el transformador, operando a su corriente nominal primaria y con frecuencia y carga nominales, no deberá introducir en la medición de potencia un error mayor que el que designa su clase de precisión.

Clase de precisión y carga nominal secundaria para TP

Precisiones nominales son: 0.3, 0.6 y 1.2. Las clases de precisión se designan por el máximo error admisible expresado en por ciento, que el transformador puede introducir en la medición de potencia operando con su tensión nominal primaria y a su frecuencia nominal.

Cada clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión.

Un mismo transformador puede cumplir con varias clases de precisión según la carga que se le asocie.

Un mismo devanado puede tener varias cargas nominales de precisión, con iguales o diferentes clases de precisión.

Los valores, las designaciones y las características de las cargas nominales están dados en la Tabla 2.126 y Tabla 2.128.

Para tensiones nominales primarias distintas a las tabuladas, la característica de carga debe variarse en proporción directa al cuadrado de la relación de tensión nominal secundaria en cuestión, entre la tensión tabulada, a fin de conservar los volts, amperes y el factor de potencia.

$$\frac{VA_1}{VA_2} = \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^2 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Límites de los factores de corrección de la relación (FCR) y de los errores de fase (β) para TP

Los límites de los factores de corrección de la relación y de los errores de fase, son tales, que el transformador operando a su tensión nominal primaria y con frecuencia y cargas nominales no puede introducir en la medición de potencia un error mayor que el que designa a su clase de precisión.

Para mediciones de potencia, de energía o de cualquier otro tipo en que intervengan al mismo

tiempo los sectores de corriente y de tensión, el error que el transformador introduce en la medición está dado por:

$$E = 100(1 - FCR) + 0.029\gamma \tan \varphi \quad \text{Ecuación 2.5}$$

donde:

- E = Error introducido en la medición
- FCR = Factor de corrección de la relación
- γ = Error de fase en minutos
- φ = Angulo cuyo coseno es el factor de potencia del sistema

Capacidad térmica nominal

Se debe especificar a cada transformador la máxima carga térmica en volt amperes. Esta carga debe ser cuando menos igual a la máxima carga nominal de precisión especificada para el transformador.

En los transformadores que tienen 2 devanados secundarios a un secundario con derivaciones, se debe especificar la capacidad térmica para cada devanado o cada derivación.

Capacidad de corto circuito

Los transformadores de potencial deben ser capaces de soportar, durante un segundo los esfuerzos mecánicos y térmicos debido a un corto circuito en las terminales secundarias, manteniendo en las terminales primarias su tensión nominal, sin que la elevación de temperatura de los devanados exceda de 250°C para la clase de aislamiento 130.

2.11.5. CARGA

Carga nominales

En la Tabla 2.128 se indica la designación de las cargas nominales para medición y protección en transformadores de corriente.

Muestra del cálculo de carga de medición TC

Supóngase que tenemos conectado a un transformador de corriente un wathhorímetro, várimetro y un amperímetro, la distancia que hay entre el transformador de corriente y el tablero de medición es de 200 metros.

Los datos de consumo del equipo de medición se obtienen del fabricante, en la Tabla 2.129 se indican los consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente.

La carga total se calcula con la Ecuación 2.6.

$$P = a' + b \cdot \hat{j} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

La caída de tensión provocada por esta carga se calcula con la Ecuación 2.7.

$$e = \frac{P}{I} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

La impedancia equivalente se obtiene con la Ecuación 2.8.

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

donde:

- a = Consumo de carga activa en (Watts)
- b = Consumo de carga reactiva en (VAR)
- e = Caída de tensión en volts
- P = Carga total
- I = Corriente consumida
- Z_{eq} = Impedancia equivalente

Sustituyendo los valores de la Tabla 2.130 en la Ecuación 2.6 tenemos lo siguiente a 5A.

$$P = 2.3 + 4.8j = 5.322 \angle 64.39^\circ \text{ VA}$$

Ahora calculamos la caída de tensión con la Ecuación 2.7 y se tiene el siguiente valor.

$$e = \frac{P}{I} = \frac{5.322 \angle 64.39^\circ}{5} = 1.0644 \angle 64.39^\circ \text{ Volts}$$

Y la impedancia equivalente es:

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} = \frac{1.0644 \angle 64.39^\circ}{5} = 0.2128 \angle 64.39^\circ \Omega = 0.092 + 0.192j \Omega$$

El conductor utilizado es calibre 12 AWG a 50°C y su impedancia en los 200 m es:

$$Z_{cond} = 1.216 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al transformador es:

$$Z_{total} = Z_{eq} + Z_{cond} = 0.92 + 0.192j + 1.216 + 0j = 2.136 + 0.192j \Omega$$

La carga mínima designada a 5 amp es: 100 A. de carga nominal y 2 ohms de resistencia, a 9.2 de inductancia y 4.0 de impedancia.

Ejemplo muestra de cálculo de carga de protección

Supóngase que se tiene conectado al transformador de corriente un relevador de sobrecorriente de fase con retardo de tiempo (5I) y un relevador de sobrecorriente de neutro con retardo de tiempo (5IN).

Los datos de consumo de los relevadores se obtienen del fabricante, ver Tabla 2.131.

Utilizando el mismo método de cálculo del ejemplo anterior procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

$$P = 17.5 + 65.4j = 67.7 \angle 75.019^\circ \text{ VA}$$

$$e = \frac{P}{I} = \frac{67.7 \angle 75.019^\circ}{5} = 13.54 \angle 75.019^\circ \text{ Volts}$$

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} = \frac{13.54 \angle 75.019^\circ}{5} = 2.708 \angle 75.019^\circ \Omega = 0.7 + 2.62j \Omega$$

$$Z_{cond} = 1.216 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al transformador es:

$$Z_{total\ cond} = 2 \times Z_{cond} = 2 (1.216 + 0j) = 2.432 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al secundario del transformador es:

$$\begin{aligned} Z_{\text{total}} &= Z_{\text{eq}} + Z_{\text{total cond}} = (0.7 + 2.62\hat{j}) + (2.432 + 0\hat{j}) \\ &= 3.132 + 2.62\hat{j}\Omega \end{aligned}$$

La carga mínima designada a 5 A. es: 200 A. de carga nominal, 4.2 ohms de resistencia, 18 de inductancia y 8.0 de impedancia.

La precisión de los transformadores, se garantiza para cargas a medir cuyos factores de potencia están comprendidos entre 1.0 y 0.6 atrasados. Para mediciones de potencia de energía o cualquier otro tipo en que intervengan al mismo tiempo los vectores de corriente y de tensión, el error que el transformador introduce en la medición está dado por la Ecuación 2.9.

$$E = 100 \times (1 - \text{FCR}) + 0.029 \times \beta \times \tan \varphi$$

Ecuación 2.9

donde:

- E = Carga total
- FCR = Corriente consumida
- β = Impedancia equivalente
- φ = Angulo cuyo coseno es el factor de potencia de la carga por medir

Dentro del rango de factores de potencia de la carga para la que se garantiza la precisión de los transformadores, el de 0.6 atrasado es el que mayor influencia tiene sobre el error de medición E, según la fórmula anterior, por lo que los límites permisibles del error de fase β para garantizar la precisión están dadas por:

$$\beta = 26 \times [E_a - 100 \times (1 - \text{FCR})]$$

Ecuación 2.10

Resultante de considerar $\tan \varphi = \cos^{-1}(0.6) = 1.33$ y en la cual E_a es el error admisible en %, según la clase de precisión ver Tabla 2.127.

Las líneas oblicuas en la Ilustración 2.36 representan estos valores límites de beta contra los valores de FCR. Para mediciones de corriente en aparatos en que se considera sólo la magnitud de ella, sin importar su relación con el vector tensión, los límites del factor de corrección de la relación están dados por las líneas horizontales de las gráficas de la Ilustración 2.36 a), Ilustración 2.36 b) e Ilustración 2.36 c) que corresponden a la fórmula:

$$E_a = [100(1 - \text{FCR})] \quad \text{Ecuación 2.11}$$

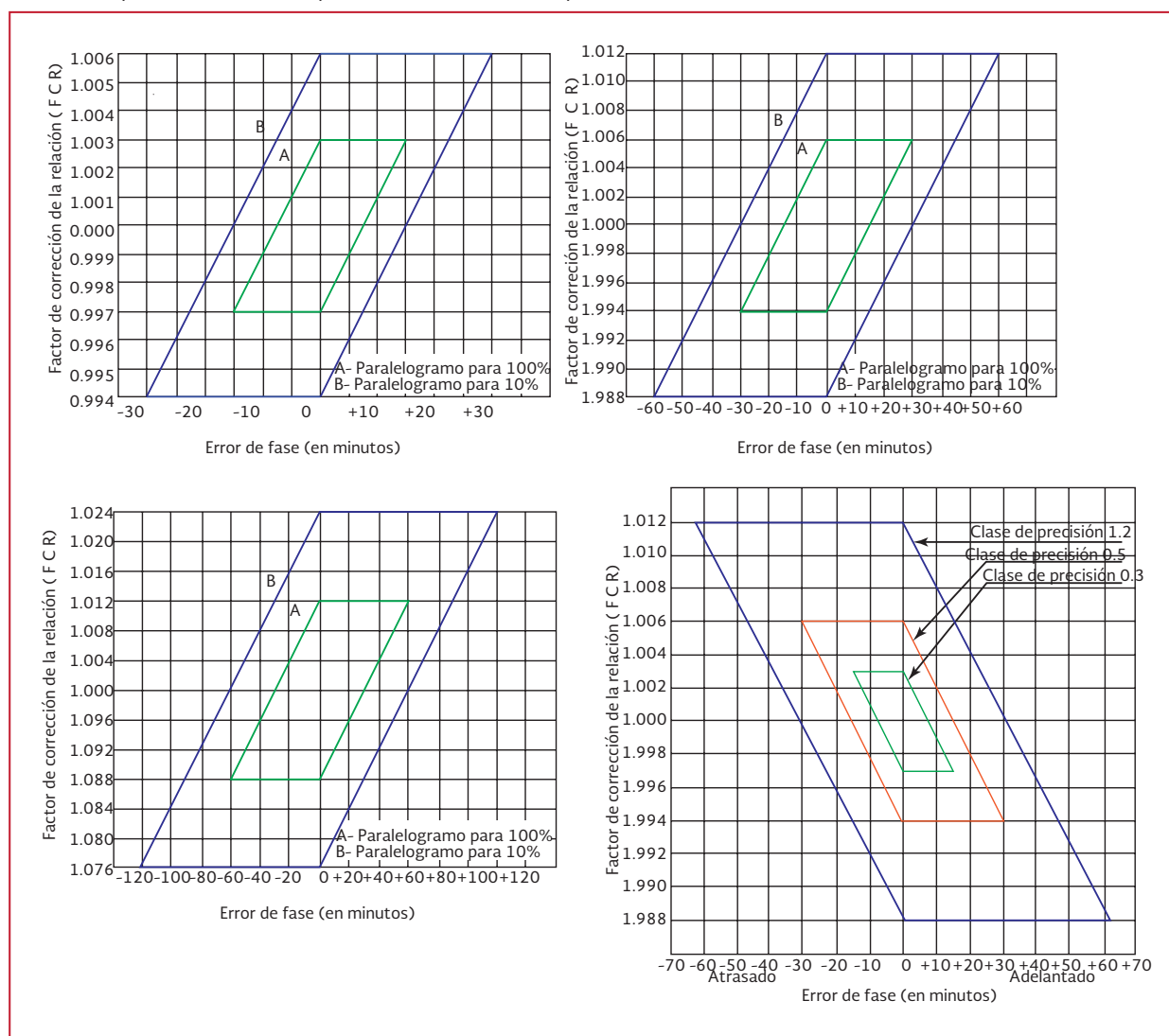
La carga nominal de un transformador de potencial, es la suma de las potencias nominales de todos los aparatos conectados al secundario. Se tienen en cuenta las caídas de tensión en las líneas, si las distancias entre el transformador y los instrumentos de medición son importantes.

Cálculo de carga sobre un transformador de potencial

En el lado secundario de un transformador de potencial tenemos 120 volts, al cual tenemos conectada la siguiente carga: voltímetro, wattmetro y un wathhorímetro.

Los datos de consumo de la carga se obtienen del fabricante se indican los consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de potencial, ver Tabla 2.132, la carga se designa con la letra X. Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con la carga nominal, para el ejemplo anterior queda: 0.6 X.

Ilustración 2.36 Límite de factor de corrección de la relación FCR y del error de fase. a) Clase 0.3 b) Clase 0.6 c) Clase 1.2 d) Clase de precisión nominales para transformadores de potencial utilizados en medición



Fuente: NMX-J-168 y NMX-J-109

La precisión de los transformadores de potencial se garantiza para cargas a medir cuyos factores de potencia del sistema están comprendidos entre 1.0 y 0.6 atrasados, a una tensión entre 90 y 110% de la tensión nominal secundaria, para las cargas nominales de precisión especificados para cada transformador, incluyendo vacío (carga cero).

Dentro de los límites de factor de potencia del sistema, para los que se garantiza la precisión de los transformadores, es el 0.6 atrasado el que ma-

yor influencia tiene sobre el error de medición E , según la fórmula anterior, por lo que los límites permisibles del error de fase γ , para garantizar la precisión, están dadas por la fórmula siguiente:

$$\gamma = 26[100(1 - FCR) - E_a] \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Que resulta de considerar $\tan \phi = 1.33$ y en el cual E_a es el error admisible expresado en porcentaje para las clases de precisión.

Los paralelogramos de la Ilustración 2.36 d) representan los valores límites del error de fase, contra los valores del factor de corrección de la relación, de tal manera que un punto que tenga como coordenada a dicha pareja de valores, debe caer dentro del paralelogramo correspondiente a la clase de precisión de que se trate.

2.11.6. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

2.11.6.1. Transformador de corriente

Tipo de servicio

Por su instalación, los transformadores de instrumentos se pueden clasificar en dos tipos.

Para servicio interior y para intemperie. Por lo general y por razones económicas, las instalaciones de baja y media tensión, hasta 25 kV, se diseñan para servicio interior y para exterior son tensiones desde 34.5 kV en adelante.

Tipos de construcción

Con base en las características de su devanado primario y considerando el montaje vertical, horizontal o invertido, los transformadores de corriente se clasifican como sigue:

Tipo devanado.- En este tipo, el devanado primario consiste de una o más espiras que rodean uno o más núcleos, los devanados primario y secundario se aíslan uno del otro, así como del o de los núcleos, ensamblándose como una estructura integral. Este tipo de construcción deberá especificarse para transformadores de corriente con devanado de relación doble o triple.

Tipo barra.- Es aquel cuyo devanado primario está constituido por un conductor recto en forma de barra, varilla o tubo que pasa a través de la ventana del núcleo; los devanados primario y secundario se encuentran aislados entre sí y están permanentemente fijos al circuito magnético. Este tipo deberá especificarse en caso de requerirse transformadores de corriente de 115 kV entre fases o más, con devanado de relación simple.

Tipo de aislamiento

Dependiendo de la tensión nominal de operación los transformadores de corriente pueden tener tres tipos de aislamiento:

- Aire (0-600 V)
- Resina epóxica (0-34.5 kV)
- Aceite (85-400 kV)

Para media tensión, los transformadores para servicio interior son fabricados con aislamiento en resina sintética, los aparatos para instalaciones exteriores son generalmente construidos con aislamiento aceite porcelana, aunque también se fabrican con aislamiento en seco, se deben especificar preferentemente los primeros, dado que los aislamientos a base de resinas epóxicas al ser expuestos a condiciones ambientales extremas han presentado grietas causadas por envejecimiento prematuro de los materiales usados, ocasionando fallas del equipo lo que representa un gran riesgo para las instalaciones.

Número de devanados

El devanado primario puede tener relación de transformación simple y doble, en algunos ca-

sos especiales hasta relación triple, la decisión de tener una relación de transformación simple o doble, obedece por lo general a los aspectos de expansión o crecimiento de la instalación eléctrica de que se trate. Los diversos valores de los transformadores de relación doble o triple se obtienen mediante conexiones serie-paralelo.

Los transformadores de corriente pueden solicitarse con uno, dos, tres y hasta cuatro devanados secundarios con circuito magnético independiente y devanado primario común; el hecho de tener circuitos magnéticos independientes permite asignar una función específica a cada devanado sin que la operación de uno afecte a los otros, prácticamente se comportan como transformadores independientes, siempre se deberá indicar el uso específico de cada devanado (medición o protección o ambos).

2.11.6.2. Transformador de potencial

Tipo de servicio

Al igual que los transformadores de corriente, los de potencial se clasifican en: Servicio interior y exterior

Tipo de construcción

El tipo de construcción en transformadores de potencial debe ser en base a devanados primarios y secundarios en un circuito magnético.

Tipo de aislamiento

Los transformadores de potencial se fabrican con tres tipos de aislamiento:

- En aire (0-600 V)
- En resina epóxica (0-34.5 kV)

- En aceite con envoltorio de porcelana (85-400 kV)

Dependiendo de la tensión nominal de operación y del tipo de servicio, deberán seleccionarse, para bajas tensiones y servicio interior, los de aislamiento en aire y los de resinas epóxicas pero por regla general, para sistemas cuya tensión nominal entre fases sea 85 kV o más, se deberán especificar transformadores de potencial sumergidos en aceite y con envoltorio de porcelana.

2.11.7. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.11.7.1. Transformador de corriente

Temperatura ambiente de operación

Se consideran dos clases de temperatura ambiente:

- a) 30°C promedio, para un período de 24 horas, con un máximo de 40°C
- b) 55°C como promedio, para el interior de tablero

La temperatura mínima para transformadores tipo intemperie es de 25°C y para transformadores tipo interior de -5°C.

Si la temperatura ambiente del lugar de utilización del transformador sobrepasa los valores indicados, el incremento de temperatura dado en la Tabla 2.133 debe reducirse proporcionalmente al exceso de temperatura ambiente.

Altitud de operación

Los transformadores de corriente deben de diseñarse para operar a una altitud de 1000 m.s.n.m. En caso de que en la hoja de datos se indique una altitud mayor, deben hacerse las correcciones

apropiadas de acuerdo a los factores de corrección de la Tabla 2.134.

Condiciones especiales

Existen algunas condiciones especiales de servicio que deben tomarse en cuenta en la selección de los transformadores.

Ejemplo de dichas condiciones son:

- a) Temperaturas ambientales, mayores a las ya especificadas
- b) Humo o vapores dañinos, polvo excesivo o abrasivo, mezclas explosivas de polvo o gas, vapor, partículas de sales, humedad excesiva o goteo
- c) Condiciones inadecuadas de transporte o almacenaje
- d) Vibraciones excesivas, choques o golpeteo
- e) Limitaciones de espacio y ventilación

Para un transformador que trabaja en altitudes superiores a 1000 m.s.n.m. se aplica la Tabla 2.135.

2.11.7.2. Transformador de potencial

Temperatura ambiente

Se consideran dos clases de temperatura ambiente:

- Para un período de 24 horas un promedio de 30° C y un máximo de 40° C
- Para el interior de los tableros un promedio de 55° C

Altitud de operación

Los transformadores de potencial deben diseñarse para operar a una altitud de 1000 m.s.n.m. En caso de que en la hoja de datos se indique una altitud mayor, deben hacerse las correcciones apropiadas de acuerdo a los factores de corrección de la Tabla 2.136.

Condiciones especiales

La máxima elevación de temperatura, sobre la temperatura ambiente, de los transformadores de potencial, no debe exceder de un valor dado en la Tabla 2.136 según la clase de aislamiento, cuando el transformador trabaja con una carga correspondiente a la capacidad térmica especificada, a frecuencia nominal y al 110 por ciento de la tensión nominal.

La temperatura de trabajo es la generada en el interior de los transformadores de potencial y por lo tanto excede la del medio ambiente. Los transformadores de potencial deben trabajar satisfactoriamente a las siguientes temperaturas mínimas:

- Transformadores tipo intemperie: 25° C
- Transformadores tipo interior : 5° C

Humos o vapores dañinos, polvo excesivo o abrasivo, mezclas explosivas de polvo o gases, vapor, partículas de sales, humedad excesiva o goteo, vibraciones excesivas, choques o golpeteo y condiciones inadecuadas de transporte o almacenaje.

Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial

Niveles de aislamiento	Datos de placa de relaciones de transformadores preferentes	Tensiones nominales primarias preferentes	Tensión usual de corto circuito	Conexión preferible del transformador	Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz.	Pruebas dieléctricas y tensión de impulso			
						Cresta	Onda corta	Nivel básico de aislamiento al impulso y onda plana	
kV	---	volts	volts	---	kV eficaces	kV eficaces	Columna 7	Columna 8	Columna 9
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 9
Grupo 1: 0.6 a 15 kV, Aislamiento completo, Limite de tensión $Y = \sqrt{3} \times \text{lim de tensión } \Delta$									
0.6	01:01	120/208 Y	120	Δ o Y	4	12	1	10	10
			208	Solo Y					
	02:01	240/416 Y	240	Δ o Y	4	12	1	10	10
416			Solo Y						
1.2	2.5:1	300/520 Y	300	Δ o Y	4	12	1	10	10
			520	Solo Y					
5.0	01:01	120/208 Y	120	Δ o Y	10	36	1	30	30
			208	Solo Y					
	02:01	240/416 Y	240	Δ o Y	10	36	1	30	30
			416	Solo Y					
	2.5:1	300/520 Y	300	Δ o Y	10	36	1	30	30
			520	Solo Y					
04:01	480/832 Y	480	Δ o Y	10	36	1	30	30	
		832	Solo Y						
05:1	600/400 Y	600	Δ o Y	10	36	1	30	30	
		400	Solo Y						
21:1	2400/4160 Y	2400	Δ o Y	19	69	1.5	60	60	
		4160	Solo Y						
8.7	35:1	4200/7280 Y	4200	Δ o Y	26	88	1.6	75	75
			7280	Solo Y					
	40:1	4600/8320 Y	4600	Δ o Y	26	88	1.6	75	75
8320			Solo Y						
15L	60:1	7200/12470 Y	7200	Δ o Y	34	110	1.8	95	95
			12470	Solo Y					
	70:1	8400/14560 Y	8400	Δ o Y	34	110	1.8	95	95
14560			Solo Y						
15H	60:1	7200/12470 Y	7200	Δ o Y	34	130	2	110	110
			12470	Solo Y					
	70:1	8400/14560 Y	8400	Δ o Y	34	130	2	110	110
14560			Solo Y						

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2. 124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)

Niveles de aislamiento	kV	Datos de placa relaciones de transformadores preferentes	Tensiones nominales primarias preferentes	Tensión usual de corto circuito	Conexión preferible del transformador	Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz.	Pruebas dieléctricas y tensión de impulso	
							Cresta	Nivel básico de aislamiento al impulso y onda plana
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
	---	volts	volts	volts	---	kV eficaces	kV eficaces	kV cresta
Grupo 2 0.6 a 69 kV, Aislamiento Completo, Límite de Tensión Y o Límite de Tensión Δ								
4	01:01	120/120 Y	120	Δ o Y	4	12	1	10
	02:01	240/240 Y	240	Δ o Y	4	12	1	10
	2.5:1	300/300 Y	300	Δ o Y	4	12	1	10
	04:01	480/480 Y	480	Δ o Y	4	12	1	10
2.5	05:01	600/600 Y	600	Δ o Y	4	12	1	10
	20:01	2 400/2 400 Y	2 400	Δ o Y	15	54	1.25	45
5	40:01:00	4 800/4 800 Y	4 800	Δ o Y	19	69	1.5	60
	60:01:00	7 200/7 200 Y	7 200	Δ o Y	26	80	1.6	75
15L	100:01:00	12 000/12 000 Y	12 000	Δ o Y	34	110	1.8	95
	120:01:00	14 400/14 400 Y	14 400	Δ o Y	34	110	1.8	95
15H	100:01:00	12 000/12 000 Y	12 000	Δ o Y	34	130	2	110
	120:01:00	14 400/14 400 Y	14 400	Δ o Y	34	130	2	110
25	200:1	24000/24000 Y	2 4000	Δ o Y	50	175	3	150
34.5	300:1	34500/34500 Y	3 4500	Δ o Y	70	230	3	200
16	400:1	46000/46000 Y	46000	Δ o Y	95	290	3	250
69	600:1	49000/49000 Y	69000	Δ o Y	140	400	3	350

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)

Niveles de aislamiento	kV	Datos de placa relaciones de transformadores preferentes	Tensiones nominales primarias preferentes	Tensión usual de corto circuito	Conexión preferible del transformador	Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz.	Pruebas dieléctricas y tensión de impulso	
							Cresta	Tiempo mínimo de arqueo
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9
	---	volts	volts	volts	---	kV eficaces	kV eficaces	kV cresta
Grupo 3: 25 a 345 kV aislamiento reducido para conectar una terminal directa a tierra								
25	120 & 200:1	14 400 para 25 000 Y	24 000	Solo Y	50	175	3	150
34.5	175 & 300:1	20 125 para 34 500 Y	34 500	Solo Y	70	230	3	200
46	240 & 400:1	27 600 para 46 000 Y	46 000	Solo Y	95	290	3	250
69	350 & 600:1	40 250 para 69 000 Y	69 000	Solo Y	140	400	3	350
92	800 & 800:1	55 200 para 92 000 Y	85 000	Solo Y	185	520	3	450
115	600 & 1 000:1	69 000 para 115 000 Y	115 000	Solo Y	275	630	3	550
138	700 & 1 200:1	80 500 para 138 000 Y	138 000	Solo Y	325	750	3	650
161	800 & 1 400:1	92 000 para 161 000 Y	161 000	Solo Y	460	865	3	750
196	1 000 & 1 700:1	115 000 para 196 000 Y	196 000	Solo Y	573	1035	3	900
230	1 200 & 2 000:1	138 000 para 280 000 Y	230 000	Solo Y	1500	1210	3	1050
287	1 500 & 2 500:1	172 500 para 287 000 Y	287 000	Solo Y	1500	1500	3	1300

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2.125 Transformadores de corriente relaciones de transformación

Tensión del sistema (kV)	Corriente térmica de cortocircuito nominal (I_{th}) (kA)	Relación de transformación primaria para medición y protección	Relación de transformación para facturación (de un solo devanado)	Relación de transformación para facturación (de dos devanados)
13.8	25	600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5	--	
	0.08 In	--	10:5 ó 50:5 ó 200:5	
23	25	600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5	--	
	0.08 In	--	10:5 ó 50:5 ó 200:5	
34.5	25	600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5	--	
	0.08 In	--	10:5 ó 50:5 ó 200:5	
69	25	300x500/600x1 000/1 200	--	
	0.08 In	--	50:5 ó 200:5	
115	31.5	300/400/500X600/800/1 000X1	--	3 000:5
	40	200/1 600/2 000		
	50	1 500/3 000		
	63	1 600/3 200		
	0.08 In	--	50:5 ó 200:5	
138	31.5	300/400/500X600/800/1 000X1		3 000:5
	40	200/1 600/2 000		
	50	1 500/3 000		
	0.08 In	--	50:5 ó 200:5	
161	31.5	600/800/1 000X1 200/1 600/2 000		2 000:5
	40	600/2 000		
	50	1 500/3 000		
	0.08 In	--	50:5 ó 200:5	
230	31.5	600/800/1 000X1 200/1 600/2 000		1 600:5
	40	600/2 000		
	50	1 500/3 000		
	0.08 In	--	50:5 ó 200:5	
400	31.5	800/1 000X1 600/2 000		1 000:5 ó 1 600:5
	40			
	50	1 500/3 000		

Fuente: NRF-027-CFE

Tabla 2.126 Cargas nominales de precisión usuales para transformadores de potencial

Tensión nominal del sistema (kV)	Tensión máxima de diseño (kV)	Relación de transformación	Clase y potencia de exactitud
13.8	15	8.400/120	0.3 W, X, Y
23.0	25.8	14.400/120	0.3 W, X, Y
34.5	38	20.125/115	0.3 W, X, Y
69.0	72.5	40.250/115	0.3 W, X, Y, Z
115.0	123.0	69.000/115	0.3 W, X, Y, Z
138.0	145.0	80.500/115	0.3 W, X, Y, Z
161.0	170.0	92.000/115	0.3 W, X, Y, Z
230.0	245.0	138.000/115	0.3 W, X, Y, Z
400.0	420.0	241.500/115	0.3 W, X, Y, Z

Fuente: NRF-026-CFE

Tabla 2.127 Clase de precisión para protección, en transformadores de corriente

Clasificación de la precisión para protección		Tensión secundaria en volts
C	T	
C-10	T-10	10
C-20	T-20	20
C-50	T-50	50
C-100	T-100	100
C-200	T-200	200
C-400	T-400	400
C-800	T-800	800

NOTAS:

1. Las tensiones nominales secundarias, están basadas en una corriente nominal de 5 Amperes y en las cargas normalizadas.
2. La clasificación "C", cubre transformadores de corriente tipo toroidal o dona, con el devanado secundario uniformemente distribuido y cualquier otro transformador en que el flujo de dispersión en el núcleo tiene un efecto despreciable sobre el error de relación, dentro de los límites de corriente y carga establecidos en esta norma.
3. La clasificación "T", cubre los transformadores en los que el flujo disperso tiene un efecto apreciable sobre el error de relación.
4. La clasificación de la precisión para protección, en transformadores tipo boquilla, con relación múltiple y derivaciones en el secundario, se aplica solamente cuando se usa el devanado completo. Para cada clase de precisión existen dos paralelogramos: uno interior, que da los límites para los errores a 100 por ciento de su corriente nominal y otro exterior, que señala los límites de los errores cuando opera el transformador al 10 por ciento de su corriente nominal

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.128 Cargas nominales para transformadores tipo boquilla, ventana para protección y medición con corriente nominal secundaria de 5 amps

Clase de protección y carga nominal	Relación
Protección	
10P20 50VA	600:5 ⁽¹⁾
	1 200:5 ⁽¹⁾
10P20 100 VA	1 200:5
	2 000:5
	3 000:5 ⁽¹⁾
10P20 200 VA	2 000:5
	3 000:5 ⁽¹⁾
Clase de medición y carga nominal	Relación
Medición	
0.2 5 VA	400:5
	800:5 ⁽¹⁾
0.2 30 VA	600:5
	1 200:5
	2 000:5
0.2 50 VA	3 000:5 ⁽¹⁾
	600:5
	1 200:5
	2 000:5
	3 000:5 ⁽¹⁾

(1) Aplica solo para pruebas prototipo del transformador que evalúa a la familia

Fuente: NRF-027-CFE

Tabla 2.129 Consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente

Aparatos	Modelo	Consumo en VA para la intensidad nominal
		Frecuencia 60 cps
Watthorímetros		0.5 a 1.5
Wattmetros de tablero	A inducción	1.5 a 3
	Electrodinámico	4 a 5
Wattmetros registradores	A inducción	1.5 a 2
	Electrodinámico	6 a 8
	Electrodinámico	1 a 4
Wattmetros portátiles	-	1.5 a 3
Wattmetrosde laboratorio	-	6 a 16
Mediciones de defasaje	-	10 a 18
Fasómetros	-	-
Relevadores	De corriente máxima con retardo independiente	3 a 10
	Relevadores especiales de corriente máxima, con atraso independiente.	15 a 25
	De máxima instantánea	1 a 10
	Direccional	1.5 a 10
	Diferencial compensado	1.6 a 10
	Diferencial	3 a 12
	A mínima de impedancia	0.5 a 2
	De distancia	6 a 20
	Según modelo	10 a 150

Tabla 2.130 Datos de ejemplo de medición

Aparato	Consumo	
	Watts	VAR
Wattorímetro	0.5	1.5
Várimetro	0.5	1.5
Amperímetro	1.3	1.8
Total:	2.3	4.8

Tabla 2.131 Datos de ejemplo de relevador

Relevador	Consumo	
	Watts	VAR
51	2.5	8.4
51N	15	57
Total:	17.5	65.4

Tabla 2.132 Datos de fabricante

Aparato	Consumo (VA)
Voltímetro	6
Wattmetro	8.5
Watthorímetro	7.5
Total:	22

Tabla 2.133 Límite del incremento de temperatura en los devanados, según su clase de aislamiento, referidos a una altura de 1000 m.s.n.m., en transformadores de corriente

Clase de aislamiento	Límites del incremento de Temperatura (°C)
Todos los tipos con devanados sumergidos en aceite (clase de aislamiento 105)	55
Todos los tipos con devanados sumergidos en compuesto asfáltico (clase de aislamiento 90)	45
90	45
105	80
120	75
130	85
155	110
180	135
más de 180	más de 135

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.134 Factores de corrección para altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m.

≥ 1000 m.s.n.m.	Factores de corrección
1 000	1.00
1 200	0.98
1 500	0.95
1800	0.92
2 100	0.89
2 400	0.86
2 700	0.83
3 000	0.80
3 600	0.75
4 200	0.70
4 500	0.67

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.135 Factores de corrección para las elevaciones de temperatura en altitudes superiores a 1 000 m. sobre el nivel del mar, en transformadores de corriente

Altitud m	Factores de corrección		Altitud m	Factor de corrección	
	Transformadores en aceite	Transformadores en seco		Transformadores en aceite	Transformadores en seco
1 100	0.996	0.995	2 100	0.956	0.945
1 200	0.992	0.990	2 200	0.952	0.940
1 300	0.988	0.985	2 300	0.948	0.935
1 400	0.984	0.980	2 400	0.944	0.930
1 500	0.980	0.975	2 500	0.940	0.925
1 600	0.976	0.970	2 600	0.936	0.920
1 700	0.972	0.965	2 700	0.932	0.915
1 800	0.968	0.960	2 800	0.928	0.910
1 900	0.964	0.955	2 900	0.924	0.905
2 000	0.960	0.950	3 000	0.920	0.900

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.136 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 m sobre el nivel del mar (transformadores de potencial)

Clase de aislamiento	Temperatura ambiente 30 °C		Temperatura ambiente 55 °C	
	Temperatura promedio °C	Temperatura punto más caliente °C	Temperatura promedio °C	Temperatura punto más caliente °C
Clase 105 sumergidos en aceite	55	65	30	40
Clase 105 tipo seco	55	65	30	40
Clase 130 tipo seco	80	110	55	85

Fuente: NMX-J-168

2.12. APARTARRAYOS DE ÓXIDO METÁLICO ¹¹

La selección de un apartarrayos de óxido metálico con valor nominal adecuado está basado en consideraciones de la tensión máxima continua de operación, de la magnitud y duración de las sobretensiones en el lugar donde está instalado el apartarrayos, cuando está afectado por fallas de fase a tierra, técnicas del sistema de puesta a tierra, sobretensiones transitorias por desconexión y otras causas. Ver las reglas de aplicación del fabricante para la selección del apartarrayos específico a ser usado en un sitio particular.

En la Ilustración 2.37 se muestra un ejemplo de un apartarrayos.

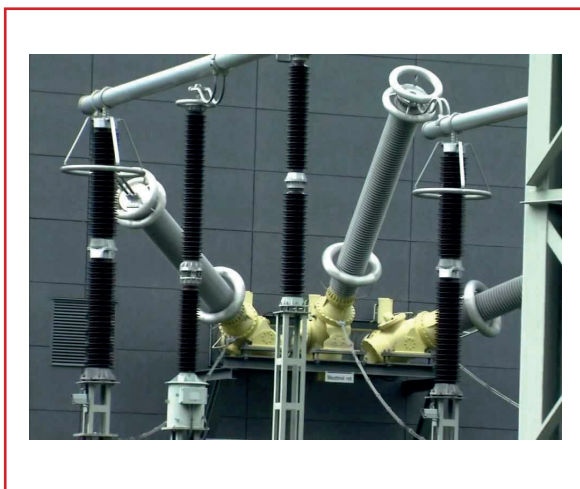
2.12.1. CLASE

Los apartarrayos se clasifican de acuerdo a sus corrientes de descarga nominal normalizadas :

- a) 20 000 A
- b) 10 000 A

¹¹ Fuente: NMX-J-321, NRF-004-CFE

Ilustración 2.37 Apartarrayos



- c) 5 000 A
- d) 2 500 A
- e) 1 500 A

2.12.2. TENSIÓN NOMINAL Y MÁXIMA CONTINUA DEL SISTEMA

2.12.2.1. Tensión nominal

Es el valor de tensión a la que está diseñado el apartarrayos para operar en caso de falla, los valores para cada nivel de tensión de operación se indican en la Tabla 2.137.

2.12.2.2. Tensión máxima continua de operación

Es la tensión permanente máxima que soporta el apartarrayos sin sufrir ningún daño y no debe exceder nunca la tensión máxima de diseño, los valores se muestran en la Tabla 2.137.

2.12.2.3. Tensión máxima a la descarga

Es el valor máximo de la tensión que aparece en las terminales del apartarrayos durante la descarga de la corriente de falla, los valores se muestran en la Tabla 2.138.

2.12.2.4. Tensiones de prueba a frecuencia nominal

Deben de soportar sin flameo las pruebas de frecuencia nominal en seco y en húmedo.

2.12.3. TENSIÓN NOMINAL

Los valores normalizados de tensiones nominales para apartarrayos (en kV eficaz) se especifican a continuación:

- 3 kV
- 30 kV
- 54 kV
- 96 kV
- 288 kV
- 396 kV
- 756 kV

2.12.4. CORRIENTE DE DESCARGA NOMINAL

Las corrientes e descarga nominales normalizadas de 80/20 μ s son:

- a) 20 000 A
- b) 10 000 A
- c) 5 000 A
- d) 2 500 A
- e) 1 500 A

2.12.5. TENSIÓN DE AGUANTE

2.12.5.1. Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica y polimérico

Apartarrayos de óxidos Metálicos con envoltente Polimérico. Cuentan con un menor tamaño y menor peso. Gran flexibilidad de obtener los valores de distancia de fuga a través de los faldones, acortando la longitud del cuerpo del apartarrayo. Su envoltente de Silicón cuenta con una gran hidrofobicidad, resiste los rayos UV, limita las corrientes de fuga, elimina los costos de lavado y permite incrementar el tiempo de vida de estos equipos. Pueden ser utilizados en ambientes altamente contaminantes, ver Tabla 2.139, Ilustración 2.38 e Ilustración 2.39.

2.12.6. AGUANTE DEL AISLAMIENTO

La envoltente del apartarrayo debe aguantar las siguientes tensiones:

- a) Nivel de protección al impulso de rayos por apartarrayos, multiplicar por 1.3
- b) Nivel de protección al impulso por maniobra del apartarrayo, multiplicar por 1.25
- c) Tensión a 60 Hz, en condiciones en húmedo para las envoltentes de los apartarrayos para uso interperie y en condiciones en seco para envoltentes de uso interior

2.12.7. AGUANTE AL IMPULSO DE CORRIENTE DE LARGA DURACIÓN

Los apartarrayos deben aguantar corrientes de alta duración ver Tabla 2.140 y Tabla 2.141

2.12.8. NIVEL DE CONTAMINACIÓN

De acuerdo al tipo de contaminación del sitio, se tendrá la distancia de fuga del aislador. Los valores se indican en la Tabla 2.142.

2.12.9. CONDICIONES DE SERVICIO

2.12.9.1. Condiciones normales de servicio

Las condiciones normales de servicio para los apartarrayos de acuerdo con la NMX-J-321 son las siguientes:

Ilustración 2.38 Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica



Fuente: NRF-004-CFE

Ilustración 2.39 Apartarrayos polimérico



Fuente: NRF-004-CFE

- a) Temperatura ambiente dentro del intervalo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) Radiación solar
Nota: Los efectos de la máxima radiación solar (1.1 kW/m^2) han sido tomados en cuenta precalentado la muestra de la prueba durante las pruebas prototipo. Si existen otras fuente de calor cercana al apartarrayo, su aplicación está sujeta al acuerdo entre el fabricante y el usuario
- c) Altitud $\leq 1\ 000\text{ m}$
- d) La frecuencia de operación debe estar en el intervalo de 58 Hz a 62 Hz
- e) La tensión a la frecuencia de operación aplica continuamente entre las terminales del apartarrayo no debe exceder su tensión de operación continua
- f) Condiciones mecánicas (bajo consideraciones generales)

- g) Condiciones de contaminación (no hay requisitos por el momento)

2.12.9.2. Condiciones anormales de operación

Los apartarrayos que estén sujetos a otras condiciones de servicio o aplicación diferente pueden requerir condiciones especiales de diseño, manufactura o aplicación, para las cuales se requiere ver directamente con el fabricante.

Altitud

Por norma están diseñados para operar a una altitud de $1\ 000\text{ m.s.n.m.}$

En caso de que en la hoja de datos se indique una altura de operación mayor de $1\ 000$

m.s.n.m., se deben suministrar apartarrayos para operar satisfactoriamente a una altitud entre 1 000 y 3 000 m.s.n.m.

2.12.10. CONDICIONES DE OPERACIÓN

2.12.10.1. Características eléctricas del apartarrayos

Una vez definida la tensión nominal del apartarrayos, las características eléctricas de nivel básico al impulso, tensión máxima de descarga, pruebas de tensión a frecuencia comercial, etc., están determinadas por las normas y los valores se muestran en las tablas correspondientes.

2.12.10.2. Condiciones del sitio

Los datos de altitud, temperatura y contaminación deberán obtenerse. Para los casos en que no se tengan los datos especificados del sitio en particular, se tomarán como buenos los datos regionales en donde se localiza.

2.12.10.3. Conectores

Todos los apartarrayos deben contar con dos conectores terminales, uno para conexión a la línea tipo 4 que cumpla con la norma NEMA CC-1 y otro para conexión a tierra.

- a) El conector para conexión a la línea debe ser para recibir cables de aluminio tipo ASCR del calibre indicado en la hoja de datos. Este conector debe ser bimetálico cuando se indique en la hoja de datos
- b) El conector para conexión a tierra debe ser para recibir un cable de cobre calibre 4/0 AWG

2.12.10.4. Montaje

El fabricante proveerá los accesorios necesarios para atornillarse a superficies planas; cuando así se requiera deberán proveerse los accesorios para montaje en suspensión. Los apartarrayos secundarios se proveerán para montaje con colgadores o abrazaderas.

Tabla 2.137 Tensiones para apartarrayos

Tensión nominal del sistema (kV rmc)	Tensión nominal del apartarrayos (kv (rmc)	Tensión máxima continua que soporta el apartarrayos (kV rmc)
Apartarrayo clase II		
13.8	12	10.2
23	21	17
34.5	30	24.4
Apartarrayo clase III y IV		
13.8	12	10.5
23	21	17
	24	19.5
34.5	27	22
	30	24.4
69	54	42
	60	48
115	90	70
	96	76
	108	84
138	108	84
	120	98
161	120	98
	132	106
	144	115
230	172	138
	180	144
	192	154
400	300	240
	312	250
	336	269
	360	288

Fuente: NRF-003-CFE

Tabla 2.138 Características eléctricas del apartarrayos

Tensión Nominal del Sistema kV (rmc)	Tensión máxima continua que soporta el apartarrayos kV (rmc)	Al impulso de corriente por rayo 8/20 kV (cresta)				
		3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
13.8	12	23.5	25	36	38	44
23	21	50	53	58	66	70
	24	56	61	66	76	82
34.5	27	63	65	75	77	95
	30	70	73	78	88	103
69	54	116	121	134	149	160
	60	133	138	149	165	180
115	90	193	213	222	248	266
	96	215	227	237	264	285
	106	332	256	268	297	320
230	172	385	410	430	471	524
	180	396	422	445	485	539
	192	418	454	475	520	569
400	300	628	740	740	805	892
	312	644	770	770	840	921
	336	707	830	830	910	990
	360	760	970	970	950	1063

Fuente: NRF-003-CFE

Tabla 2.1.139 Tensión de aguante al aislamiento

Descripción corta CFE	Nivel de contaminación	Tensión nominal de apartarrayo	Al impulso 1.2/50 μ (kV cresta)	60 Hz eficaz en húmedo 1 min (kV eficaz)	Distancia min. de fuga (mm)	T.C.O. (kV eficaz)	Tensiones residuales máximas			Valor máx. de descargas parciales
							Al impulso de corriente por maniobra 30/60 μ (kV cresta)	Al impulso de corriente escarpado 1/20 μ (kV cresta)	Al impulso de corriente de rayo 8/20 μ (kV cresta)	
ADOM-10	MEDIA	10	75	240	495	84	29	36	40	10
ADOMC-12	ALTA	12	85	270	495	102	35	44	48	10
ADOM-18	MEDIA	18	125	360	830	153	53	65	72	10
ADOMC-21	ALTA	21	125	360	830	17	61	76	84	10
ADOM-27	MEDIA	27	150	600	1030	22	79	98	108	10
ADOMC-30	ALTA	30	150	600	1030	244	87	108	120	10
DOM 23 LyF	ALTA	24	150	500	830	195	67	83	92	10

Fuente: NRF-004-CFE

Tabla 2.140 Descarga de línea en apartarrayos de 20 000 A y 10 000A

Clasificación del apartarrayos	Clase de descarga de línea	Impedancia característica de la línea Z	Duración virtual de la cresta T μs	Tensión de la carga U _L kV c.d.
10 000 A	1	4.9 U _r	2 000	3.2 U _r
10 000 A	2	2.4 U _r	2 000	3.2 U _r
10 000 A	3	1.3 U _r	2 400	2.8 U _r
20 000 A	4	0.6 U _r	2 800	2.8 U _r
20 000 A	5	0.5 U _r	3 200	2.4 U _r

Fuente: NMX-J- 321

Tabla 2.141 Impulso de corriente de larga duración en apartarrayos de 5 000 A y 2 500 A

Clasificación del apartarrayos	Valor cresta de la corriente A	Duración virtual de la cresta T μs
5 000 A	75	1 000
2 500 A	50	500

Fuente: NMX-J- 321

Tabla 2.142 Distancias de fugas recomendados

Nivel de contaminación	Ejemplos de ambientes típicos	Distancia de fuga específica mínima nominal (mm/kV ²)
I-Ligero	-Áreas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción -Áreas con baja densidad de industrias o casas, pero sujeta a vientos frecuentes y/o lluvia -Áreas de agricultura ² -Áreas montañosas -Todas estas áreas deben estar situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no deben exponerse a vientos directos desde el mar ³	16.0
II-Medio	-Áreas con industrias que no producen particularmente humos contaminantes y/o con densidad media de casas equipadas con calefacción -Áreas con alta densidad de casas y/o industrias, pero sujetas a vientos frecuentes y lluvias -Áreas expuestas a viento desde el mar pero no demasiado cerca de la costa (a menos a varios kilómetros distancia) ³	20.0
III-Alto	-Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de ciudades grandes con alta densidad de plantas calefactoras productoras de contaminación -Áreas cerca del mar o en cualquier caso expuestas a vientos relativamente fuertes desde el mar ³	25.0
IV-Muy Alto	-Áreas generalmente de extensión moderada, sujetas a polvos conductores y a humo industrial depositado en capas de materiales conductores -Áreas generalmente de extensión moderada, muy cerca de la costa y expuestas a rocío de mar o a vientos de mar muy fuertes y contaminantes -Áreas desérticas, caracterizadas por la falta de lluvia durante largos periodos, expuestas a vientos fuertes acarreado arena y sal, y sujetas a condensación regular	31.0

NOTA - Esta tabla debe aplicarse sólo a aislamientos de vidrio o porcelana y no cubre situaciones ambientales como la nieve o hielo en alta contaminación, lluvia fuerte, zonas áridas, etcétera

- 1) De acuerdo con el apéndice J y/o la norma IEC 815, la distancia de fuga mínima de los aisladores entre fase-tierra ésta relacionada con la tensión más alta del sistema (fase-fase)
- 2) Uso de fertilizantes por aspersión, o la quema de residuos de cosecha puede conducir a un nivel de contaminación más altos debido a la dispersión por el viento
- 3) Las distancias desde las costas del mar dependen de la topografía del área costera y de las condiciones extremas de viento

Fuente: NMX-J-150/2

2.13. CORTACIRCUITOS FUSIBLE¹²

Los cortacircuitos fusible considerados en este capítulo son para servicio exterior para sistemas, con tensiones de hasta 34.5 kV, ver Ilustración 2.40.

A continuación se muestra las piezas de cortacircuitos según CFE:

Ver Ilustración 2.41.

- I. Herrajes de montaje a la estructura:
 1. Ménsula
 2. Contraménsula
 3. Tornillería de fijación a la cruceta
 4. Tornillería de fijación al cortacircuitos fusible
- II. Montaje del cortacircuitos fusible
 5. Aislador
 6. Conectores de ranuras paralelas
 7. Soporte del contacto superior
 8. Contacto superior
 9. Guías y ganchos para el uso del interruptor portátil para abrir con carga
 10. Percha soporte del portafusible (contiene los contactos inferiores no visibles en la Ilustración 2.41)
- III. Portafusible
 11. Tapón superior
 12. Férulas sujetadoras del tubo portafusible
 13. Tubo portafusible
 14. Ojillo de colocación
 15. Anillo de operación

¹² Fuente: NFR- 029-CFE, NMX-J-149, NMX-J-153, NOM-001-SEDE

2.13.1. TENSIÓN

2.13.1.1. Tensión nominal

Es la tensión con la que se designa la base de la unidad fusible, ver Tabla 2.143.

2.13.1.2. Tensión de interrupción

Es el valor máximo de la tensión instantánea, la cual aparece a través de las terminales de un cortocircuito fusible, durante su operación.

2.13.2. CORRIENTE

2.13.2.1. Corriente nominal

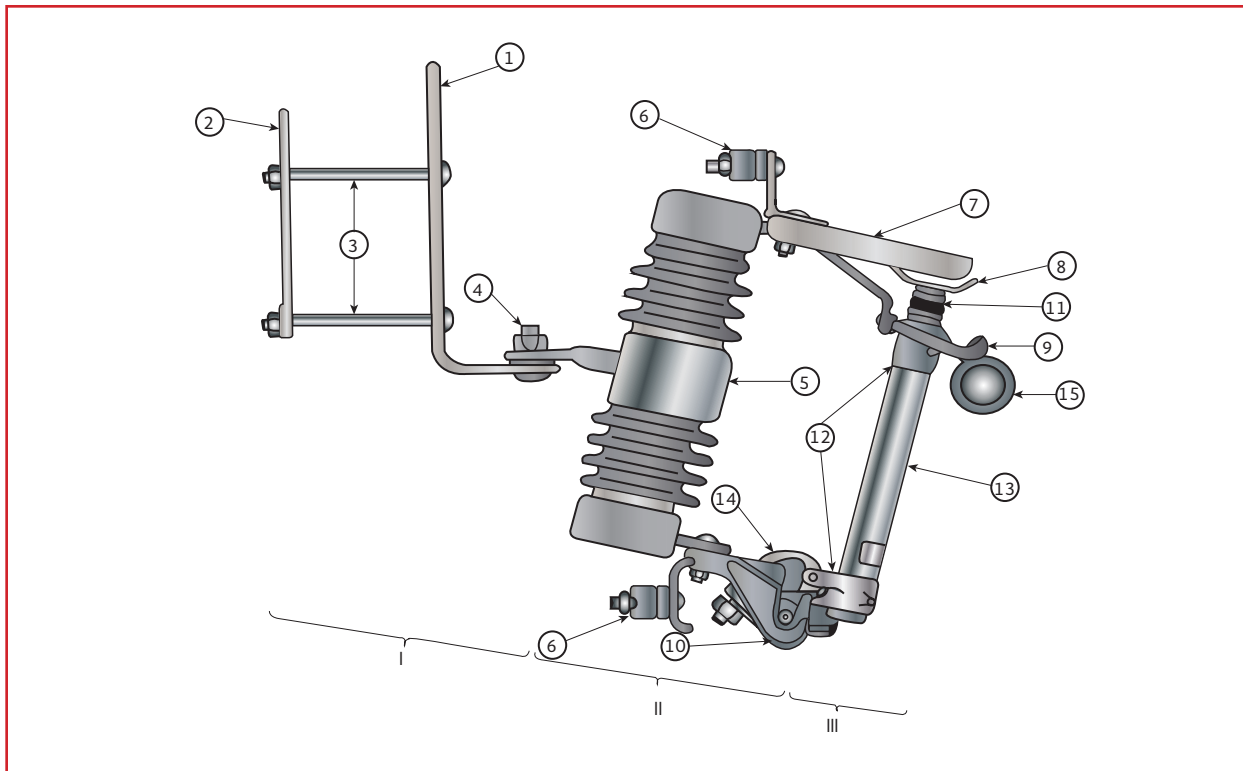
Es la corriente asignada para la base de la unidad fusible que es capaz de conducir continuamente, sin exceder la elevación de temperatura especificada, cuando esté equipada con una unidad fusible de su misma capacidad de corriente nominal, estando conectada al circuito a tensión y frecuencia nominal, ver Tabla 2.143.

Ilustración 2.40 Cortacircuito fusible de potencia



Fuente: NRF-029-CFE

Ilustración 2.41 Componentes de un cortacircuitos fusible



Fuente: NRF-029-CFE

2.13.3. NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO

Un cortacircuito fusible debe ser capaz de soportar sobretensiones transitorias originadas básicamente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación, ver Tabla 2.143

2.13.4. CORRIENTE INTERRUPTIVA

2.13.4.1. Corriente nominal de interrupción

Es el valor especificado en kiloamperes para la capacidad interruptiva de una unidad fusible.

2.13.4.2. Capacidad interruptiva

Es el valor de la corriente prospectiva de interrupción, que un cortacircuitos fusible es capaz

de interrumpir a una tensión establecida, bajo condiciones prescritas de uso y comportamiento, estos valores se indican en la Tabla 2.143.

2.13.5. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se requiere conocer la siguiente información:

- a) Posición de operación
- b) La posición de operación podrá ser horizontal o vertical
- c) Tensión nominal del sistema
- d) Corriente nominal
- e) Forma de conexión a tierra de los neutros del sistema
- f) Tipo de servicio
- g) Intemperie o interior
- h) Temperatura ambiente
- i) Altitud

2.13.6. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.13.6.1. Temperatura

El cortacircuitos fusible debe estar diseñado para operar satisfactoriamente dentro de un rango de temperatura ambiente de -10°C a $+40^{\circ}\text{C}$.

La unidad fusible y su base, deben ser capaces de conducir su corriente nominal sin exceder los límites de elevación de temperatura, Tabla 2.144.

2.13.6.2. Altitud

Los cortacircuitos fusible por norma están diseñados para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m.

En caso de que en la hoja de datos se indique una altura de operación mayor de 1 000 m.s.n.m, se deben aplicar los factores de corrección que se indican en la Tabla 2.144.

2.13.6.3. Tipo de atmósfera

Básicamente se consideran dos tipos de atmósfera:

De contaminación media

Sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que tienen este tipo de contaminación son:

- Sitios a más de 50 Km de la costa
- Campos agrícolas
- Ciudades sin industrias contaminantes
- Lugares a más de 30 Km de industrias contaminantes

De contaminación alta

Son sitios en las costas, hasta 50 Km de éstas, en que se tienen lluvias salinas y alta humedad. Sitios cercanos a plantas que producen carbón, plantas petroquímicas, cementeras y acereras.

2.13.7. RECOMENDACIONES

2.13.7.1. Tensión nominal

La tensión nominal del eslabón fusible, podrá seleccionarse de acuerdo a lo siguiente:

Si se utiliza en un sistema trifásico aterrizado, la tensión nominal de la unidad fusible, debe ser por lo menos igual al 115 por ciento de la tensión monofásica más elevada del circuito.

Si se utiliza en un sistema trifásico no aterrizado, debe considerarse la posible ocurrencia de una doble falla a tierra, una del lado de la fuente y la otra del lado de la carga del cortacircuitos fusible, así como la posibilidad de interrupción de corrientes capacitivas en el caso de una falla monofásica a tierra.

2.13.7.2. Corriente nominal

La corriente nominal mínima de diseño de un cortacircuito fusible es de 100 A, por lo que se pueden emplear para muchas capacidades de transformadores, sin embargo, es necesario calcular la corriente nominal del equipo a proteger, para seleccionar adecuadamente el eslabón fusible.

2.13.7.3. Eslabón fusible

Para la selección del eslabón fusible en el primario de un transformador que alimenta motores se debe considerar. La corriente de arranque del motor mayor y la nominal del equipo alimentado, por lo que se calcula con la siguiente Ecuación 2.13:

$$I_f = I_{am} + I_{ne} + I_r \quad \text{Ecuación 2.13}$$

donde:

I_f = Corriente del eslabón fusible

I_{am} = Corriente de arranque del motor mayor

I_{ne} = Corriente nominal del resto del equipo conectado

I_r = Corriente nominal de la capacidad de reserva

Las corrientes de los motores es necesario referirlos a la tensión del primario.

Cuando no se tengan datos de la carga instalada, se pueden emplear los valores mostrados en las Tabla 2.145 y Tabla 2.146.

Otra opción es utilizar en criterio de la norma NOM-001-SEDE:

Transformadores de tensión nominal mayor a 600 V

Primario y secundario. Cada transformador deberá tener dispositivos de protección para el primario y el secundario, de capacidad o ajuste para abrir o no más de los valores anotados en Tabla 2.147.

Transformadores de tensión de 600 V o menos

Ver Tabla 2.148.

2.13.7.4. Aisladores

Para el tipo de aisladores se debe considerar la distancia de fuga por el tipo de atmósfera:

- Contaminación media en 3.5 cm/kV
- Contaminación alta de 4.5 cm/Kv

2.13.7.5. Operación

La operación será manual, mediante pértiga para abrir o cerrar los cortacircuitos fusible, en falla la operación debe ser automática.

2.13.7.6. Conectores

Para seleccionar adecuadamente los conectores del cortacircuito fusible, es necesario considerar el material de los conductores de alimentación y carga, así como el calibre de los mismos.

2.13.7.7. Condiciones del sitio

Los datos de altitud, temperatura y contaminación deberán conocerse, para instalaciones exteriores la presión del viento no debe exceder de 700 N/m².

2.13.7.8. Nivel básico al impulso

Seleccionar del fabricante, de acuerdo a la tensión del cortacircuito fusible y considerando el grado de exposiciones a las sobretensiones por maniobra, y por rayos, así como la forma de conectar el neutro a tierra cuando se aplique, el tipo de dispositivo de protección contra sobretensiones.

Tabla 2.143 Características de operación de los cortacircuitos fusible

Descripción corta	Tensión máxima de diseño (kV)	Corriente nominal (A)	Nivel básico de aislamiento al impulso (kV)	Corriente interruptiva nominal asimétrica (A)	Clave
CCF-15-100-110-8 000	15	100	110	8 000	V41C723C72
CCF-15-100-110-10 000	15	100	110	10 000	V41C723E72
CCF-15-100-110-12 000	15	100	110	12 000	V41C723G82
CCF-27-100-150-6 000	27	100	150	6 000	V41C923A10
CCF-27-100-150-8 000	27	100	150	8 000	V41C923C72
CCF-27-100-150-12 000	27	100	150	12 000	V41C423A10
CCF-38-100-200-2 000	38	100	200	2 000	V41CA23450
CCF-38-100-200-5 000	38	100	200	5 000	V41CC23410
CCF-C-15-100-110-8 000	15	100	110	8 000	V41C723C82
CCF-C-15-100-110-10 000	15	100	110	10 000	V41C723E82
CCF-C-15-100-110-12 000	15	100	110	12 000	V41C723G82
CCF-C-27-100-150-6 000	27	100	150	6 000	V41C943A20
CCF-C-27-100-150-8 000	27	100	150	8 000	V41C753C10
CCF-C-27-100-150-12 000	27	100	150	12 000	V41C763C10
CCF-C-38-100-200-2 000	38	100	200	2 000	V41CB23410
CCF-C-38-100-200-5 000	38	100	200	5 000	V41CD23410
CCF(3D)-15-100-110-8 000	15	100	110	8 000	V41C623C1A
CCF(3D)-27-100-150-6 000	27	100	150	6 000	V41C123A10
CCF(3D)-38-100-200-2 000	38	100	200	2 000	V41CJ23410

CCF = Cortacircuitos Fusible

C = Contaminación y Corrosión

3D = Tres activaciones (disparos)

15, 27 y 38 = Tensión máxima de diseño en kV

100 = Corriente nominal en A

110, 150 y 200 = Nivel básico de aislamiento en kV

2 000, 5 000, 6 000, 8 000, 10 000 y 12 000 = Corriente máxima de interrupción asimétrica en A

NOTA: El aislamiento del CCF por su construcción puede ser de una columna recta o dos en "V".

Fuente: NRF-029-CFE

Tabla 2.144 Factores de corrección por altitud

Altitud sobre el nivel del mar	Tensión de	Factor de corrección por altitud para ser aplicado		
	Prueba	Tensión nominal	Corriente continua nominal	Temperatura ambiente
Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5
1 000	1.0	1.00	1.00	1.00
1 200	1.02	0.98	0.995	0.992
1 500	1.05	0.95	0.990	0.980
1 800	1.09	0.92	0.985	0.968
2 100	1.13	0.89	0.980	0.956
2 400	1.17	0.86	0.970	0.944
2 700	1.21	0.83	0.965	0.932
3 000	1.25	0.80	0.960	0.920
3 600	1.33	0.75	0.950	0.896
4 200	1.44	0.70	0.935	0.872

Fuente: NMX-J-149

Tabla 2.145 Capacidad para protección de corto circuito de transformadores, capacidades mínimas recomendadas

kVA	13 800 volt		22 000 volt		33 000 volt	
	Amperes		Amperes		Amperes	
	Plena carga	Capacidad fusible	Plena carga	Capacidad fusible	Plena carga	Capacidad fusible
Transformadores monofásicos						
5	--	--	--	--	--	--
10	0.73	5	--	--	--	--
15	1.08	5	--	--	--	--
25	1.81	5	1.14	5	0.76	5
37.5	2.72	5	1.70	5	1.14	5
50	3.62	7	2.28	5	1.52	5
75	5.45	10	2.28	5	1.52	5
100	7.25	15	4.55	10	3.03	7
150	10.80	25	6.80	15	4.55	10
200	14.50	30	9.10	20	6.07	15
250	18.10	40	11.40	25	7.60	15
400	28.90	65	18.20	40	12.10	25
500	36.20	80	22.80	50	15.20	30
25	1.04	5	0.65	5	0.44	5
37.5	1.57	5	0.69	5	0.66	5
50	2.10	5	1.31	5	0.87	5
75	3.14	7	1.97	5	1.31	5
100	4.19	5	2.6	5	1.75	5
150	6.21	10	3.93	10	2.62	7
200	8.35	15	5.25	10	2.62	7
300	12.50	20	7.85	15	3.50	10
450	18.80	25	11.80	25	5.20	15
500	21.00	40	13.10	30	7.87	20
750	31.40	65	19.70	40	8.73	30
1000	41.10	100	26.30	65	13.10	40
2000	83.50	200	52.50	125	16.50	80
3000	--	--	78.50	150	5.00	125
5000	--	--	--	--	87.50	200

Tabla 2.146 Elevación de temperatura para componentes y materiales

Componentes y materiales	Valor máximo de	
	Temperatura (°C)	Elevación de temperatura (°C)
Contactos de cobre en aire: 1. Contactos bajo presión de resorte. - Desnudos - Plateados - Estañados - Otros recubrimientos	 (75) (105) (95) (ver nota)	 (35) (65) (55) (ver nota)
2. Contactos de perno. - Desnudos - Plateados - Otros recubrimientos	 (90) (105) (ver nota)	 (50) (65) (ver nota)
Contactos de cobre en aceite: - Desnudos - Plateados, estañados o niquelados - Otros recubrimientos	 (80) (90) (ver nota)	 (40) (50) (ver nota)
Terminales atornilladas en aire: - Desnudas - Plateadas o estañadas - Otros recubrimientos	 (90) (105) (ver nota)	 (50) (65) (ver nota)
Partes metálicas que actúan como resortes.	(ver nota)	
Materiales aislantes o partes metálicas en contacto con materiales aislantes de las clases siguientes*: Clase A Clase E Clase B Clase F Clase H Clase C	 (105) (120) (130) (155) (180) (ver nota)	 (65) (80) (90) (115) (140) (ver nota)

* Las clases son de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-J-153.

1. Si el fabricante usa recubrimientos diferentes, las propiedades de estos materiales deben ser tomados en consideración.
2. La temperatura o la elevación de temperatura no deben alcanzar valores tales que cambien la elasticidad de los metales.
3. Los límites son solamente los requeridos para no causar ningún daño a las partes circundantes.

Fuente: NMX-J-153

Tabla 2.147 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)

Limitaciones sobre el lugar	Impedancia nominal del transformador	Protección del primario, más de 600 volts		Protección del secundario (ver la Nota 2)		
				Más de 600 volts		600 volts o menos
		Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible	Valor nominal del interruptor automático o fusible
Cualquier lugar	No más del 6%	600%	300%	300%	250%	125%
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)
	Más del 6%, pero máximo el 10%	400%	300%	250%	225%	125%
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)	(ver Nota 1)
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3).	Cualquiera	300%	250%	No se exige	No se exige	No se exige
		(ver Nota 1)	(ver Nota 1)			
	No más del 6%	600%	300%	300%	250%	250%
				(ver Nota 5)	(ver Nota 5)	(ver Nota 5)
	Más del 6% pero máximo el 10%	400%	300%	250%	250%	250%
				(ver Nota 5)	(ver Nota 5)	(ver Nota 5)

NOTAS:

1. Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente del secundario, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptores como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado supervisará y prestará servicio a la instalación de transformadores
4. Los fusibles accionados electrónicamente que se puedan ajustar para abrir a una corriente específica se deben ajustar de acuerdo con los ajustes para interruptores automáticos
5. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga no tenga protección independiente del secundario

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.148 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)

Método de protección	Protección del primario			Protección del secundario	
	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes	Corrientes de menos de 2 amperes	Corrientes de 9 amperes o más	Corrientes de menos de 9 amperes
Protección del primario solamente	125 % (véase nota 1)	167%	300%	No se requiere	No se requiere
Protección del primario y secundario	250 % (véase nota 3)	250 % (véase nota 3)	250 % (véase nota 3)	125 % (véase nota 1)	167 %

NOTAS:

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático no ajustable, se permitirá elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, se permitirá que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente
3. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento

Fuente: NOM-001-SEDE.

2.14. BANCOS Y CARGADORES DE BATERÍAS¹³

2.14.1. CARGADORES DE BATERÍAS

Cuando se presenta la necesidad de alimentar eléctricamente una instalación en condiciones de seguridad, no puede tolerarse ningún corte de energía, es por esto que se debe considerar en el diseño eléctrico el arreglo banco-cargador de baterías.

El cargador de baterías debe ser diseñado para uso industrial y servicio interior, las funciones deben ser controladas por microprocesador, fabricado con componentes de estado sólido. La fuente de energía eléctrica al cargador debe ser de corriente alterna y salida en corriente continua.

El cargador debe ser fabricado con componentes de electrónica de estado sólido, con control de voltaje constante, autorregulado, con rectificación de onda completa. De 2 pulsos para monofásicos y de 6 o 12 pulsos para trifásicos a base de Transistores bipolar de compuerta aislada (IGBT's) o tiristores (SCR's). El suministro de energía eléctrica al cargador debe ser de corriente alterna y la salida de corriente continua.

Los requisitos básicos para la selección del cargador de baterías son:

- j) Un valor seguro de la corriente de carga durante el tiempo que dure en operación la carga
- k) Cumplimiento de la carga en un período de tiempo compatible con el servicio involucrado

- l) Terminación exacta de la carga cuando se complete o reducción de la corriente a un valor de mantenimiento seguro

Además de los requisitos anteriores el cargador debe tener de:

- a) Máxima confiabilidad
- b) Operación automática
- c) Simplicidad en su diseño y construcción
- d) Eficiencia y FP aceptables

Existen tres tipos de cargadores de baterías, de acuerdo a los métodos de carga, los tipos de cargadores más comunes son:

Cargadores a tensión constante

En este tipo de cargadores la tensión de salida del cargador permanece constante durante todo el tiempo de carga. Se usa para los métodos de operación en flotación y para carga en potencial constante modificado; en donde si no se modifica el potencial, el resultado son regímenes de inicio extremadamente altos, requiriendo equipo extremadamente grande y costoso.

En carga de potencial constante modificado, la tensión del cargador permanece constante, pero se incluye una resistencia en la batería para limitar la corriente.

Para la carga en flotación, el valor de la tensión debe ser tal que se le suministre a la batería la corriente necesaria para compensar sus pérdidas internas y mantenerla completamente cargada pero sin sobrecarga apreciable (gasificación excesiva).

¹³ Fuente: IEEE STD 1115-2000, NRF-196- Pemex

Cargadores a corriente constante

En este tipo de cargadores, la corriente se limita a un valor casi constante y la tensión de la batería es incrementada paulatinamente. Se puede usar para baterías almacenadas o bien en baterías que sólo se usan en caso de emergencia pero que no están constantemente conectadas a una carga determinada.

Cargadores de carga disminuida

En este caso se inicia con una corriente moderadamente alta y que se reduce gradualmente a un régimen bajo, conforme se incrementa la tensión de la batería.

En cualquiera de los casos anteriores, para obtener una mejor operación, se debe considerar la carga de flotación, ya que la mayoría de las baterías estacionarias están conectadas continuamente a circuitos vitales, los cuales deben estar energizados todo el tiempo. El cargador se ajusta a una tensión la cual permite a la batería absorber la cantidad justa de corriente para mantenerse plenamente cargada, con lo que el cargador proporciona corriente para el circuito conectado. A esto se le llama carga en flotación.

Esto garantiza una batería completamente cargada y lista para cualquier emergencia.

No se aceptan baterías con contenido de plomo en ninguna de sus presentaciones

En la Tabla 2.149 Tabla 2.150 y Tabla 2.151 se muestran algunos de los valores de tensión de ajuste de los cargadores y las tensiones nominales de salida respectivamente, de los diferentes tipos

de baterías. La Ilustración 2.42 es un ejemplo de cargadores de baterías.

2.14.1.1. Capacidad de carga

El cargador de baterías debe cumplir con las funciones siguientes:

- a) Alimentar el consumo constante de amperes en corriente continua.
- b) Recargar la batería (carga de igualación).
- c) Mantener cargada la batería (carga de flotación)

A menos que se especifique otro valor en la hoja de especificaciones el cargador de baterías debe suministrarse según aplique como sigue:

- a) Para cargadores monofásicos debe ser de 6 a 30 A
- b) Para cargadores trifásicos de 35 a 600 A

El cargador de baterías debe tener capacidad suficiente para alimentar la carga total y recargar la batería desde condiciones de descarga total hasta 75 por ciento de su capacidad en 10 horas de operación, a las condiciones de altitud y temperatura indicadas.

Ilustración 2.42 Cargador de baterías



2.14.1.2. Fase

Alimentación de línea normal:

- Cargador monofásico
- Cargador trifásico

Los cargadores deben de operar normalmente bajo las siguientes condiciones según:

- a) Temperatura ambiente entre - 10 °C y 55 °C, salvo que se indique otra cosa en las características particulares. Humedad relativa entre 10 % y 95 % sin que se presente condensación en el interior del mismo
- b) Altitud sobre el nivel del mar 2 300 m

2.14.1.3. Construcción

A continuación se describen los principales componentes constructivos con los que debe de contar en un cargador de baterías.

- a) Un transformador de aislamiento tipo seco, impregnado al vacío con barniz para alta temperatura, trifásico o monofásico, para aislar eléctricamente de la fuente de alimentación y para reducir la tensión a niveles propios para el rectificador
- b) Un rectificador del tipo estado sólido, potencia constante, fase controlada, rectificación de onda
- c) completa, a seis pulsos como mínimo para rectificador trifásico
- d) Filtros de entrada para eliminar armónicos y mantener el voltaje de rizo a 0,1 V RMS (valor cuadrático medio) máximo, con batería conectada
- e) Un circuito automático para ajuste de tensión nominal, de igualación y flota-

ción, control manual en el panel frontal o relevador de tiempo para control de carga de igualación

- f) Instrumentos de medición, protección, alarmas y señalización, los instrumentos de medición y alarma deben ser del tipo estado sólido y digital. Los mínimos que se requieren son los siguientes:
 - Amperímetro digital de corriente continua
 - Voltímetro digital de corriente continua
 - Voltímetro digital de corriente alterna de entrada
- g) Protecciones mínimas
- h) Alarmas visuales y audibles
- i) Señalización en panel frontal
- j) Lámparas indicadoras
- k) Puertos de comunicación
- l) Interfaz Humano-Máquina
- m) Contactos libres de tensión

2.14.1.4. Tensiones de operación

Las tensiones de operación para la selección son las siguientes:

- a) Alimentación de línea normal:
 - Cargador monofásico: 220 o 127 V c.a., 2 fases o 1 fase, 2 hilos más 1 hilo de tierra.
 - Cargador trifásico: 480 o 220 V c.a., 3 fases, 3 hilos más 1 hilo de tierra
- b) Variación de tensión: ± 10 por ciento
- c) Variación de frecuencia: ± 5 por ciento
- d) Tensión nominal de salida: 12, 24, 48 ó 125 V c.c. (De acuerdo a requerimiento)
- e) Tensión de flotación por celda a 25 °C: 1.35 - 1.45
- f) Tensión de carga de igualación por celda a 25 °C: 1.45 - 1.55

- g) Regulación de tensión $\pm 0,5$ por ciento
- h) Máxima corriente de salida: 110 por ciento
- i) Factor de potencia mínimo: 85 por ciento

2.14.2. BANCO DE BATERÍAS

2.14.2.1. Capacidad de las baterías

Las baterías se deben alojar en bastidor abierto de acero estructural soldado. La estructura debe tener una base aislante para depositar las celdas y una barrera al final de cada lado de la hilera para evitar caídas (ver Ilustración 2.43).

Se debe determinar en base al ciclo de descarga de la batería, una secuencia de operación lógica de eventos de descarga, establecida de acuerdo a cálculos, y una tensión al final de la descarga de 1.05 V/celda. Se establece esta tensión para mejor aprovechamiento de la capacidad de las baterías. El por ciento de capacidad disponible para aplicación a futuro en nuevos proyectos se determina el 20 por

ciento y para sustitución de equipo existente podrá ser de la misma capacidad o como se solicite.

La capacidad nominal de la batería es expresada en Amperes-hora (Ah) referida a un régimen de descarga de 5 horas, a 20°C y un voltaje final por celda de 1,05. No debe haber disminución de capacidad por temperatura ambiente de 20°C hasta 25°C

2.14.2.2. Tensiones y rangos de operación

Cada celda debe cumplir con las características eléctricas siguientes:

- j) Tensión nominal por celda: 1.2 V/celda
- k) Temperatura nominal: 20°C a 25°C
- l) Rango de tensión de flotación a 25°C: 1.35 a 1.45 V/celda
- m) Rango de tensión de carga de igualación a 25°C: 1.45 a 1.55 V/celda
- n) Tensión final de descarga: 1,05 V/celda como mínimo

Ilustración 2.43 Banco de baterías



Tensión nominal y número de celdas. La batería debe cumplir con los requisitos para las tensiones nominales indicadas en la Tabla 2.149.

2.14.2.3. Componentes de un banco de baterías

- a) Placas
- b) Separador entre placas
- c) Terminales de interconexión
- d) Electrolito
- e) Vaso y cubierta
- f) Cada celda debe tener identificación permanente grabada con la siguiente información:
 - Nombre del fabricante y país de origen
 - Nombre o tipo del producto
 - Modelo
 - Capacidad en Amperes-hora
 - Régimen de descarga
 - Fecha de fabricación
- g) Capacidad de las baterías
- h) Tiempo de respaldo

2.14.3. CONDICIONES AMBIENTALES Y ATMOSFÉRICAS

El equipo debe operar satisfactoriamente en las siguientes condiciones:

- a) Temperatura
 - El cargador de baterías debe operar en forma continua en un rango de temperatura ambiente de -10°C a 40°C
 - El banco de baterías debe de operar a condiciones extremas de operación en un rango de temperatura de

-10°C a 45°C ; aun con disminución de eficiencia y vida útil

- b) Humedad relativa
 - El rango de operación debe ser del 10 al 95 por ciento sin condensación
- c) Nivel de ruido máximo
 - El nivel de ruido máximo del cargador debe ser menor a 65 dB a 1 m de distancia del equipo, medido de acuerdo a la NOM-081-SEMARNAT
- d) Altitud
 - El equipo debe ser diseñado para operar a una altitud mínima de 1 000 m.s.n.m., o la que se especifique en el proyecto

2.14.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN

2.14.4.1. Baterías níquel-cadmio

Vida útil

La vida promedio dependiendo de la aplicación se considera entre 10 y 25 años.

Almacenaje y sitio de instalación

En condiciones de almacenaje poseen muy baja autodescarga, aproximadamente del 65 al 80 por ciento de la capacidad nominal disponible se conservan después de un período de seis meses de almacenaje. No se desprenden gases corrosivos durante la carga, por lo que la batería puede ser instalada en el mismo cuarto que otros equipos.

En caso de bancos de baterías usados en subestaciones; las recomendaciones y características que debe tener el local donde se instalen serán de norma.

Confiabilidad

Las baterías Ni-Cd son consideradas como muy confiables, ya que ninguno de sus componentes son afectados por reacciones electroquímicas o por el electrólito, no existen fallas súbitas.

Características físicas y necesidades de mantenimiento

Son dimensionalmente robustas debido a la resistencia de sus componentes de acero y al diseño soldado y atornillado de las celdas, puede llegar a soportar choques y vibraciones muy severas.

No se requiere añadir agua frecuentemente, se consideran períodos largos de aproximadamente entre 3 meses a 10 años dependiendo de la aplicación.

El cambio del electrólito no es necesario en la mayoría de los casos.

Para seleccionar y determinar la capacidad del banco de baterías, es necesario tomar en cuenta las siguientes características, ver Ilustración 2.43.

2.14.4.2. Necesidades de servicio

Es necesario determinar con exactitud las características eléctricas de los aparatos o dispositivos que serán alimentados por el banco de baterías, así como el ciclo de operación.

Las cargas que estarán conectadas a las barras de corriente directa son:

- a) Bobinas de cierre
- b) Bobinas de disparo
- c) Lámparas de señalización
- d) Relevadores de protección
- e) Relevadores auxiliares
- f) Cuadros de alarma

2.14.4.3. Factor de potencia

El cargador de baterías debe tener un factor de potencia mayor o igual a 0.9 verificando conforme al método de prueba “Factor de potencia”, de la NMX-I-53 para los regímenes de flotación e igualación.

2.14.4.4. Eficiencia

Para la tensión nominal especificada los valores de eficiencia mínimos para los cargadores de baterías deben ser los que se indican en la Tabla 2.151.

2.14.4.5. Selección de gabinete según especificaciones de CFE

El gabinete del cargador de baterías debe cumplir con lo siguiente:

- Debe estar formado por un armazón de lámina de acero estructural de calibre no menor 3.18 mm de diámetro, paneles y puertas con calibre no menor de 1.98 mm de diámetros

Tanto las estructuras como los gabinetes se deben limpiar en toda la superficie con chorro de

arena o granalla de grano comercial, o en su defecto tratar la superficie químicamente y recubrirla con fosfato de zinc.

Antes del acabado final del equipo, se debe aplicar en seco una capa de epóxico catalizador de 0.025 mm de espesor. El acabado final de estructuras y gabinetes debe consistir de epóxico catalizado color gris. La aplicación del acabado final se debe hacer en seco y como mínimo dos capas de 0.038 mm de espesor cada una.

- El gabinete del cargador de baterías debe ser auto soportado y de ser necesario que integre un bastidor de tal manera que los instrumentos de medición contenidos en el gabinete queden a una altura de 1.50 m con respecto al nivel de piso termina-

do excepto cuando se indique lo contrario en características particulares y con la parte posterior diseñada para instalarse junto a la pared

- El acceso al gabinete debe ser frontal
- El cargador de baterías y el gabinete deben ser autoenfriados, esto es, tener enfriamiento por convección natural. No se aceptan cargadores con ventilación forzada. En caso necesario los gabinetes pueden estar previstos de ventilas laterales o en el frente del gabinete
- El gabinete debe contar con los medios adecuados para su izaje y soporte adecuados
- El sistema de c.a. del cual se alimenta el cargador de baterías debe estar sólidamente conectado a tierra

Tabla 2.149 Tensiones nominales de salida para baterías de níquel-cadmio

Tensión nominal del sistema (Vc.d.)	Número de celdas	Tensión mínima del sistema (V c.d.)	Tensión máxima del sistema (V c.d.)
12	9-10	10	15
24	19-20	20	30
48	38-40	42	50
125	92-100	105	145

Fuente: IEEE STD 1115-2000

Tabla 2.150 Tensiones nominales de alimentación de cargadores de baterías

Tensión de alimentación	Sistema
127 V	Monofásica-2 hilos
220 V	Trifásica-3 o 4 hilos
460 V	Trifásica-3 o 4 hilos

Tabla 2.151 Eficiencia de cargadores de batería

Corriente de salida (A)	Carga	Eficiencia mínima
Menores de 12	50%	45%
	100%	65%
De 12 a 50	50%	60%
	100%	75%
Mayores de 50	50%	70%
	100%	35%

2.15. EQUIPOS AUXILIARES DE CONTROL ¹⁴

2.15.1. TIPOS DE EQUIPOS O DISPOSITIVOS

Los equipos auxiliares de control utilizados comúnmente son:

- a) Relevadores
- b) Alternadores
- c) Secuenciadores
- d) Controladores programables
- e) Conmutadores de control
- f) Estaciones de botones
- g) Lámparas de señalización y alarma
- h) Interruptores de límite
- i) Interruptores de nivel
- j) Interruptores de presión
- k) Interruptores de temperatura
- l) Cuadros de alarma
- m) Arrancador
- n) Desconectador
- o) Seccionador

La operación de los elementos antes citados se realiza normalmente en circuitos de corriente alterna, aunque en algunas instalaciones se hace en circuitos de corriente directa o combinaciones de ambas.

Es el caso de los controladores lógicos programables, cuya operación es solo en sistemas de c.a.

Esquema de conexión

Los esquemas típicos de conexión se muestran en la información de fabricante.

El calibre debe ser dimensionado de acuerdo a la distancia existente.

Rendimiento

En el caso de los contactores, su eficiencia está determinada por la potencia requerida en VA necesarios para producir la operación de cierre de los mismos y su sostenimiento en esta posición; el caso de los relevadores es similar a lo anterior. En el caso de los interruptores, su eficiencia estará determinada por la exactitud de disparo en un rango predeterminado.

Instalación y puesta en marcha

Deben realizarse de acuerdo a los requerimientos específicos del proyecto y del propio equipo.

Ejemplos de lo anterior son: el tipo de gabinete, el ambiente, la posición dentro del gabinete, etcétera.

Así mismo, antes del arranque y puesta en marcha deberán realizarse las pruebas de operación, tensión y/o corriente de operación, Para mayor abundamiento ver el libro de *Pruebas, Puesta en Servicio, Operación y Mantenimiento de Equipo y Materiales Electromecánicos* del MAPAS".

Conectividad.

La selección de los dispositivos de control debe garantizar la conectividad y la correcta operación de los propios equipos y sus auxiliares (transformadores de control, resistencias, etc.).

Por lo anterior, se prefiere la conectividad que garantiza una sólida conexión entre los equipos,

¹⁴ Fuente: NMX-J-538/1

con terminales que eviten su separación por vibración, impacto, etcétera. Sin embargo, en el caso de equipos (PLC's y similares) conectados a través de transductores, se prefieren conectores del tipo de enchufar preformados, a fin de obtener accesibilidad para mantenimiento y pruebas de campo. Para los equipos que se interconectan a sistemas de cómputo, su alambrado deberá ser del tipo de transmisión de datos.

Características operativas

- a) Forma de servicio continuo
- b) Tipo de servicio de uso rudo
- c) Tensión nominal
- d) Clase de aislamiento
- e) Sistema de tierras

La clase de aislamiento normalizado de los equipos electromecánicos es de 60, 250, 300 y 600 volts en c.a y máximo de 250 volts en c.d.

La clase de aislamiento de los equipos estáticos varía según el tipo de equipo, siendo similar al anterior para relevadores.

En el caso de controladores lógicos programables (PLC's) el máximo es 250 volts para salidas tipo relevador. Para el sistema de tierras seguir consideraciones de fabricante.

2.15.2. CLASE

De acuerdo con el método de operación del equipo

- a) Manualmente:
 - Operación manual independiente
 - Operación manual dependiente
 - Operación semi - independiente

- b) Semiautomática
- c) Automática

De acuerdo al número de ciclos de operación que son capaces de realizar por hora, los equipos se dividen en las clases siguientes (Tabla 2.152):

2.15.3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

2.15.3.1. Numero de polos

Se considera la clasificación siguiente

- a) Polifásico
- b) Monofásico
- c) Trifásico

2.15.3.2. Tipos de corriente

Un equipo se define por las corrientes siguientes:

Corriente térmica convencional al aire libre

La corriente térmica convencional al aire libre es el valor máximo de la corriente de prueba a utilizar para las pruebas de elevación de temperatura al aire libre de un equipo sin envolvente.

Tabla 2.152 Clases de ciclos de operación

Tipo	No.	Definición
clase	1	ciclo de operación por hora
clase	3	ciclo de operación por hora
clase	12	ciclo de operación por hora
clase	30	ciclo de operación por hora
clase	120	ciclo de operación por hora
clase	300	ciclo de operación por hora
clase	1 200	ciclo de operación por hora
clase	3 000	ciclo de operación por hora
clase	12 000	ciclo de operación por hora
clase	30 000	ciclo de operación por hora
clase	120 000	ciclo de operación por hora
clase	300 000	ciclo de operación por hora

Se entiende por aire libre como el aire bajo condiciones normales en interiores, razonablemente libre de corrientes de aire y radiaciones externas.

Nota: 1 Esta corriente no es un valor nominal y no se marca obligatoriamente en el equipo. Un equipo sin envolvente es un equipo proporcionado por el fabricante sin un envolvente o un equipo proporcionado por el fabricante con un envolvente integral que normalmente no está destinado a ser el único envolvente protector del equipo.

Corriente térmica convencional encerrada

La corriente térmica convencional encerrada es el valor de la corriente establecida por el fabricante para utilizarse en las pruebas de elevación de temperatura del equipo cuando está instalado en un envolvente especificado y son obligatorias si el equipo se describe como equipo encerrado en los catálogos del fabricante

Corriente de operación asignada o potencia de operación asignada

La corriente de operación asignada de un equipo la establece el fabricante tomando en consideración la tensión de operación asignada, la frecuencia asignada, el servicio asignado, la categoría de utilización y el tipo de envolvente protector, si es apropiado.

En el caso de equipo para conmutación directa de motores individuales, la indicación de la corriente de operación asignada puede reemplazarse o complementarse por una indicación de la máxima potencia de salida asignada, a la

tensión considerada de operación asignada, del motor para el cual el equipo está destinado. El fabricante debe estar prevenido para establecer la relación supuesta entre la corriente de operación y la potencia de operación, si existen.

Corriente ininterrumpida asignada

La corriente ininterrumpida asignada de un equipo es un valor de corriente, establecido por el fabricante, que los equipos pueden conducir en servicio ininterrumpido

2.15.3.3. Tensión de alimentación y rango

De acuerdo con las normas oficiales mexicanas, las tensiones de alimentación son las siguientes:

- a) Para sistemas de corriente alterna: 120 y 220 V.c.a.
- b) Para sistemas de corriente directa: 12, 24, 48, 125 y 250 V c.d

Los equipos deben soportar sin dañarse el 110 por ciento de la tensión nominal en c.a. o c.d. y deben operar correctamente al 85 por ciento de su tensión nominal de c.a y el 80 por ciento en c.d.

Para correspondencia entre la tensión nominal de suministro del sistema y la tensión de aguan-te del equipo, ver Tabla 2.153 y Tabla 2.154.

Calibre de conductores

El calibre del conductor desde el tablero de control hasta el equipo controlado, debe ser de calibre 14 AWG como mínimo.

2.15.3.4. Capacidad

Los equipos cubiertos en este capítulo no cuentan con una capacidad interruptiva como tal dentro de sus características, ya que esta facultad la proporcionan equipos de protección como son los interruptores termomagnéticos, electromagnéticos o los fusibles. Para los equipos cubiertos en este capítulo sólo se debe considerar la característica de capacidad nominal de apertura o cierre bajo ciertas condiciones de carga (resistiva, inductiva o capacitiva).

2.15.3.5. Medio de interrupción

La corriente ininterrumpida asignada de un equipo es un valor de corriente, establecido por el fabricante, que los equipos pueden conducir en servicio ininterrumpido

NOTA 1: Un dispositivo de conmutación puede tener más de una capacidad de interrupción asignada, cada una correspondiendo a una tensión de operación y una categoría de utilización.

Para c.a., la capacidad de interrupción asignada se expresa por el valor eficaz de la componente simétrica de la corriente.

NOTA 2: Cuando sea aplicable, la norma específica del producto establece la relación entre la capacidad de interrupción asignada y la categoría de utilización.

2.15.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN

2.15.4.1. Altitud

La altitud del lugar de la instalación no debe exceder 2 000 m

NOTAS 1: Para el equipo que se va a utilizar a altitudes mayores, es necesario tener en cuenta la reducción del esfuerzo dieléctrico y el efecto refrescante del aire. El equipo eléctrico destinado para operar bajo estas condiciones, debe diseñarse o utilizarse según las condiciones de uso.

NOTAS 2: En México se fabrican y utilizan equipos para altitudes mayores que 2000 m. En este caso es necesario que los fabricantes consideren las variaciones de diseño, por ejemplo elevación de temperatura, nivel de aislamiento y parámetros mecánicos, así como realizar los ajustes necesarios o informar al usuario sobre los ajustes de los factores que apliquen a las condiciones normales de servicio.

2.15.4.2. Temperatura

La temperatura del aire ambiente no debe exceder de + 40 °C y su promedio en un período de 24 h no debe exceder de + 35 °C.

El límite inferior de la temperatura del aire ambiente es - 5 °C.

La temperatura del aire ambiente es la que existe alrededor del equipo si se proporciona sin envolvente, o alrededor del envolvente si se proporciona con un envolvente.

NOTA: Los equipos diseñados para utilizarse en temperaturas superiores a los + 40 °C (por ejemplo, forjas, cuartos de calderas, países tropicales) o por debajo de - 5 °C (por ejemplo -25 °C, como se requiere en la IEC 60439-1 para los ensambles de productos de distribución y de control de baja tensión instalados al aire libre), deben diseñarse o utilizarse de acuerdo con la norma específica del producto, cuando sea aplicable, o según las con-

diciones de uso. La información proporcionada en el catálogo del fabricante puede tomar el lugar de dichas especificaciones.

El valor de referencia normalizado para la temperatura del aire en algunos tipos de equipos, por ejemplo: interruptores automáticos o relevadores de sobrecarga para arrancadores, se indica en la norma específica del producto.

2.15.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.15.5.1. Humedad

La humedad relativa del aire no debe exceder del 50 % a una temperatura máxima de + 40 °C. Pueden permitirse humedades relativas superiores a temperaturas inferiores, por ejemplo, 90 % a + 20 °C. En caso de condensaciones ocasionales debidas a las variaciones de temperatura pueden ser necesarias medidas especiales.

NOTA: Los grados de contaminación, como se establecen en el siguiente punto, definen las condiciones ambientales con mayor precisión.

2.15.5.2. Grados de contaminación

El grado de contaminación se refiere a las condiciones ambientales para las cuales el equipo está destinado.

NOTA: El microambiente de la distancia de fuga o de la distancia de aislamiento y no el medio ambiente del equipo, determinan el efecto en el aislamiento. El microambiente puede ser mejor o peor que el medio ambiente del equipo. Éste incluye todos los factores que influyen en el aislamiento, tales como condiciones climatológicas y electromagnéticas, la generación de contaminación, etc.

Para equipo destinado a utilizarse dentro de un envoltorio o proporcionado con un envoltorio integral, se aplica el grado de contaminación del medio ambiente en el envoltorio.

Grado de contaminación 1

Sin contaminación o sólo ocurre una contaminación seca no conductora.

Grado de contaminación 2

Normalmente sólo ocurre contaminación no conductora. Sin embargo, ocasionalmente, puede presentarse una conductividad temporal causada por condensación.

Grado de contaminación 3

Ocurre contaminación conductora o contaminación seca no conductora que se convierte en conductora debido a la condensación.

Grado de contaminación 4

La contaminación genera conductividad persistente causada, por ejemplo, por polvo conductor o por lluvia o nieve.

Grado de contaminación normal de aplicaciones industriales

A menos que se establezca otra cosa en la norma específica del producto, el equipo para aplicaciones industriales generalmente es para uso en un medio ambiente con grado de contaminación 3. Sin embargo, se pueden considerarse otros grados de contaminación dependiendo de las aplicaciones particulares o del microambiente.

NOTA: El grado de contaminación del microambiente para el equipo puede influenciarse por la instalación en un envolvente.

Grado de contaminación normal de casa habitación y aplicaciones similares

A menos que se establezca otra cosa en la norma específica del producto, el equipo para casa habitación y aplicaciones similares generalmente es para uso en un ambiente con grado de contaminación 2.

2.15.5.3. Envolvente

El envolvente debe seleccionar de forma que, cuando se abra y se retire cualquier medio de protección, si existen, todas las partes que requieren acceso para la instalación y mantenimiento, según lo establezca el fabricante, sean fácilmente accesibles.

Con el fin de asegurar la conexión adecuada de los conductores externos, debe proporcionarse un espacio suficiente dentro del envolvente para acomodarlos, desde su punto de entrada en el envolvente hasta las terminales.

Las partes fijas de un envolvente metálico deben conectarse eléctricamente a las otras partes conductoras expuestas del equipo y conectarse a una terminal que les permita ser puestas a tierra o conectarse a un conductor protector.

Bajo ninguna circunstancia una parte metálica removible del envolvente debe aislarse de la parte conductora de las terminales a tierra, cuando la parte removible está en su lugar.

Las partes removibles del envolvente deben asegurarse firmemente a las partes fijas por medio

de un dispositivo tal, que no permita que las partes removibles puedan soltarse accidentalmente o desprenderse debido a los efectos de operación del equipo o a vibraciones.

Se considera que un envolvente integral es una parte no removible.

Si el envolvente se usa para el montaje de botones pulsadores, los botones deben retirarse por la parte interior del envolvente. Para retirarlos por la parte exterior, debe ser necesario el empleo de una herramienta diseñada para tal propósito.

Aislamiento

Si para prevenir el contacto accidental entre un envolvente metálico y las partes vivas el envolvente está parcialmente o completamente revestido con material aislante, el revestimiento debe asegurarse fijamente al envolvente ver Tabla 2.92 y Tabla 2.93.

2.15.6. RECOMENDACIONES

2.15.6.1. Clasificación de área

De acuerdo con la clasificación de áreas que se realice para la instalación hídrica, deben seleccionarse los equipos de control y en particular la envolvente del dispositivo. Para aplicaciones especiales se especifican gabinetes que proporcionan al equipo la protección adecuada. Por ejemplo:

- Hermético al agua y al polvo (NEMA 4)
- A prueba de gases explosivos (NEMA 7)
- Hermético al polvo y al goteo (NEMA 12). Uso en interiores

Nota Importante:

En instalaciones como plantas desaladoras, deberá tenerse especial atención a la alta salinidad, para seleccionar los enclausramiento y envolventes de los equipos, inclusive el material del que se componen, como buses, conectores, etcétera.

2.15.6.2. Tipo de montaje

Se debe de considerar el tipo de montaje (gabinete, tablero, soporte) al seleccionar equipos de control y su cubierta.

2.15.6.3. Vibración

Para aplicaciones especiales, se especifican equipos auxiliares de control con accesorios en sus partes móviles que eliminan los problemas de vibración dentro de ciertos rangos. Estas observaciones deben considerarse en los casos de aplicaciones en instalaciones móviles, como plantas de emergencia.

La selección de un equipo auxiliar de control consiste en definir una serie de características que tomen en cuenta las condiciones operativas y medio ambiente. Dependiendo del tipo de equipo que se trate, estas características pueden ser:

2.15.6.4. Contactores

- Número de polos
- Número de contactos auxiliares
- Capacidad de corriente en amperes para 8 horas de contactos principales
- Capacidad de corriente en amperes para 8 horas de contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos

- Frecuencia
- Número de operaciones sin mantenimiento
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y la operación
- Altura de operación
- Capacidad interruptiva
- Tamaño NEMA
- Peso
- Señalizaciones

2.15.6.5. Relevadores de control

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Tipo de restablecimiento
- Número, tipo y condición (NC, NA) de contactos
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas, en los contactos
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada (NEMA, ICS)
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

2.15.6.6. Relevadores de tiempo

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Número, tipo y condición (NC, NA) de contactos
- Diagrama arreglo de contactos

- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas, en los contactos
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Rango de tiempo ajustable
- Tipo de operación temporizada (posterior al energizado o desenergizado a la bobina)
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

2.15.6.7. Alternadores, secuenciadores y controladores lógicos programables

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Número de relés operadores
- Número de contactos por relevador
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos de maniobra
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación de las bobinas
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación
- Tensión nominal de alimentación
- Norma de referencia

- Capacidad de memoria RAM
- Número de entradas
- Número de salidas
- Tipo de entradas (en c.a o c.d)
- Tipo de salidas (en c.a o c.d)
- Interfaces
- Cantidad de módulos de extensión (si se requieren)
- Humedad ambiental

2.15.6.8. Conmutadores de control

- Número de contactos secos
- Diagrama de conexiones
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)
- Dimensiones
- Tipo de caja deseada
- Tipo de palanca accionadora
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

2.15.6.9. Estaciones de botones

- Número de unidades completas y por unidad
- Número de contactos por botón
- Diagrama de conexiones
- Diagrama del arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)

- Tipo de caja deseada
- Tipo de cubierta
- Tipo de contactos (sostenido, momentáneo, NA o NC, con seguro)

2.15.6.10. Lámparas de señalización y alarma

- Tipo de conexión (directa, con resistencia, con transformador)
- Tipo de capuchón
- Color de capuchón
- Potencia de la lámpara
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)
- Tipo de caja deseada
- Tipo de cubierta
- Temperatura ambiente y de operación

2.15.6.11. Interruptores de límite, temperatura y presión

- Tipo de interruptor (tipo de variable y tipo de sensor)
- Número de contactos por interruptor
- Diagrama de conexiones
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (vertical, horizontal)
- Tipo de caja deseada
- Leyendas sobre la cubierta de la caja
- Temperatura ambiente y de operación

- Altura de operación
- Rango de presión o temperatura y punto de disparo

2.15.6.12. Interruptores de nivel


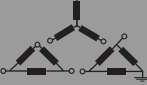


- Tipo de interruptor (flotador, electrónico, pera, etcétera)
- Número de contactos por interruptor
- Diagrama de conexiones
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en todos los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje
- Temperatura ambiente del fluido
- Altura de operación

2.15.6.13. Gabinetes de alarma

- Número de celdas (vertical y horizontal)
- Secuencia de operación
- Indicar si se incluye alarma acústica e intensidad deseada
- Tipo de lógica a utilizar (con relés encapsulados, de estado sólido, etc.)
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de gabinete
- Leyendas sobre la cubierta de las celdas
- Tamaño de letras
- Temperatura ambiente

Para mayor información referente la selección de equipos de control y distribución, consultar la NMX-J-538.


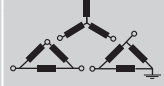


Tabla 2.153 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo (de acuerdo con la norma IEC 60099-1)

Valor máximo de operación asignada a tierra c.a. valor eficaz o c.d. V	Tensión nominal del sistema de suministro (≤ tensión de aislamiento asignada del equipo)				Valores preferentes de la tensión de aguante al impulso asignada (1,2/50 μs) a 2 000 m kV			
	 c.a. valor eficaz V	 c.a. valor eficaz V	 c.a. valor eficaz o c.d. V	 c.a. valor eficaz o c.d. V	Categoría de sobretensión			
					IV	III	II	I
					Nivel Origen de la instalación (entrada de la acometida)	Nivel Circuito de distribución	Nivel Carga (aparato, equipo)	Nivel Protección especial
50	-	-	12.5, 24, 25	60-30	0.8	0.5	0.33	-
100	66/115	66	60	-	1.5	0.8	0.5	0.33
150	120/208	115, 120	110, 120	220-110, 240-120	2.5	1.5	0.8	0.5
300	220/380, 230/400, 240/415, 254/440, 277/480	220, 230, 240, 254, 277	220	400-220	4	2.5	1.5	0.8
	347/600, 360/660, 400/690, 415/720, 480/830	347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 577, 600	480	960-480	6	4	2.5	1.5
1 000	-	660, 690, 720, 830, 1 000	1 000	-	8	6	4	2.5

En el caso de protección contra sobretensión por sistemas de distribución subterráneos o una exposición de bajos niveles keraunicos (densidad de incidencia de descarga atmosféricas en un área determinada), ver tabla abajo

Fuente: NMX-J-538/1

Tabla 2.154 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo que tiene una relación de la tensión de chispeo a la tensión asignada menor que la indicada en la norma IEC 60099-1

Valor máximo de operación asignada a tierra c.a. valor eficaz o c.d. V	Tensión nominal del sistema de suministro (\leq tensión de aislamiento asignada del equipo)				Valores preferentes de la tensión de aguante al impulso asignada (1,2/50 μ s) a 2 000 m kV			
	 c.a. valor eficaz V	 c.a. valor eficaz V	 c.a. valor eficaz o c.d. V	 c.a. valor eficaz o c.d. V	Categoría de sobretensión			
					IV	III	II	I
					Nivel Origen de la instalación (entrada de la acometida)	Nivel Circuito de distribución	Nivel Carga (aparato, equipo)	Nivel Protección especial
50	-	-	12.5, 24, 25, 30, 42, 48	60-30	1.5	0.8	0.5	0.33
100	66/115	66	60	-	2.5	0.5	0.8	0.5
150	120/208	115, 120, 127	110, 120	220-110, 240-120	4	2.5	1.5	0.8
300	220/380, 230/400, 240/415, 254/440, 277/480	220, 230, 240, 254, 277	220	400-220	6	4	2.5	1.5
	347/600, 360/660, 400/690, 415/720, 480/830	347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 577, 600	480	960-480	8	6	4	2.5
1 000	-	660, 690, 720, 830, 1 000	1 000	-	12	8	6	4

Nota: Esta tabla puede aplicarse en el caso de protección contra sobretensión por sistemas de distribución subterránea o una exposición de bajos niveles keraunicos (≤ 25).

Fuente: NMX-J-538/1

2.16. SELECCIÓN DE ARRANCADORES¹⁵

2.16.1. TAMAÑO

En la Tabla 2.155 se muestra el tamaño de terminales para la clasificación de los arrancadores.

2.16.2. CAPACIDAD INTERRUPTIVA

Es la corriente máxima que puede interrumpir un dispositivo a una tensión nominal determinada bajo condiciones de prueba. Esta capacidad está determinada en los arrancadores por sus contactos y cuando se tienen los arrancadores combinados con interruptores del tipo desconectador, fusibles, termomagnético o algún otro de similares características con la capacidad de éstos. Para los contactos en baja tensión las capacidades interruptivas son de 14 kA y 22 kA. Las capacidades de los interruptores se pueden consultar en este libro. Las capacidades en tensión media son de 50 kA en 2 300 V y 80 kA en 4 160 V.

2.16.2.1. Corriente del transformador de control

Corriente nominal

Los elementos de los arrancadores deben conducir la corriente nominal del motor o grupo de motores en forma continua, este valor se obtiene de la placa de datos de los motores, en donde se indican las corrientes a plena carga para motores monofásicos y trifásicos respectivamente o en los catálogos de los fabricantes de arrancadores o motores.

Corriente mínima

Con la frecuencia y tensión primaria nominal aplicada al transformador, y con la corriente de sello de una carga individual, o con la corriente de sello o continua de la carga más ligera que se pudiera presentar en una multiplicidad de cargas, la tensión secundaria no debe ser mayor al 105 por ciento de la tensión nominal del circuito de control.

Corriente máxima

La impedancia efectiva del transformador debe ser tal que con la frecuencia y tensión nominales aplicadas al transformador, y con una impedancia de carga correspondiente al factor de potencia y el máximo valor de corriente de carga conectada al secundario, la tensión en las terminales secundarias no debe ser menor al 95 por ciento de la tensión nominal de las bobinas de operación.

Esta condición asegura el cumplimiento de esta parte cuando contactores individuales que cierran adecuadamente al 85 por ciento de la tensión nominal aplicada directamente a la bobina del contactor, cierran adecuadamente al 90 por ciento de la tensión nominal primaria del transformador, cuando se operen desde el secundario del transformador.

2.16.3. FASES

Se considera la clasificación siguiente

- c) Monofásico
- d) Trifásico

¹⁵ Fuente: NOM-SEDE-001, NEMA ICS-2, NMX-J-290

Ilustración 2.44 Arrancador



2.16.4. TENSIÓN

2.16.4.1. Tensión de diseño

La tensión de operación máxima que pueden soportar los elementos de un arrancador sin sufrir deformaciones durante su operación es la de diseño y los distintos niveles de tensión son:

- Baja tensión en (V): 120/240, 220 Y/127, 480 Y/277, 115/230, 208Y/120, 460Y/265
- Media tensión en (V): 4 160, 13 800, 23 000, 34 500, 13 800Y/7 970, 23 000Y/ 13 280, 34 500Y/19 920, 4 000, 13 200

2.16.4.2. Tensión de operación

La tensión real a la cual funciona el sistema dentro de un rango permitido que proporcione un buen funcionamiento, este rango es generalmente entre el $\pm 10\%$ de la tensión nominal.

2.16.4.3. Tensión de control

El control de los arrancadores se realiza en baja tensión con una tensión de 120 V.c.a y 12, 24, 48, 125 o 250 V.c.d. Conectados directamente del sistema de alimentación o con transformadores de control.

En media tensión el control se realiza igualmente a una tensión de 120 V.

2.16.5. TIPO DE ARRANQUE

2.16.5.1. Clasificación de los arrancadores

Los métodos de arranque de los motores de inducción se clasifican principalmente en:

- a) A tensión plena (directamente a la red)
- b) A tensión reducida
 - Por medio de un autotransformador
 - Por medio de resistencias en serie
 - Por devanado partido
 - Por cambio de conexión (estrella-delta)
- c) Por variador de frecuencia

2.16.5.2. Arrancadores a tensión plena tipo magnéticos para motores en baja tensión

Los arrancadores magnéticos constan principalmente de un interruptor accionado magnéticamente que está controlado mediante pulsadores. Están provistos de reles térmicos de protección de sobrecarga y de mínima tensión, por contar con elementos para proteger contra una baja tensión y sobrecarga son los más recomendables a emplear. Estos arrancadores se fabrican también en tipo reversible y no reversible, y en tensiones de diseño de 250 y 600 V (baja tensión) y en capacidades desde 1.11 Kw (1.5 h.p.) hasta 447.4 kW (600 h.p.). Los interruptores a tensión plena se encuentran en el mercado en combinación con otros dispositivos instalados en el mismo gabinete como lo son:

- Arrancador magnético e interruptor sin fusible del circuito del motor
- Arrancador magnético e interruptor con fusible del circuito del motor
- Arrancador magnético e interruptor de potencia

2.16.5.3. Arrancadores a tensión plena para motores en media tensión (en aire o vacío) a 4160 volts

Los arrancadores a tensión plena en media tensión se encuentran en combinación con interruptores de potencia los que se emplean como medio de extinción del arco, cámaras de aire o vacío de los cuales se deriva su nombre comercial, consultar información de fabricante.

2.16.5.4. Arrancador magnético a tensión reducida tipo autotransformador hasta 600 V

Cuando se tiene una caída de tensión en el arranque superior al 20% hay que limitar la corriente de arranque, o cuando el par de arranque es muy severo para el equipo impulsado, se emplea un método de arranque a tensión reducida, pero el más empleado es el de autotransformador. Este tipo de arrancador usa un autotransformador entre el motor y la alimentación que reduce la tensión de arranque. Esta disponibilidad sólo se obtiene con este tipo de arrancador. La tensión reducida se obtiene por la acción del transformador y la corriente de línea que es menor que la corriente del motor.

2.16.5.5. Arrancador magnético a tensión reducida por resistencia primaria hasta 600 V

Una de las formas más comunes de arranque a tensión reducida es empleando resistencias en serie

con el motor durante su aceleración. La corriente tomada por el motor es menor, porque se disipa en las resistencias, mientras que el par es menor debido a la caída de tensión que reduce la tensión en las terminales del motor. Como el motor está acelerado, la corriente a través de las resistencias decrece para reducir la caída de tensión e incrementar la tensión en las terminales del motor. El resultado es una aceleración suave con incrementos graduales del par y de la tensión.

El ciclo de arranque es con transición cerrada, o sea que el motor nunca queda desconectado de la línea, desde el primer momento en que queda conectado hasta que el motor opera a tensión plena. El arrancador por resistencias consume potencia que se disipa por calor pero se obtiene un alto factor de potencia. Existen arrancadores de resistencias de dos puntos de aceleración (simple paso de resistencia) o de 3, 4, 5, y 6 puntos de aceleración. Si la tensión está limitada a valores en las cuales no causen parpadeos perjudiciales al alumbrado y demás servicios, la corriente tomada por los motores en el arranque debe ser limitada a valores determinados de incremento, determinando así el número de puntos de aceleración, las ventajas y limitaciones de los arrancadores a tensión reducida en la Tabla 2.155.

2.16.6. CLASE

Los controladores se pueden designar como clase A, B, o V, de acuerdo con su medio de interrupción y su habilidad de interrumpir corrientes.

Estos controladores están diseñados para interrumpir solamente sobrecargas de operación.

En general, los controladores manuales están limitados a 600 V o menos. Un controlador puede

ser una combinación de componentes operados manual o magnéticamente.

2.16.6.1. Clase A

Los controladores clase A son controladores para corriente alterna, manuales o magnéticos de interrupción en aire, en vacío o sumergidos en aceite, para servicio en 600 V o menos. Son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación.

2.16.6.2. Clase B

Los controladores clase B son controladores para corriente directa, manuales o magnéticos de interrupción en aire, para servicio en 600 V o menos. Son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación. Para las especificaciones aplicables a estos controladores, véase la sección cinco.

2.16.6.3. Clase V

Los controladores clase V son controladores para corriente alterna, manuales o magnéticos de interrupción en vacío, para servicio en 1 500 V o menos y son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación.

2.16.7. TIPO DE BLOQUEO

Bloqueo mecánico de contactores manuales y magnéticos

Los contactores que pudieran causar una falla entre líneas si estuvieran en la posición cerrada

al mismo tiempo deben bloquearse mecánicamente para evitar esta condición

Bloqueo eléctrico de contactores magnéticos

Dos o más contactores magnéticos que pudieran causar una falla entre líneas si estuvieran en la posición cerrada al mismo tiempo deben bloquearse eléctricamente mediante contactos auxiliares normalmente cerrados conectados en serie con sus bobinas.

2.16.8. APLICACIÓN

Según el tipo de maquina las aplicaciones se clasifican en estándar o severas en función de las características del arranque dadas:

- Bombas
- Ventiladores
- Compresores
- Transportadores
- Agitadores
- Mezcladoras
- Trituradores
- Prensas
- Grúas

2.16.9. TIPO DE ALAMBRADO

Los controladores manuales y magnéticos deben tener terminales adecuadas para la conexión de los cables de cobre externos que se muestran en la Tabla 2.155, cuyo aislamiento sea para 60 °C ó 75 °C nominales.

NOTA: El área transversal máxima del cable mostrado es para una temperatura ambiente de 40 °C, con base en la capacidad de conducción de corriente requerida para la corriente de servi-

cio limitada correspondiente al tamaño del controlador. El área transversal mínima del cable mostrado es para un aislamiento de 75 °C a una temperatura ambiente de 30 °C y una corriente a plena carga del motor mínima correspondiente a los kilowatts.

2.16.10. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

2.16.10.1. Tipo de ambiente de trabajo

Las condiciones ambientales no afectan la operación de los arrancadores, por lo que al realizar las especificaciones se deberá de indicar que los arrancadores deberán de protegerse considerando el tipo de ambiente en el que operan y deberá seleccionarse de la Tabla 2.157.

2.16.10.2. Temperatura ambiente

La temperatura ambiente máxima no debe exceder de 40°C y su valor promedio en 24 Horas no exceda de 35°C, indicándose las máximas. La temperatura media mínima debe ser de -5°C para arrancadores servicio interior y -25°C para arrancadores servicio intemperie.

2.16.10.3. Altitud de operación

Los valores normalizados para arrancadores están dados para operar en altitudes hasta de 1 000 m.s.n.m.

2.16.11. TIPOS DE ENVOLVENTE

Los envoltentes (diferentes de cercas o muros circundantes) de tableros de distribución, table-

ros de alumbrado y control, tableros de control industrial, centros de control de motores, medidores enchufables, interruptores con envolvente, interruptores de transferencia, salidas de energía eléctrica, interruptores automáticos, sistema de accionamiento de velocidad ajustable, interruptores de arranque, equipo de distribución de energía eléctrica portátil, cajas de terminación, transformadores de uso general, controladores de la bomba contra incendios, motores de la bomba contra incendios y controladores de motores, con tensión no mayor que a 600 volts y previstos para tales lugares, deben estar marcados con un número del tipo de envolvente acorde con la Tabla 2.156.

2.16.12. CONDICIONES OPERATIVAS

La Ilustración 2.45 muestra un ejemplo de arrancadores trifásicos.

2.16.12.1. Elementos térmicos empleados

Los elementos térmicos más empleados son los bimetálicos y los de aleación fusible. Los elementos térmicos bimetálicos se emplean en donde es posible el restablecimiento automático. Los elementos térmicos de aleación fusible se fabrican en tres diseños que son el de disparo estándar, disparo lento y disparo rápido. Las aplicaciones de estos elementos se tiene dónde se puede realizar un restablecimiento manual, empleando los de:

- Disparo estándar en motores hasta 7 segundos aproximadamente en su arranque a tensión plena

Ilustración 2.45 Arrancadores de motores trifásicos



- Disparo lento en motores de aceleración hasta de 12 segundos a tensión plena, este elemento no es recomendado para largos períodos de arranque
- Disparo rápido, son empleados para proteger bombas herméticamente selladas, sumergibles y otros tipos de motores, los cuales pueden resistir corrientes a rotor bloqueado en tiempo muy corto, o motores que tengan una baja corriente a rotor bloqueado a corriente a plena carga

2.16.12.2. Tipo de cámara de arco

Las cámaras de arco empleadas en los arrancadores son las de aire y vacío; utilizadas en baja tensión únicamente las de aire y en media tensión ambas. Su finalidad es poder interrumpir corrientes altas reduciendo el tamaño del arrancador y el peligro en su manejo.

2.16.12.3. Tipo de servicio

El tipo de servicio para los arrancadores depende de las condiciones de trabajo y montaje de los equipos principalmente y es "Interior" o "Exterior".

2.16.12.4. Tipo de montaje

El montaje de los arrancadores en baja tensión ya sea en combinación con desconectadores fusibles o interruptores termomagnéticos se realiza en gabinetes individuales o en tableros conocidos como centros de control de motores que además de soportar los arrancadores, contienen los interruptores de los sistemas de alumbrado y otros dispositivos eléctricos.

2.16.12.5. Capacidad

Para la capacidad en (h.p.) de los arrancadores ver Tabla 2.158 y Tabla 2.159.

Tabla 2.155 Tamaño de terminales

Rango mínimo de la sección transversal del conductor (Un conductor por terminal, a menos que se indique otra condición)				
Tamaño arrancador	Para conductores con asilamiento a 60°C		Para conductores con asilamiento a 75°C	
	mm²	AWG,Kcmil	mm²	AWG,Kcmil
00	2.08	14	2.08	14
0	2.08 - 5.26	14 - 10	2.08 - 5.26	14 - 10
1	2.08 - 8.37	14 - 8	2.08 - 8.37	14 - 8
1P	8.37 - 13.30	8 - 6	5.26 - 8.36	10 - 8
2	5.26 - 21.15	10 - 4	5.26 - 13.30	10 - 6
3	8.37 - 53.48	8 - 1/0	5.26 - 42.41	10 - 1
4			21.15 - 85.01	4 - 3/0
5			67.43 - 253.40	2/0 - 500
6			Dos 67.43 - Dos 253.40	Dos 2/0 - Dos 500
7			Tres 67.43 - Tres 253.40	Tres 2/0 - Tres 500
8			Cuatro 67.43 - Cuatro 253.40	Cuatro 2/0 - Cuatro 500
9				

Fuente: NMX-J-290-ANCE.

Tabla 2.156 Arrancadores para motores jaula de ardilla

Método de arranque	Características de arranque en % de valores a plena carga				Limitaciones	Ventajas
	Tensión al motor	Corriente de línea	Corriente del motor	Par de arranque		
Directo a la línea (tensión plena)	100	600	600	150	<p>Toma de alta corriente de línea durante el arranque lo cual afecta:</p> <p>Carga: El alto par de arranque resultado de un arranque repentino al accionar la máquina puede causar esfuerzos no deseados</p> <p>Capacidad en el sistema de suministro: Las limitaciones del sistema pueden prohibir la alta corriente de arranque cuando se arranca un motor grande a tensión plena</p> <p>Localización del motor: La caída de tensión debido a la corriente de arranque cuando el motor está localizado a una distancia considerable de la fuente de potencia, puede causar que otros arrancadores salgan de la línea</p>	<p>Simplicidad.</p> <p>El menos costoso y debe ser usado cuando las limitaciones no sean aplicables</p>
Reactor primario	50 65 80	300 390 480	300 390 480	25 62 64	<p>Utiliza dos contactos y un reactor</p> <p>De ahí que cuesta más y requiere de mayor espacio que un arrancador a tensión plena</p> <p>Bajo factor de potencia durante el arranque</p>	<p>Es el arrancador a tensión reducida más económico para aplicaciones a 2 400 V y mayores</p> <p>Esencialmente de transacción cerrada (el motor no se es desconectado de la línea durante la transición del arranque a tensión reducida a la marcha a tensión plena) Esto reduce los inconvenientes de transición por interruptores</p> <p>Las derivaciones de tensión permiten ajustes de la tensión de arranque</p> <p>Adecuado para largos periodos de arranque</p>
Autotransformador	Derivaciones 50 65 80	300 390 480	300 390 480	25 62 64	<p>Utiliza tres contactos y un autotransformador. De ahí que cuesta más. Y requiere mayor espacio que el tipo de reactor primario(Necesita dos secciones verticales estándar)</p> <p>Bajo factor de potencia durante el arranque</p>	<p>Provee el más alto par por ampere de corriente de línea.</p> <p>Lo mismo que el arrancador.</p> <p>Con reactor primario la corriente en el motor es mayor que la corriente de la línea durante el arranque, lo que produce el mismo par de arranque que en el arrancador con reactor primario pero con la corriente de línea reducida</p>

Tabla 2.157 Tipos de envoltente

Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales	Para uso exterior												
	Número del tipo de envoltente												
	3	3R	3S	3X	3RX	3SX	4	4X	6	6P			
Contacto accidental con el envoltente del equipo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lluvia, nieve y granizo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granizo	—	—	X	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—
Polvo en el aire	X	—	X	X	—	X	X	X	X	X	X	X	X
Lavado con manguera	—	—	—	—	—	—	X	X	X	X	X	X	X
Agentes corrosivos	—	—	—	X	X	X	—	X	—	X	—	X	X
Sumersión temporal	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	X	X
Sumersión prolongada	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	X
Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales	Para uso interior												
	Número del tipo de envoltente												
	1	2	4	4X	5	6	6P	12	12K	13			
Contacto accidental con el envoltente del equipo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polvo que cae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Líquidos que caen y salpicaduras leves	—	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas circulares	—	—	X	X	—	X	X	X	X	X	X	X	X
Asentamiento de polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas transportados por el aire	—	—	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Agua por lavado con manguera y salpicadura	—	—	X	X	—	X	X	X	X	X	X	X	X
Escape de aceite y refrigerante	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Salpicadura y rociado de aceite o refrigerante	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Agentes corrosivos	—	—	—	X	—	—	X	—	—	X	—	—	X
Sumersión temporal	—	—	—	—	—	—	—	—	X	X	—	—	—
Sumersión prolongada	—	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	—

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.158 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores monofásicos

kW	h.p..	Corriente a plena carga	Tamaño NEMA de arrancador	Corriente a plena carga	Tamaño NEMA de arrancador
		A 127 V		A 220 V	
0.124	1/6	4.0	1	2.3	1
0.186	1/4	5.3	1	3.0	1
0.248	1/3	6.5	1	3.8	1
0.373	1/2	8.9	1	5.1	1
0.559	3/4	11.5	1	7.2	1
0.746	1	14.0	1	8.4	1
1.119	1 ½	18.0	1	10	1
1.492	2	22.0	1	13.0	1
2.238	3	31.0	2	18.0	1
3.730	5	51.0	2	29.0	1
5.595	7 ½	72.0	3	42.0	2
7.460	10	91.0	3	52.0	2

Fuente: NEMA ICS-2

Tabla 2.159 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores trifásicos

kW	h.p..	Corriente a plena carga	Tamaño NEMA de arrancador	Corriente a plena carga	Tamaño NEMA de arrancador
		A 220 V		A 460 V	
0.373	1/2	2.1	1	1.0	1
0.560	3/4	2.9	1	1.5	1
0.746	1	3.8	1	1.9	1
1.119	1 ½	5.4	1	2.7	1
1.490	2	7.1	1	3.6	1
2.230	3	10.0	1	5.0	1
3.730	5	15.9	1	7.9	1
5.600	7 ½	23.0	1	11.0	1
7.46	10	29.0	2	15.0	1
11.19	15	44.0	2	22.0	2
14.92	20	56.0	3	28.0	2
18.65	25	71.0	3	36.0	2
22.38	30	84.0	4	42.0	3
29.840	40	109.0	4	54.0	3
37.300	50	136.0	4	68.0	3
44.760	60	161.0	4	80.0	4
55.950	75	201.0	5	100.0	4
74.600	100	259.0	5	130.0	4
93.250	125	326.0	5	163.0	4
119.900	150	376.0	6	183.0	5
149.2	200	502.0	6	251.0	5

Fuente: NEMA ICS-2

2.17. LÁMPARAS DE ALTA EFICIENCIA¹⁶

Existen en el mercado lámparas de alta eficiencia, entre las cuales destacan las de tipo diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés) y lámparas fluorescentes compactas autobalastadas.

2.17.1. LÁMPARAS FLUORESCENTES

Este tipo de lámpara se presenta en diferentes tamaños de bulbo, T5, T8, etcétera. Es importante tomar en cuenta la eficacia luminosa con objeto de reducir el consumo de energía en el sistema de alumbrado, ver Ilustración 2.46

Igualmente se recomienda tomar en cuenta la designación color, en función de la temperatura ambiente y el uso destinado de la instalación a iluminar.

2.17.1.1. Clasificación

Para efecto del tema las LFCA (Las lámparas fluorescentes compactas autobalastadas) se clasifican como sigue:

- a) Por potencia eléctrica, ver Tabla 2.160
- b) Tipo de envoltente
 - Sin envoltente
 - Con envoltente
 - Con reflector

2.17.1.2. Eficacia luminosa

La eficacia mínima se muestra en la Tabla 2.160.

Los balastos para LFCA, a excepción de los del tipo reactor serie, deben contar con un termoprotector de tal manera que abra el circuito de

alimentación cuando la temperatura del balastro exceda los límites que se indican en la Tabla 2.161. En lo que se refiere al termoprotector, debe observarse lo siguiente:

2.17.2. LÁMPARAS DE DIODO EMISOR DE LUZ (LED)

2.17.2.1. Clasificación

Las lámparas de diodo emisor de luz (LED) integradas se clasifican de la siguiente manera, ver Ilustración 2.47

1. Por su flujo luminoso total
2. Por su distribución espacial de luz
 - Omnidireccional
 - Direccional

2.17.2.2. Variación del flujo luminoso total nominal

El flujo luminoso total inicial medido de todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales no debe de ser menor al 90% del valor nominal marcado en el producto.

El flujo luminoso total inicial medido de todas las lámparas de LED integradas direccionales, no debe de ser menor al 90% del valor nominal marcado en el producto.

2.17.2.3. Índice de rendimiento de color (IRC)

Todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales deberán tener un IRC mínimo de 77, las lámparas de LED integradas direccionales con temperatura de color correlacionada menor o igual que 6 000 K deben tener un IRC mínimo de 77 y las lámparas de LED integradas direccionales con

¹⁶ Fuente: NOM-030-ENER, NOM-017-ENER

Ilustración 2.46 Lámparas fluorescentes



temperatura de color correlacionada mayor que 6 000 K deben tener un IRC mínimo de 75.

2.17.2.4. Factor de potencia (FP)

Para todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales con potencias eléctricas inferiores o iguales a 5 W: No es necesario especificar el FP.

En caso de que en el producto o en el empaque se establezca el FP, éste debe ser igual o mayor que lo marcado en el mismo,

Para todas las lámparas de LED omnidireccionales con potencias eléctricas superiores a 5 W: El FP deberá ser mayor o igual a 0.7 y para todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas inferiores o iguales que 5 W, no es necesario especificar el FP.

En caso de que en el producto o en el empaque se establezca el FP, éste debe ser igual o mayor que lo marcado en el mismo.

Para todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas mayores

Ilustración 2.47 Lámparas de LED



que 5 W y menor o igual a 25 W: El FP debe ser mayor o igual que 0.5, todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas mayores que 25 W el FP deberá ser mayor o igual que 0.7.

2.17.3. LUMINARIAS

La luminaria se deberá seleccionar, respetando las especificaciones del diseño y además dependerá de las siguientes condiciones, ver Ilustración 2.48:

2.17.3.1. Grados de protección eléctrica

Las luminarias deben asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico, las luminarias pueden clasificarse como:

Clase 0: Luminaria con aislamiento funcional, pero sin aislamiento doble ni reforzado en su totalidad y sin conexión a tierra.

Clase I: Luminaria con al menos aislamiento funcional en su totalidad y con el terminal o contacto de conexión a tierra.



Clase II: Luminaria con aislamiento doble y/o aislamiento reforzado en su totalidad y sin provisión para descarga a tierra.

Clase III: Luminaria diseñada para ser conectada a circuitos de voltaje extra-bajo, y que no tiene circuitos, ni internos ni externos, que operen a un voltaje que no sea el extra-bajo de seguridad.

2.17.3.2. Condiciones operativas

El sistema IP (International Protection – Protección Internacional) fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad. El término cuerpos extraños incluye aquellos elementos herramientas y dedos que entran en contacto con las partes que llevan energía.

La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos números (tres números en Francia) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en la Tabla 2.162, Tabla 2.163 y Tabla 2.164. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo, el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua, mientras que el tercer número en el sistema francés indica el grado de resistencia a los impactos. Tercera cifra del código, ésta cifra hace referencia a ensayos mecánicos a choque.

2.17.3.3. Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje

Las luminarias no pueden ser montadas sobre cualquier superficie conveniente. La inflamabilidad de esa superficie y la temperatura del cuerpo de la luminaria imponen ciertas restricciones al respecto. Naturalmente, si la superficie es no-combustible, no existe ningún problema.

A los fines de la clasificación, la EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables.

La clasificación normalmente inflamable hace referencia a aquellos materiales cuya temperatura de ignición es de al menos 200 °C y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura.

La clasificación fácilmente inflamable hace referencia a aquellos materiales que no pueden ser clasificados como normalmente inflamables o no-combustibles. Los materiales de esta categoría no pueden ser utilizados como superficie de montaje para luminarias. El montaje suspendido es la única alternativa en estos casos.

A continuación se enuncian el montaje de las luminarias:

- a) Luminarias adecuadas para montaje directo sólo sobre superficies no combustibles.
- b) Luminarias adecuadas para montaje directo sobre superficies normalmente inflamables

2.17.3.4. Clasificación condición de servicio

Luminarias para instalaciones de iluminación interior

Entendemos que dentro de este grupo están las luminarias destinadas a la iluminación de locales y naves dedicadas a centros comerciales, industrias, oficinas, edificios docentes, instalaciones deportivas cubiertas, etc. Por lo tanto,

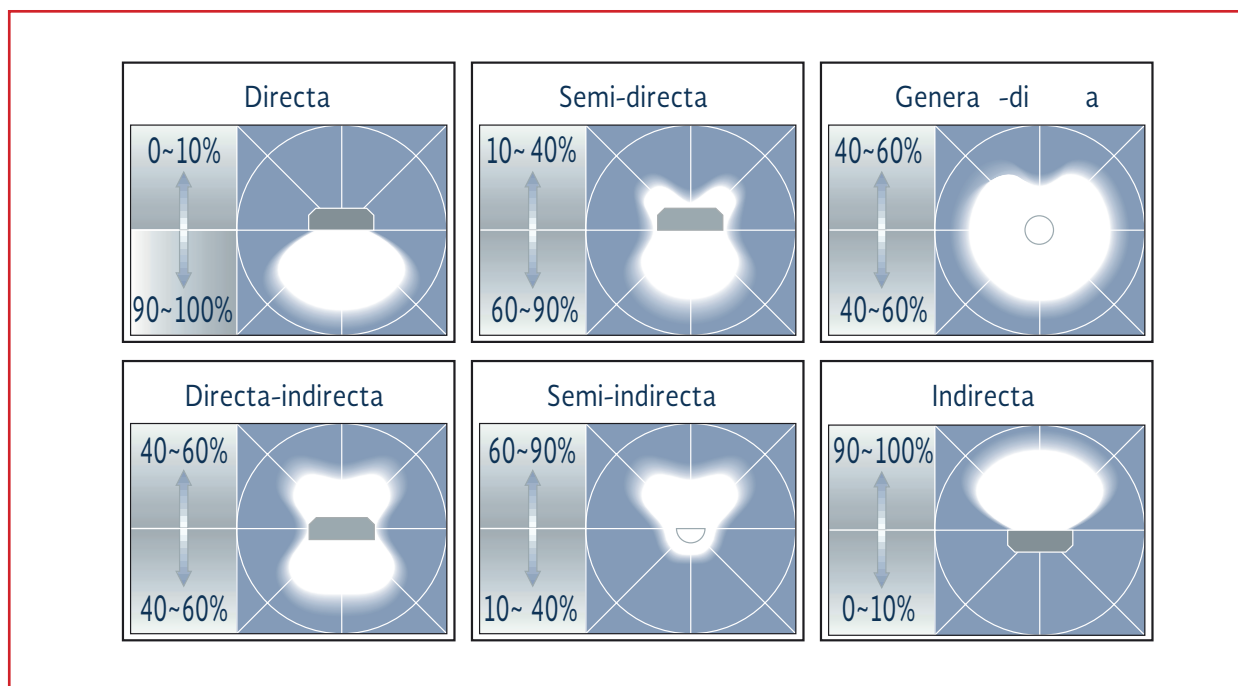
este tipo de alumbrado trata de dotar de la iluminación adecuada a aquellos lugares donde se desarrolla una actividad laboral o docente.

Las luminarias para la iluminación general de interiores se encuentran clasificadas por la C.I.E. de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal, ver Ilustración 2.49.

A su vez, con respecto a la simetría del flujo emitido, se puede hacer una clasificación en dos grupos:

1. Luminarias de distribución simétrica: Aquellas en las que el flujo luminoso se reparte de forma simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se puede representar en una sola curva fotométrica.

Ilustración 2.49 Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso



2. Luminarias de distribución asimétrica: Son aquellas en las que el flujo luminoso se distribuye de forma no simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se expresa mediante un sólido fotométrico o, parcialmente, con una curva plana de dicho sólido según diversos planos característicos

Luminarias para instalaciones de iluminación pública

Dentro de este tipo grupo tenemos luminarias de parques y jardines así como las de iluminación pública viaria. Para las primeras, son instalaciones típicas, como su nombre indica, parques, jardines, zonas residenciales, etc. En el segundo tipo tenemos vías urbanas, autopistas, túneles, etc.

La C.I.E. ha introducido un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias para iluminación de viales y así sustituir al sistema que introdujo en el año 1965, en el que se hacía la clasificación cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. No obstante, el antiguo sistema sigue siendo utilizado en ciertas recomendaciones nacionales para la iluminación de viales. Ver Ilustración 2.50.

La nueva clasificación de luminarias de la C.I.E. que reemplaza a la anterior se basa en tres propiedades básicas de las luminarias:

1. La extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo de un camino: El “alcance” de la luminaria.
2. La cantidad de diseminación lateral de la luz, a lo ancho de un camino: La “apertura”.

3. El alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria: El “control” de la luminaria

El alcance está definido por el ángulo γ_{\max} que forma el eje del haz con la vertical que va hacia abajo. El eje del haz está definido por la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las dos direcciones de $90\% I_{\max}$ en el plano vertical de intensidad máxima, ver Ilustración 2.51.

Luminarias para instalaciones de iluminación por proyección

Dentro de este tipo podemos encuadrar las destinadas a instalaciones deportivas cubiertas y al aire libre, fachadas, áreas de trabajo, áreas de vigilancia, etc.

Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada.

Las lámparas utilizadas para la iluminación con proyectores van desde lámparas con reflectores de vidrio prensado y lámparas halógenas hasta lámparas de mercurio de alta presión, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta y baja presión. Todas vienen en varios voltajes y cada una proporciona un tipo y cantidad especial de luz, efectos de color y eficiencia.

El montaje, cambio de lámparas y limpieza generalmente deben ser realizados a una altura considerable sobre el nivel del suelo, por lo tanto es necesario un diseño ergonómico de la luminaria para que estas operaciones resulten lo más fáciles posibles.

Ilustración 2.50 Ejemplos de curvas fotométricas con su clasificación

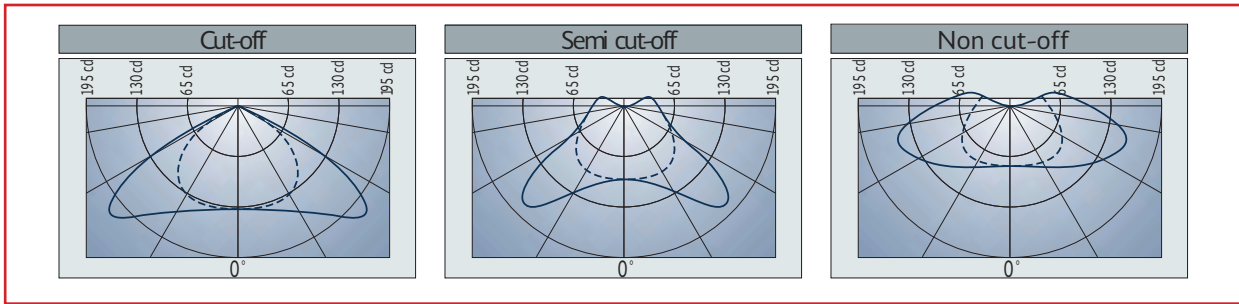
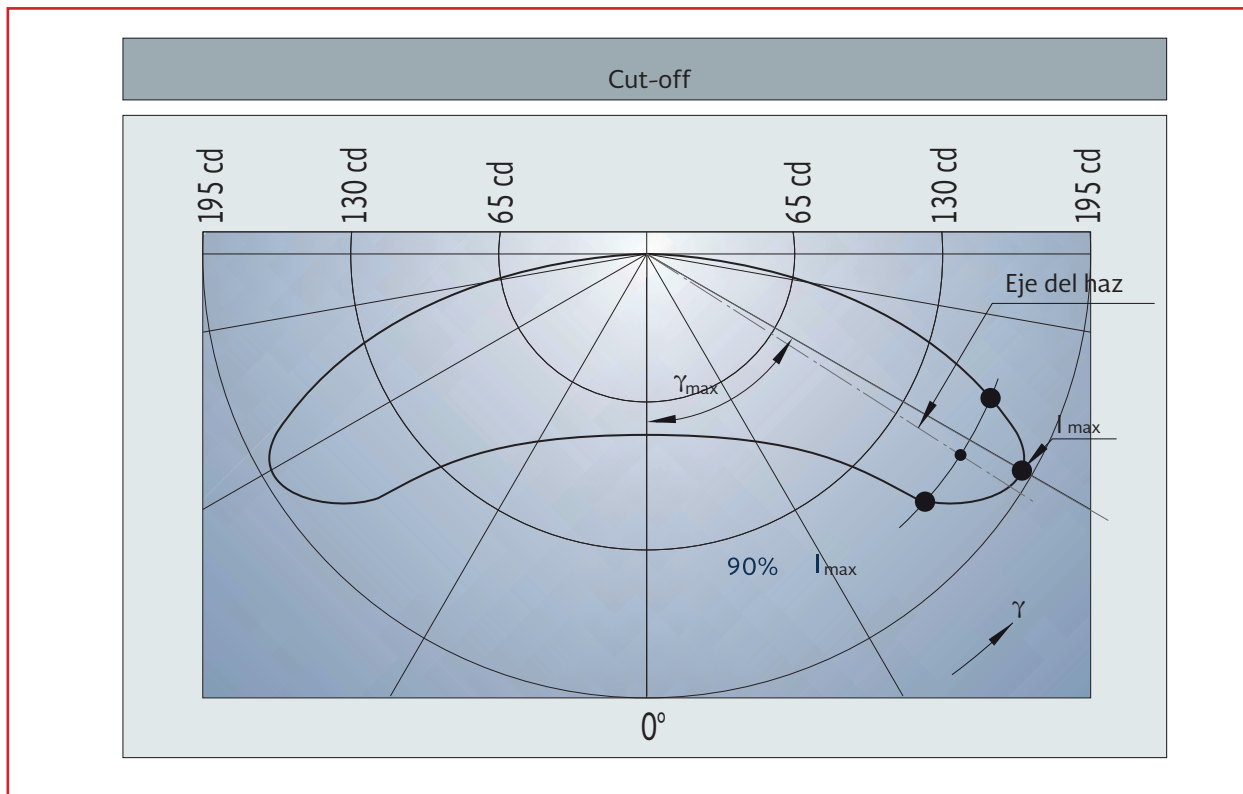


Ilustración 2.51 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance



Desde el punto de vista de la distribución de luz, los proyectores se agrupan en tres grupos básicos: con simetría, de rotación simétricas y asimétricas.

2.17.3.5. Radiación de flujo luminoso

Hemos visto que en las hojas de información de luminarias aparecen una serie de diagramas que

nos indican las peculiaridades fotométricas de la misma. En este apartado vamos a ver dos términos asociados a la obtención de dichas curvas.

Centro fotométrico

La mayoría de los cálculos que se realizan se hacen bajo la suposición de que las luminarias son fuentes de luz puntuales, por eso hay que buscar

un punto del espacio limitado por la luminaria que nos sitúe la fuente luminosa puntual imaginaria equivalente.

Para ángulos próximos al nadir, prácticamente no existen diferencias entre datos fotométricos de una misma luminaria dados por distintos laboratorios de medida. Donde sí pueden existir diferencias es para ángulos grandes, por ejemplo 80° y 88° , si no se establece de un modo inequívoco dónde está situado el centro fotométrico de la luminaria.

El centro fotométrico es un punto de una luminaria o de una lámpara a partir del cual se cumple mejor la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en la dirección de la intensidad máxima. O lo que es lo mismo, es el punto donde se sitúa, con el único fin de simplificar los cálculos fotométricos, la fuente luminosa puntual imaginaria, que tiene la misma distribución espacial de intensidades luminosas que la luminaria.

La C.I.E. (International Commission Illumination) ha establecido en sus publicaciones las reglas para localizar dicho centro fotométrico para diferentes tipos de luminarias.

Sistemas de coordenadas fotométricas

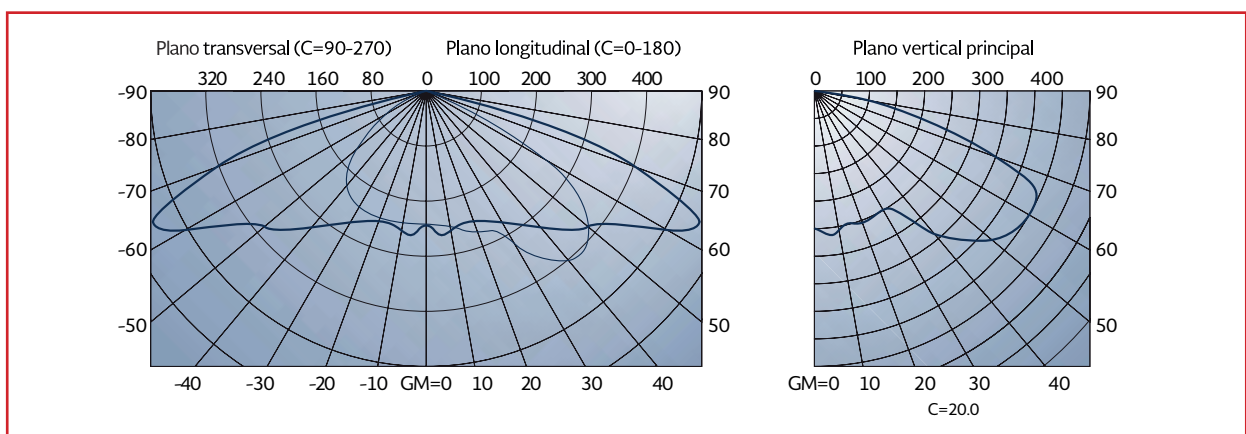
Cada una de las direcciones del espacio por la cual se radia una intensidad luminosa, queda determinada por dos coordenadas.

En las hojas de información fotométrica para luminarias de interior, alumbrado público y proyectores, se utilizan principalmente las representaciones obtenidas mediante tres sistemas de coordenadas, que son los más usados normalmente. Dichos sistemas son los $A-\alpha$, $B-\beta$ y $C-\gamma$, ver ejemplos en la Ilustración 2.52 e Ilustración 2.53

El sistema de coordenadas $C-\gamma$ está definido en las publicaciones de la C.I.E. Sin embargo, no hay un acuerdo internacional sobre la definición de los sistemas $A-\alpha$ y $B-\beta$ y los ensayos, para la obtención de estos dos últimos, son distintos en función del país que los haga.

Cuando se aplica a la fotometría de estos tipos de luminarias el eje de referencia es siempre vertical y dirigido hacia el punto más bajo (nadir).

Ilustración 2.52 Diagrama isocandela para el sistema $C-\gamma$



Todos los sistemas constan de un haz de planos con un eje de intersección, a veces llamado “eje de rotación”.

Los sistemas difieren entre sí con respecto a la orientación del eje de intersección en el espacio en relación con el eje de la luminaria.

En cada caso una dirección en el espacio está caracterizada por un ángulo medido entre dos planos y un ángulo medido en uno de los planos.

Para ensayar proyectores, se usan sistemas adaptados al eje horizontal, pero su denominación varía en los diferentes países.

Ilustración 2.53 Diagrama polar en el sistema B- β

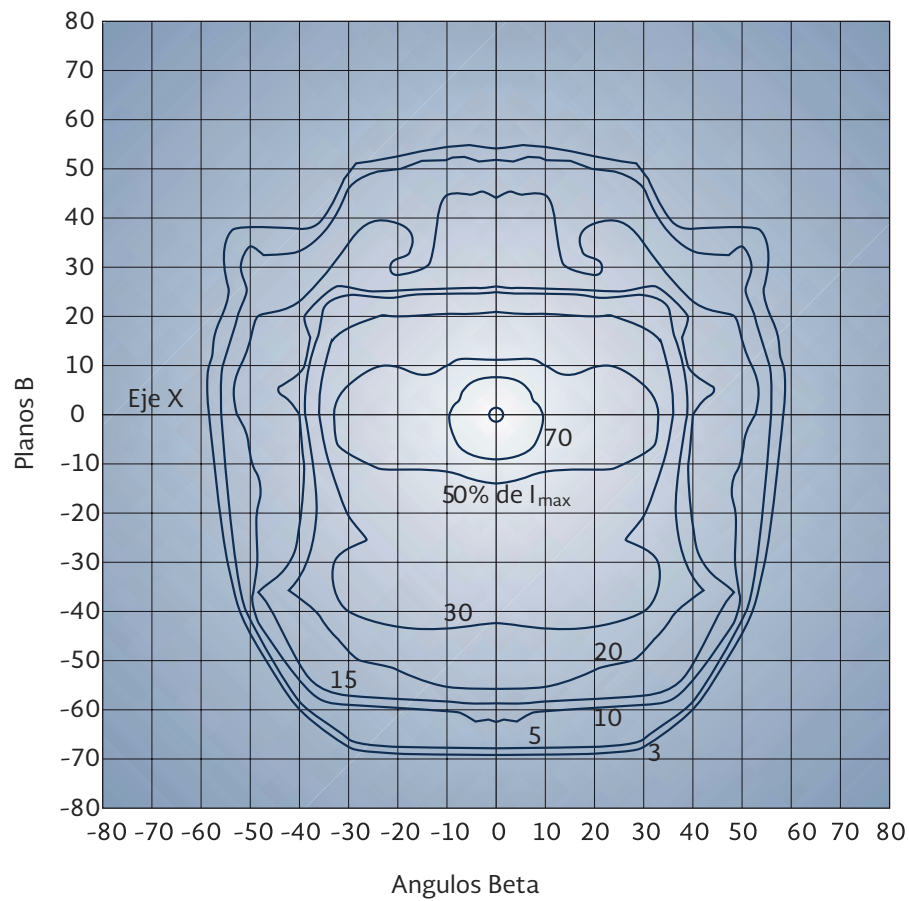


Tabla 2.160 Clasificación por tipo de las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas (LFCA)

LFCA sin envoltente	
Intervalos de potencia eléctrica	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
Menor o igual que 7 W	45
Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W	48
Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W	50
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	52
Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W	57
Mayor que 22 W	60
LFCA con envoltente	
Menor o igual que 7 W	35
Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W	38
Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W	40
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	46
Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W	48
Mayor que 22 W	52
LFCA con reflector	
Menor o igual que 7 W	33
Mayor que 7 W y menor o igual que 14 W	33
Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W	33
Mayor que 18 W	40

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 2.161 Relación de temperatura de la envoltente del balastro versus tiempo

Temperatura Máxima		
Mayor que (°C)	Hasta (°C)	Tiempo máximo (min)
145	150	5.3
140	145	7.1
135	140	10
130	135	14
125	130	20
120	125	31
115	120	53
110	115	120

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 2.162 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra)

Primer número característico	Breve descripción
0	No protegida
1	Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm
2	Protegida contra objetos sólidos mayores de 12'5 mm
3	Protegida contra objetos sólidos mayores de 2'5 mm
4	Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm
5	Protegida contra polvo
6	Hermética al polvo

Tabla 2.163 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra)

Segundo número característico	Breve descripción
0	No protegida.
1	Protegida contra gotas de agua en caída vertical.
2	Protegida contra caída de aguas verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente.
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60° con la vertical como máximo.
4	Protegida contra proyecciones de agua en todas las direcciones
5	Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones.
6	Protegida contra fuertes chorros de agua en todas las direcciones
7	Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua.
8	Protegida contra la inmersión continua en agua.

Tabla 2.164 Clasificación EN-60598 contra impactos mecánicos

Tercer número característico	Breve descripción
0	Ninguna protección
1	Protección contra un impacto de 0'225 J. de energía
3	Protección contra un impacto de 0'5 J. de energía
5	Protección contra un impacto de 2 J. de energía
7	Protección contra un impacto de 6 J. de energía
9	Protección contra un impacto de 20 J. de energía

3

EQUIPO MECÁNICO

3.1. BOMBA VERTICAL ROTODINÁMICA¹⁷

3.1.1. DEFINICIÓN DE BOMBA VERTICAL ROTODINÁMICA

Las bombas rotodinámicas verticales son máquinas cinemáticas en las cuales la energía es impartida de manera continua hacia el fluido bombeado por medio de un impulsor, propela o rotor teniendo un eje vertical de rotación.

Los tipos más comunes de bombas rotodinámicas son la radial (centrífuga), de flujo con bombeo axial (propela) y mixto.

Los tipos de bombas verticales se presentan en la Ilustración 3.1.

3.1.2. FLUJO RADIAL

Las bombas con este tipo de impulsores tienen valores de velocidad específica en el extremo final de la escala. (Ver la Ilustración 3.2 perfiles de impulsores 1 y 2, para la aproximación de rangos específicos de velocidad) El flujo entra por el ojo del impulsor de manera axial y este es rotado por las paletas y contenido hacia la salida perpendicular al eje de la flecha de la bomba.

3.1.3. FLUJO AXIAL

Un impulsor de flujo axial tiene una entrada única de flujo y salida de manera axial (o cercanamente axial). Los impulsores de este tipo algunas veces son llamados propelas y no tienen cubiertas. Los impulsores de flujo axial son utilizados típicamente para cargas pequeñas y aplicaciones de una sola etapa. (Vea la Ilustración 3.2 perfiles de impulsores, para la aproximación de rangos específicos de velocidad).

3.1.4. FLUJO MIXTO

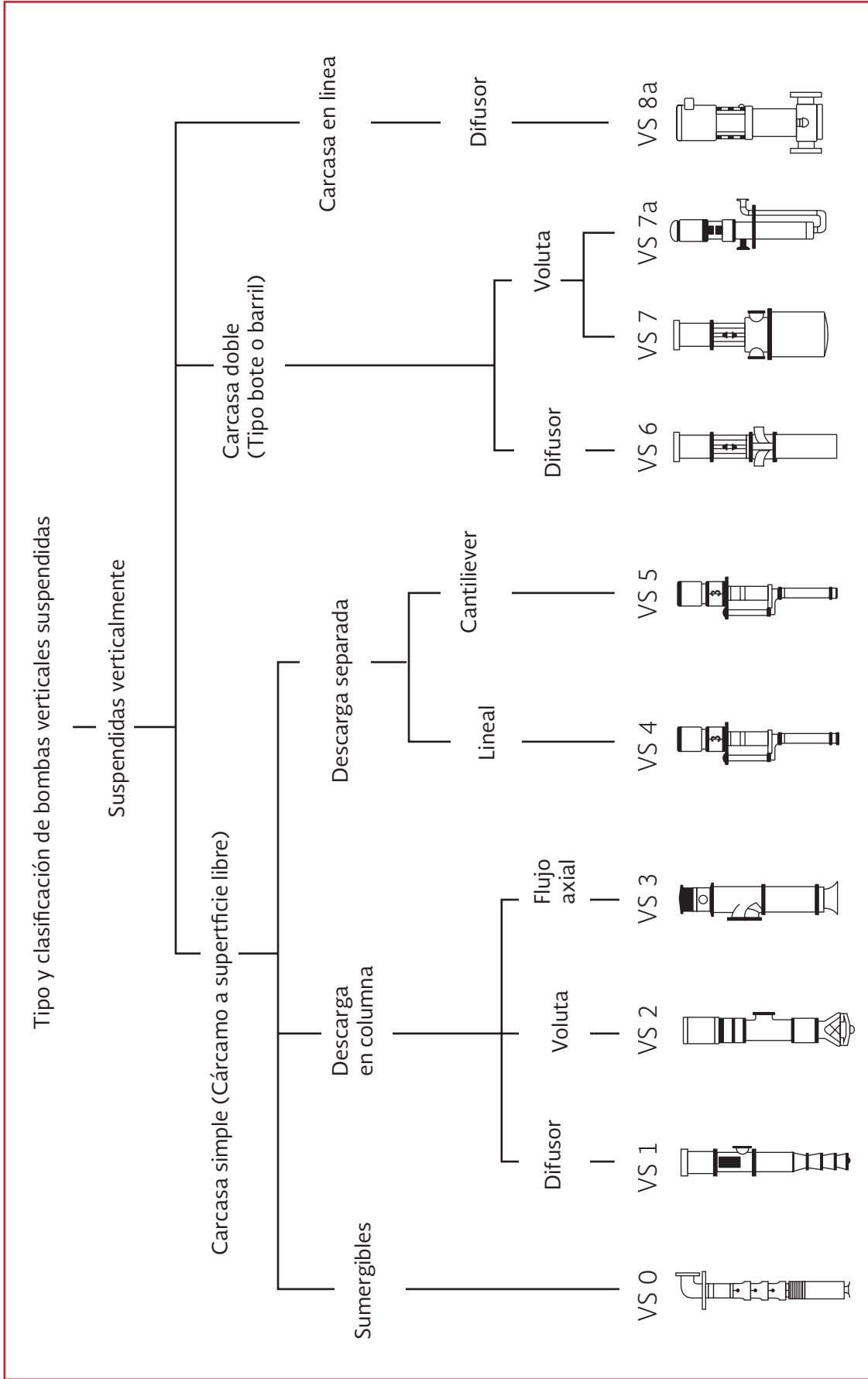
Las bombas de flujo mixto tienen una entrada única con el flujo de entrada de forma axial y una descarga con aproximadamente 45° con respecto a la flecha de la bomba, hacia la periferia. En varios casos, este tipo de impulsor no tiene la cubierta frontal. (Para la configuración de un impulsor de flujo mixto, vea el perfil 5 en la Ilustración 3.2 con los rangos de velocidad específicos correspondientes).

3.1.5. CLASIFICACIÓN POR CONFIGURACIÓN

A continuación se enlistan las configuraciones generales que describen las bombas verticalmente suspendidas.

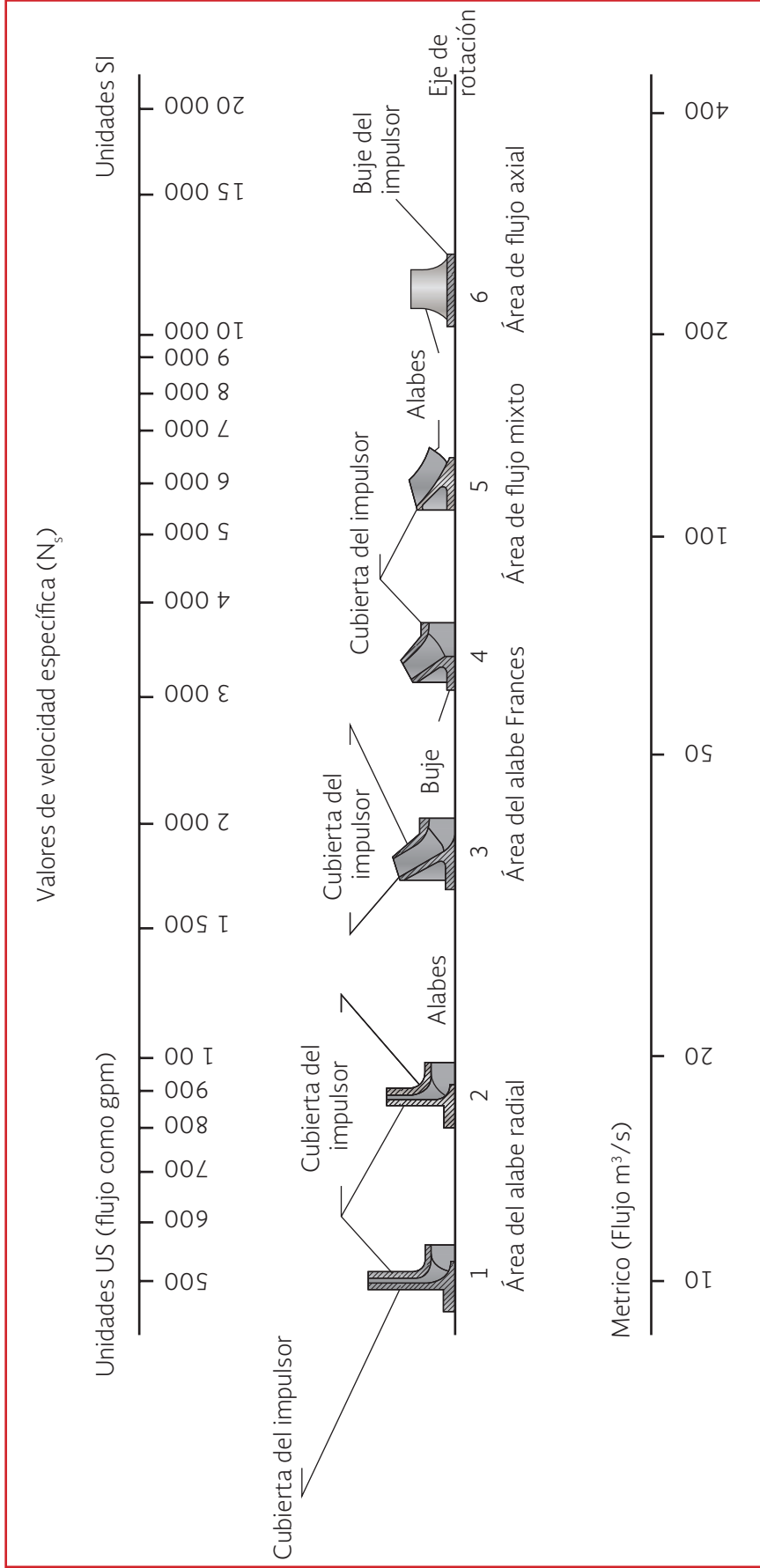
17 Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

Ilustración 3.1 Tipos de bombas verticales - Rotor suspendido - simple y multietápas



Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

Ilustración 3.2 Configuración general de los impulsores de bombas verticales y su velocidad específica



Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

3.1.5.1. Por tipo de descarga

Descarga, arriba y por debajo del nivel de descarga del terreno

Los tazones de bombas verticales descargan el líquido bombeado dentro de una columna, que la lleva a la descarga.

Existen dos tipos básicos de configuraciones de bombas de descarga. Bombas con descarga sobre el terreno (Ver la Ilustración 3.22) y bombas con descarga por debajo del terreno (Ver la Ilustración 3.24). El controlador se monta sobre el terreno en ambos casos.

3.1.5.2. Por transmisión de energía

Flecha Sólida

Los motores de flecha sólida (Ver Ilustración 3.21, Ilustración 3.22, Ilustración 3.23, Ilustración 3.25, Ilustración 3.26, Ilustración 3.27 e Ilustración 3.28) se encuentran acoplados a la línea de la flecha por un cople rígido axialmente ajustable. El cople se instala debajo del motor en la flecha extendida.

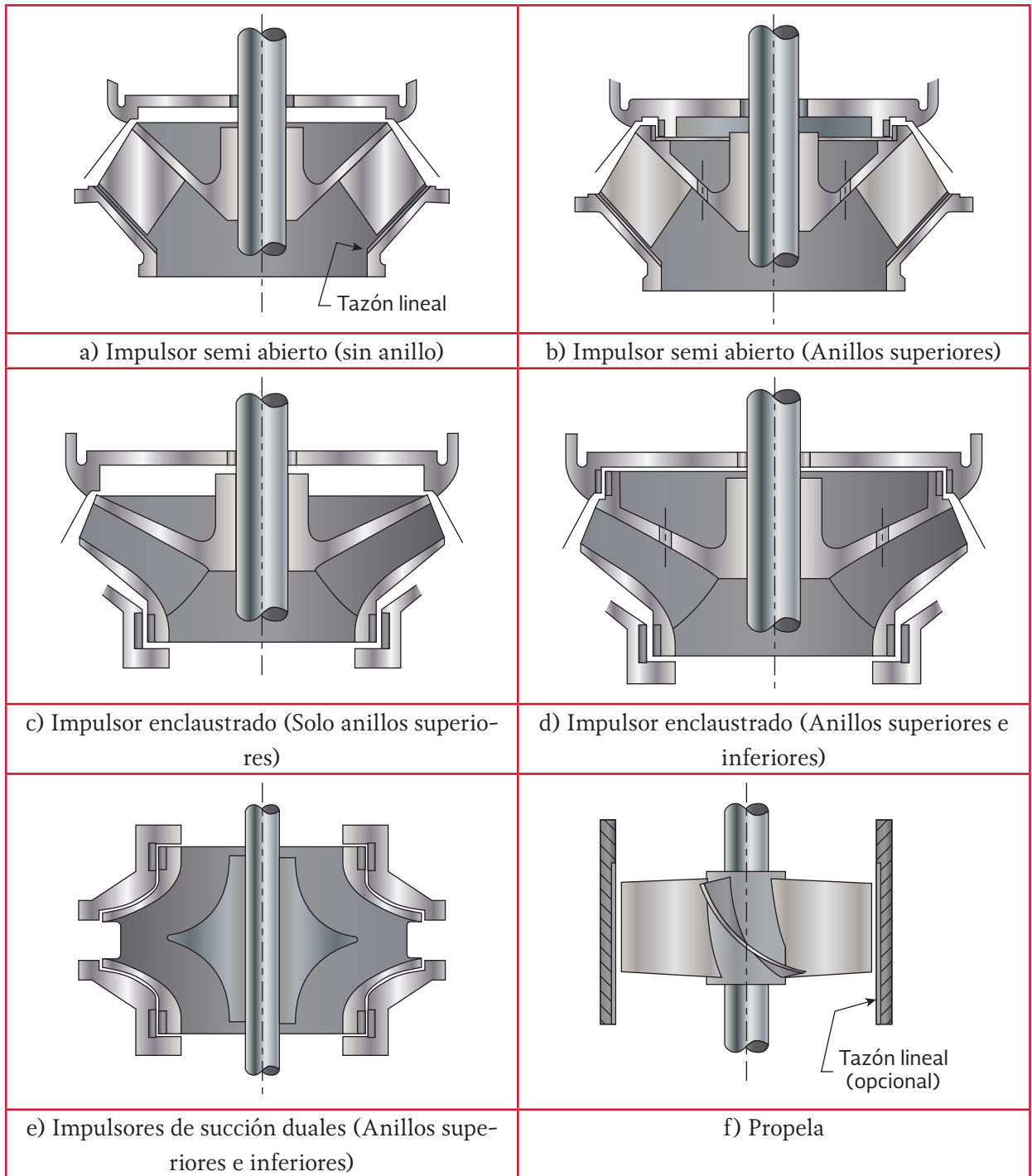
Flecha hueca

El motor de flecha hueca tiene una flecha tubular que se extiende a través del rotor del motor. (Ver Ilustración 3.20 e Ilustración 3.24). Un ensamble en la parte superior del motor permite ajustar la flecha para proveer una holgura de funcionamiento y acomodar el ancho del eje. No es necesariamente requerido un acoplamiento de la línea de la flecha localizada en la descarga de la bomba.

3.1.5.3. Tipos de impulsores

Un impulsor semi-abierto típico (Ver Ilustración 3.3 a) y b)) tiene una cubierta trasera, con paletas impulsoras integradas, pero las paletas son abiertas al frente (sin cubierta frontal). El control de fugas se ajusta entre las paletas impulsoras y los tazones o en la línea de tazones. Los impulsores cerrados, de succión simple y doble (Ver Ilustración 3.3 c), d) y e)) tienen ambas cubiertas traseras y frontales. El control de las fugas está limitado por el anillo de holgura. Un impulsor de flujo axial (Ver Ilustración 3.3 f)) tiene una entrada única con el flujo de entrada y descarga axial (o casi axial).

Ilustración 3.3 Tipos típicos de impulsores con anillos para bombas verticales



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

3.2. BOMBAS ROTODINÁMICAS CENTRIFUGAS¹⁸

3.2.1. DEFINICIÓN DE BOMBA ROTODINÁMICA CENTRIFUGA

Las bombas rotodinámicas son máquinas cinéticas que continuamente transfieren energía a un fluido por medio de un impulsor, hélice o rotor.

Los tipos más comunes de bombas rotodinámicas son centrífuga (radial), el flujo mixto y bombas de flujo axial.

Las bombas centrífugas utilizan impulsores con salida radial esencialmente para transferir energía mecánica rotacional al líquido mediante el aumento de la energía cinética del fluido (momento angular). La energía cinética se convierte entonces en energía de presión en la tubería de descarga.

3.2.2. TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

3.2.2.1. Impulsor suspendido

En este grupo, el impulsor está montado en el extremo de un eje que está en voladizo de sus soportes de cojinete.

Estas bombas están acopladas en el rodamiento o directamente sobre el eje del motor; el impulsor está montado sobre el eje de la bomba, separado y soportado por su propio rodamiento. Ver Ilustración 3.4 para obtener una lista de tipos de bombas OH y sus atributos

3.2.2.2. Impulsor entre rodamientos (BB)

En este grupo, los impulsores están montado sobre un eje con cojinetes a ambos extremos. El impulsor está montado entre estos cojinetes. Estas bombas pueden tener una configuración de una, dos o múltiples etapas (Ilustración 3.5).

3.2.2.3. Bombas de otra configuración

Estas bombas funcionan con los mismos principios cinéticos básicos, pero se configuran de manera diferente que el diseño rotodinámico convencional. Los siguientes ejemplos caen dentro de esta descripción.

Turbina regenerativa

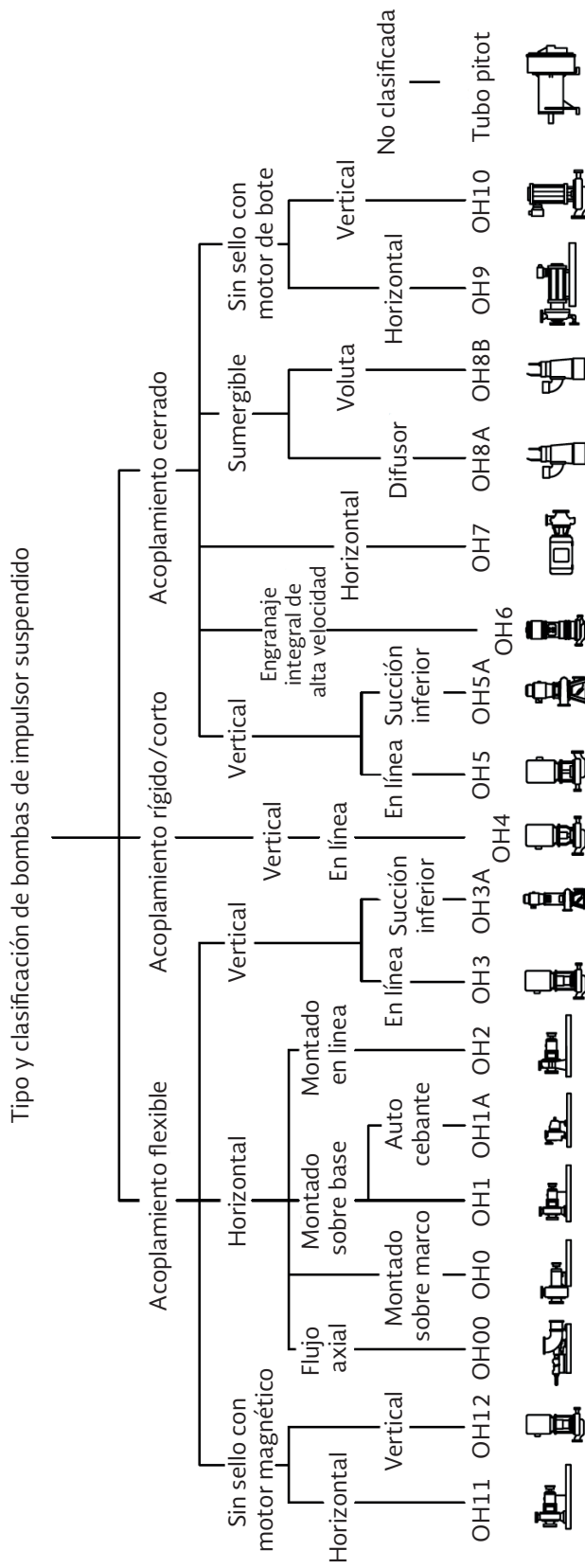
Las bombas se caracterizan por un bajo flujo y carga alta. Este diseño utiliza paletas o cubetas en un conducto o en canal que se fabrican integradas con un impulsor giratorio para impartir energía al líquido bombeado. A través de la acción de corte, el líquido adquiere una rotación espiral a medida que pasa en el conducto del impulsor giratorio y hacia fuera. Los cubos son cavidades de canal radiales separadas por los dientes, también llamados paletas. La presión aumenta uniformemente desde la entrada de la bomba a la descarga (Ilustración 3.6).

Tubo de Pitot

El tubo de Pitot es una variación de un diseño rotodinámico y utiliza un tubo de pitot, en lugar de una voluta o difusor, para convertir la energía de flujo velocidad a presión. La característica principal de una bomba de tubo pitot que lo diferencia de una bomba de rotodinámica

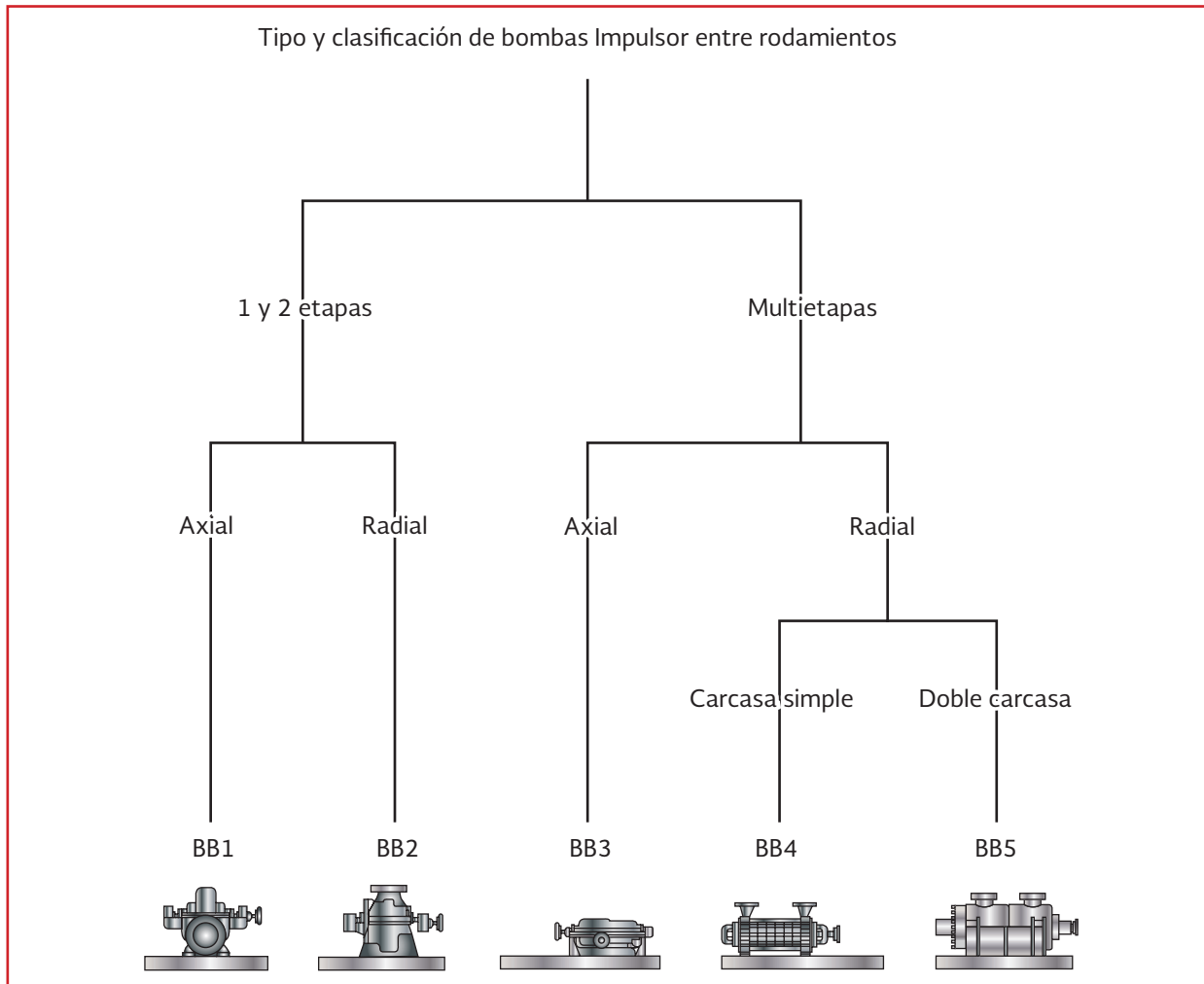
18 Fuente: ANSI/HI 1.1 - 1.2

Ilustración 3.4 Tipos de bombas de impulsor suspendido



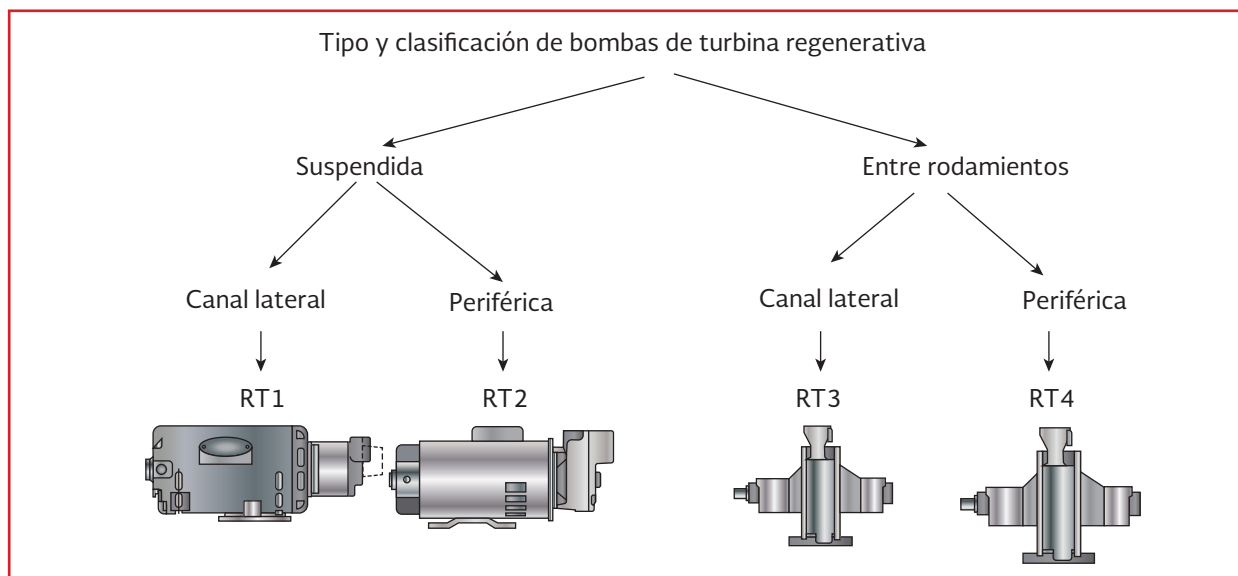
Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.5 Clasificación de bombas rotodinámicas entre rodamientos



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.6 Clasificación de bombas tipo turbina regenerativa



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

convencional es que utiliza una carcasa giratoria en vez de un impulsor para transmitir velocidad al líquido bombeado. El diseño del tubo de Pitot seguir las reglas de afinidad bomba convencionales; sin embargo, es capaz de generar una carga más alta que un diseño rotodinámica comparable a una velocidad punta equivalente.

Existen algunos otros tipos de bombas centrífugas, las cuales pueden consultarse en la norma ANSI/HI 1.1 - 1.2.

3.2.3. DIAGRAMAS CONSTITUTIVOS

Los diagramas constitutivos de la Ilustración 3.29 a la Ilustración 3.54, se prepararon con el objetivo de proporcionar una identificación general de los tipos de carcasa, además se busca que sean un lenguaje común entre el fabricante, el diseñador y en personal de instalación. La Tabla 3.1 presenta la definición de la nomenclatura presentada en los diagramas.

3.2.4. TAMAÑO DE UNA BOMBA ROTODINÁMICA CENTRIFUGA

La nomenclatura estandarizada para el tamaño de la bomba se basa en el tamaño máximo del diámetro nominal del impulsor, en milímetros. Por ejemplo, una bomba con 80 mm de succión, descarga de 50 mm, y un diámetro nominal del impulsor máximo de 160 mm, se identificará, en términos de la normatividad ISO, como una bomba 50-160.

Estos métodos están en conformidad con los métodos utilizados en otros estándares de la industria, tales como ISO 5199 y ANSI / ASME B 73.1.

3.2.5. BOMBAS DIMENSIONALMENTE INTERCAMBIABLES

Una bomba intercambiable es aquella en la que las dimensiones de montaje son tales que se puede montar en la base existente una bomba de reemplazo y coincide con la tubería y el motor existente, con características y materiales hidráulicos específicos. La intercambiabilidad puede implicar alguna variación, no necesariamente significativa, como resultado de las tolerancias de fabricación.

3.2.6. BOMBAS IDÉNTICAS

Una bomba idéntica es un replica, y es intercambiable con una bomba específica cuando se pretende tener una bomba idéntica o un replica la cual debe ser igual en todos los aspectos, incluyendo piezas, montajes, conectando dimensiones de las bridas y materiales, debe ser identificado como idéntico número de serie de la bomba XXXXXX. Una bomba idéntica o replica debe ser como bomba original, en el rendimiento y las dimensiones tan de cerca como las tolerancias de fabricación permiten.

3.2.7. ROTOR DESCUBIERTO Y CONJUNTO ROTATORIO

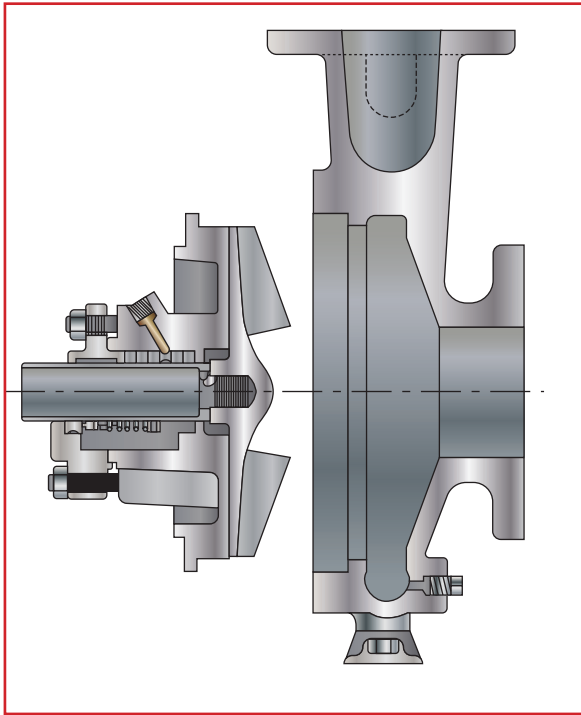
3.2.7.1. Bomba en voladizo

Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)

Término utilizado para bombas radiales para describir las partes húmedas, específicamente la carcasa, cubierta, caja de empaques o cámara

sellada, impulsor, sujetadores y juntas asociadas. Ver Ilustración 3.7.

Ilustración 3.7 Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)



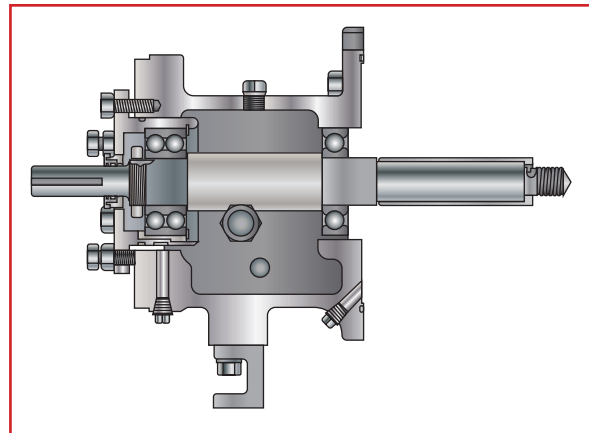
Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Terminal de potencia (ensamble de bastidor)

Término utilizado para bombas radiales para describir el conjunto que conecta el motor a la bomba.

El conjunto contiene: eje, manga (si se suministra), el cojinete de empuje, cojinete radial, el alojamiento, carcasa, y el marco (Ilustración 3.8).

Ilustración 3.8 Terminal de potencia (ensamble de bastidor)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

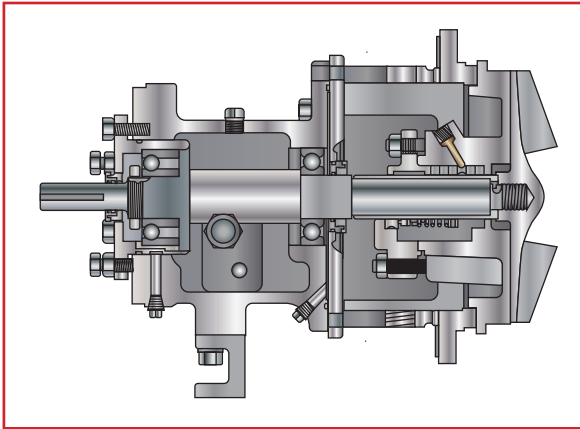
Conjunto extraíble

Es el principal ensamble para bombas en voladizo, que incluye todas las partes distintas de la carcasa.

El conjunto contiene: tapa de la caja, caja de empaquetadura o la cámara de sello, conjunto del sello mecánico o conjunto de prensaestopas, el adaptador, terminal de potencia y el impulsor.

El conjunto extraíble está configurado como una ayuda para el montaje / desmontaje y puede estar dispuesto para ser instalado y retirado sin alterar la carcasa de la bomba o el controlador. Por este medio proporciona una ayuda para mejorar el mantenimiento al permitir el cambio rápido de salida de las piezas y minimizar el tiempo de inactividad (Ilustración 3.9).

Ilustración 3.9 Conjunto extraíble



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Rotor descubierta

Un rotor descubierta se con podrá del siguiente conjunto:

- Flecha con todas las tuercas
- Llaves
- Impulsor
- Anillos del impulsor
- Mangas de la flecha

No deberá incluir elementos tales como el sello mecánico, cojinetes, accesorios de rodamientos, acoplamiento, polea, anillo de engrase, protección contra el agua, anillo de cierre y prensaestopas.

Conjunto giratorio

Un conjunto giratorio estará compuesto por un rotor descubierta y anillos de protección (donde se usan), bujes de la carcasa (donde se usan), cojinetes y todas las demás partes estacionarias o giratorias a ser montado sobre la flecha.

Un conjunto giratorio deberá incluir la siguiente:

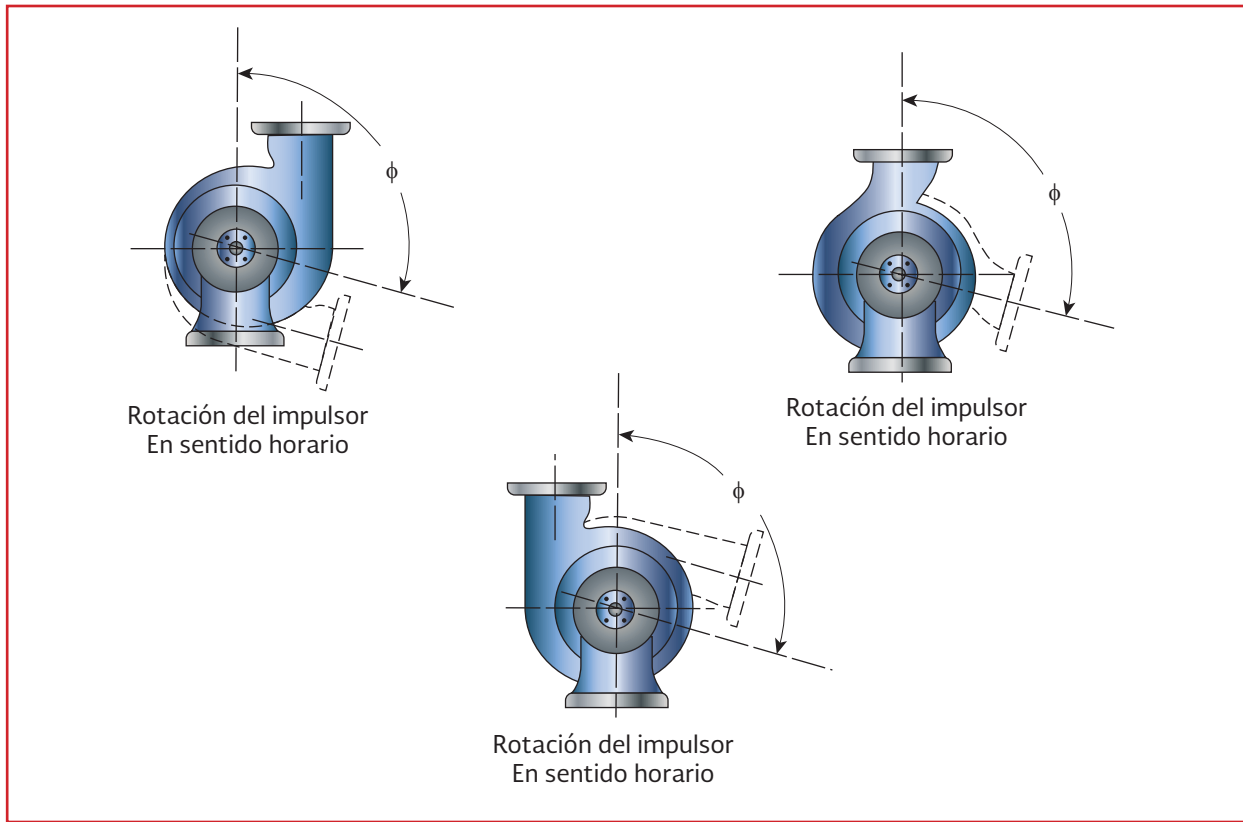
- Empaque y prensaestopas
- Sellos mecánicos y prensaestopas
- Protección contra agua
- Anillo de engrase
- Tapa de alojamiento de cojinetes

No incluirá acoplamiento, polea, ni se incluyen alojamientos de cojinetes, excepto cuando se trata de un diseño que requiere que sean ensamblados antes del montaje de los rodamientos.

3.2.8. POSICIÓN DE LA CARCASA

La posición normal de la boquilla de descarga de una bomba horizontal en el final de la succión será por arriba de la vertical. Posiciones opcionales de la boquilla de descarga serán designadas por grados de rotación, medida desde la línea central en dirección del sentido horario (CW), frente al extremo de accionamiento de la bomba (ver Ilustración 3.10).

Ilustración 3.10 Posición de carcasa y eje de rotación



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.11 Bombas vertical, rotación de la flecha (CW)

3.2.9. ROTACIÓN DE LA FLECHA

Las bombas se designan en dirección al sentido horario (CW) o en sentido antihorario (CCW), ver Ilustración 3.10, Ilustración 3.11 e Ilustración 3.12.

Para determinar la rotación de una bomba horizontal, se posiciona uno de pie al final del motor del motor frente a la bomba (Figure 1.1 .6.7a). Si la parte superior del eje gira desde la izquierda a la derecha, la rotación es en sentido horario (CW), y si la parte superior del eje gira de derecha a izquierda la rotación es en sentido antihorario (CCW).

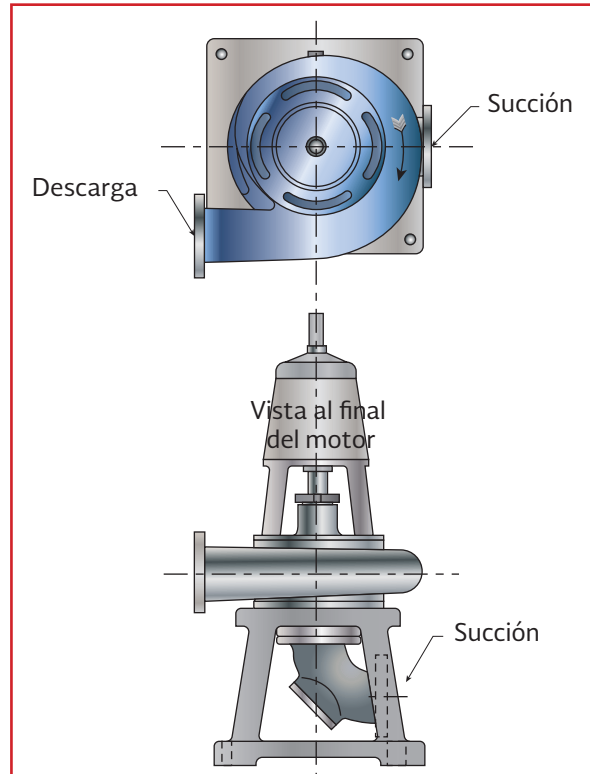
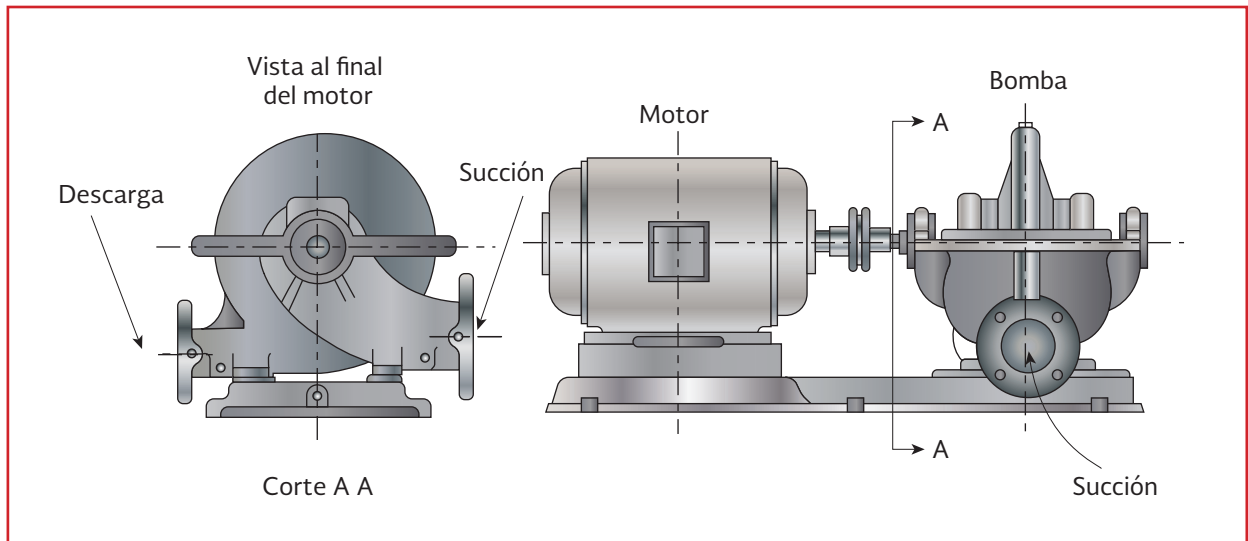


Ilustración 3.12 Bomba horizontal Rotación de la flecha (CW)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

3.3. CONSIDERACIONES GENERALES¹⁹

3.3.1. VELOCIDAD

El número de revoluciones de la flecha en una unidad de tiempo dado. La velocidad es expresada típicamente como revoluciones por minuto.

3.3.1.1. Velocidad continúa máxima permisible

La velocidad de bombeo más alta a la cual el fabricante permite una operación continua.

3.3.1.2. NPSH plano del datum

El datum de la bomba es el plano horizontal a través del centro de la circunferencia descrita por los puntos externos de los bordes de la en-

trada del impulsor. Se encuentra en la primera etapa en el caso de múltiples bombas, En el caso de una doble entrada a la bomba con eje vertical o inclinado, es el plano con el centro más elevado. El fabricante debe indicar la posición del plano con respecto a puntos referencia específicos en la bomba (ver Ilustración 3.13).

3.3.2. CARGAS

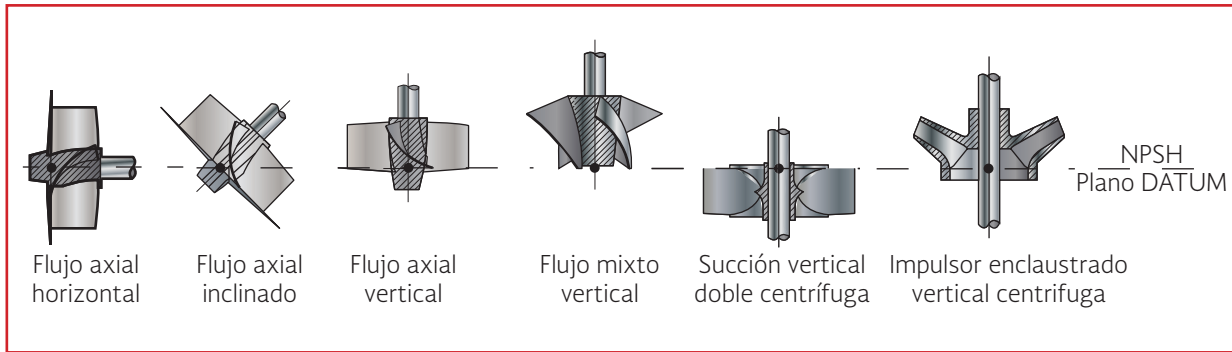
La carga es la expresión de la energía contenida en el líquido referida a cualquier dato arbitrario. Esta expresada en unidades de energía por unidad de peso o líquido, La unidad de medición para la carga es metros de líquido.

3.3.2.1. Carga de velocidad

La carga de velocidad (h_v), es la energía cinética del líquido en una sección transversal dada.

19 Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

Ilustración 3.13 Elevación DATUM para varios tipos de impulsores en su primera etapa



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

3.3.2.2. Carga de elevación

La energía potencial del líquido debida a su elevación relativa a un nivel de referencia medido al centro de presión o nivel del líquido.

3.3.2.3. Carga total de succión (succión abierta)

Para instalaciones de succiones abiertas (cárcamo húmedo), el impulsor de la primera etapa del cuerpo de tazones se sumerge en un pozo. La carga total de succión (h_s) de datum es la sumergencia en metros de agua (Z_w). La carga de velocidad promedio del flujo en el pozo es suficientemente pequeña para ser omitida.

3.3.2.4. Carga total de succión (succión cerrada)

Para instalaciones de succión cerrada, la boquilla de succión de la bomba puede localizarse ya sea sobre o debajo de los niveles rango.

La carga total de succión (h_s), referida al ojo del impulsor de la primera etapa, es la suma algebraica de la carga de succión (h_{gs}) más la carga

de velocidad (h_{vs}) al punto de unión, más la elevación (z_s) del centro de línea de la succión (nanómetro a cero) a la bomba de referencia.

La carga de succión (h_s) es positiva cuando la lectura se encuentra sobre la presión atmosférica y negativa cuando es menor por una cantidad que excede la suma de la carga de elevación y la carga de velocidad.

3.3.2.5. Carga total de descarga de la bomba

La carga total de descarga (h_d), que incluye el ensamble de los tazones menos las pérdidas de fricción internas de la bomba, como la succión, la tubería, y las descargas de codo) es la suma de las cargas de descarga (h_{gd}) medidas después del codo de descarga más la carga de velocidad (h_{vd}) en el punto de unión más la elevación (Z_d) de la descarga en el centro de referencia de la bomba.

3.3.2.6. Carga total de bombeo

Es la medida de la energía incrementada por unidad de peso del líquido, impartida al líquido por la bomba, y es la diferencia entre la carga total a la descarga y la carga total de succión.

Es la carga normal específica para aplicaciones de bombeo debido a que las características completas del sistema determinan la carga total requerida.

3.3.2.7. Carga total del ensamble de tazones

El ensamble de tazones es el elemento de bombeo de una bomba rotodinámica vertical y consiste típicamente de una campana de succión, una flecha, una etapa o más etapas y diversas partes, como cojinetes y llaves. Cada etapa consiste en un único tazón, un único impulsor y diversos elementos.

Varios fabricantes publican curvas de operación mostrando el funcionamiento para un ensamble único de tazones. Cuando se evalúa una curva de funcionamiento, el usuario es advertido para revisar cuidadosamente las bases de la curva por que puede estar basada tanto en etapas únicas como en múltiples.

Para un ensamble de múltiples etapas, la carga del tazón simple y la energía es aproximadamente igual al funcionamiento de etapas múltiples dividida por el número de etapas. De cualquier modo, las pérdidas de entrada y salida pueden reducir el funcionamiento del ensamble de un tazón de una sola etapa comparado con el funcionamiento de un multietapa.

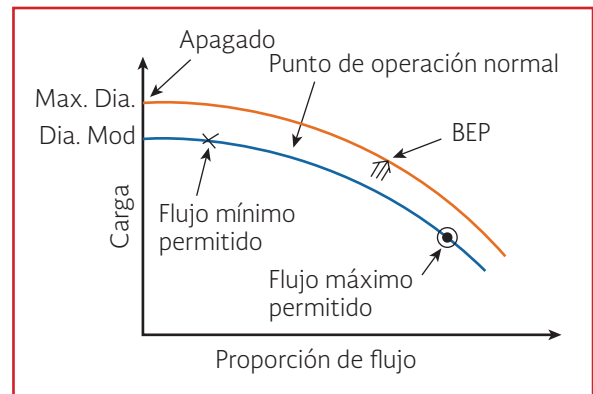
3.3.2.8. Carga atmosférica

Presión atmosférica local expresada en metros.

3.3.3. PUNTO ÓPTIMO DE EFICIENCIA DE LA BOMBA (BEP)

Es el punto de la curva de operación (flujo - carga) a la que la eficiencia de la bomba es máxima en condiciones de velocidad de rotación nominal, ver Ilustración 3.14.

Ilustración 3.14 Curva típica de operación para una bomba rotodinámica con baja velocidad específica de diseño



Fuente: ANSI/HI 2.3

3.3.4. CONDICIONES DE SUCCIÓN

3.3.4.1. Succión sumergida

Existe una succión sumergida cuando la línea central de entrada de la bomba está por debajo del nivel del agua en el tanque o cárcamo y la superficie libre del agua está expuesta a la atmósfera. Sin embargo, la presión absoluta del líquido que entra en la bomba puede estar por debajo de la presión atmosférica mientras que la bomba esté operando, incluso con succión sumergida.

3.3.4.2. Succión inundada

La succión inundada implica que el líquido fluirá desde una fuente a la bomba con la presión media en la entrada y su presión permanecerá por encima de la presión atmosférica cuando la bomba está funcionando con un gasto específico.

3.3.4.3. Carga estática de succión

Es una presión inferior a la atmosférica en la entrada del impulsor de la primera etapa de la bomba.

3.3.4.4. Carga neta positiva de succión

La carga neta positiva de succión disponible (NPSHA) es la carga de succión total de absoluta líquida, determinada en la primera etapa del impulsor, menos la presión de vapor absoluta del líquido:

$$NPSHA = h_{sa} - h_{vp} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$h_{sa} = h_{atm} + h_s \quad \text{Ecuación 3.2}$$

donde:

h_{sa} = Carga de succión absoluta, en m

h_{vp} = Presión de vapor absoluta del líquido, en m

h_s = Carga de succión, en m

3.3.4.5. Carga de succión neta positiva requerida

La carga de succión neta positiva requerida (NPSHR), es el valor de NPSH mínimo dado por el fabricante o proveedor para una bomba,

en el cual se logra un rendimiento específico para un gasto, velocidad, y carga sin la aparición de cavitación visible, aumento del ruido y las vibraciones debido a la cavitación, caída de la eficiencia o erosión por cavitación).

En las bombas de bote (ver Ilustración 3.25), NPSHA se determina a menudo en la brida de succión. Debido a que el NPSHR es en el impulsor de primera etapa, el valor NPSHA debe ajustarse al impulsor de primera etapa mediante la adición de la diferencia en elevación y restando las pérdidas en el bote.

3.3.4.6. Carga de succión neta positiva con pérdida de 3 por ciento de la altura total

el NPSH3 es la carga de succión, sobre la presión de vapor, requerida para evitar la pérdida de más de 3 por ciento en la carga total de la primera etapa de la bomba a una velocidad específica de flujo.

3.3.4.7. Máxima presión de succión

La máxima presión de succión ($P_{s\max}$), Es la más alta presión de succión a la que se somete la bomba durante el funcionamiento.

3.3.5. POTENCIA

3.3.5.1. Potencia de entrada de la bomba

La energía necesaria para operar el sistema de bombeo completo, incluyendo el conjunto de tazones de entrada, la pérdida de potencia en el eje, pérdidas por fricción y pérdida de em-

puje en el cojinete, la potencia suministrada a la flecha de la bomba, también llamada potencia al freno.

3.3.5.2. Eficiencia global

Esta es la relación de la energía transmitida al líquido (P_w) por la bomba y la energía suministrada por el motor (P_{Motor}) expresada en por ciento.

3.3.5.3. Eficiencia de la bomba

La relación de la potencia de salida de la bomba (P_w) a la potencia de entrada de la bomba (P_p).

3.3.6. PRESIONES DE BOMBEO

3.3.6.1. Presión de trabajo

La presión de descarga máxima que podría ocurrir en la bomba cuando se opera a la velocidad y la presión nominal de succión.

3.3.6.2. Presión máxima de trabajo permitida

Presión continua máxima para la cual se fabricó la bomba (o cualquier parte a la que se refiere el

término) al manipular el líquido especificado a la temperatura máxima de funcionamiento especificada. Esta presión deberá ser igual o mayor que la presión de descarga máxima. En el caso de bombas de doble carcasa, la presión de trabajo máxima admisible de la carcasa en el lado de succión pueden ser diferente de que en el lado de descarga.

3.3.6.3. Presión máxima de descarga

La presión de descarga más alta a la que se somete la bomba durante el funcionamiento.

3.3.7. EQUILIBRIO DEL IMPULSOR

3.3.7.1. Equilibrio en un plano

Corrección de un desequilibrio residual hasta un límite máximo especificado, eliminando o añadiendo peso en un solo plano de corrección.

3.3.7.2. Equilibrado en dos planos

Corrección del desequilibrio residual a un límite especificado mediante la eliminación o la adición de peso en dos planos de corrección.

3.4. VELOCIDAD ESPECÍFICA Y VELOCIDAD ESPECÍFICA DE SUCCIÓN²⁰

El cálculo de la velocidad específica y de la velocidad específica de succión debe realizarse de manera cuidadosa, antes de hacer comparaciones porque hay diferencias sutiles pero significativas entre los métodos utilizados.

Al calcular el valor de la velocidad específica y la velocidad específica de succión, la unidad de medida utilizada para el flujo m³/s.

3.4.1. VELOCIDAD ESPECÍFICA

Índice de rendimiento entre el flujo para el punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP) el diámetro máximo del impulsor y una velocidad de rotación dada. Velocidad específica se expresa por la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{n(Q)^{0.5}}{H^{0.75}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

donde:

- n_s = Velocidad específica
- n = Velocidad de rotación, en r/min
- Q = Flujo total de la bomba, en m³/s
- H = Carga por etapa, en m

Una definición alternativa para la velocidad específica es el caudal por ojo del impulsor en lugar de caudal total. En una bomba de doble turbina de aspiración, cuando se utiliza este método alternativo, el valor resultante de la velocidad específica es menos, considerando un factor

de multiplicación de $1/(2)^{0.5}$, es decir 0.707 veces menor.

3.4.2. VELOCIDAD ESPECÍFICA DE SUCCIÓN

Índice de las características de funcionamiento de la succión bomba determinados para el punto óptimo de eficiencia de la bomba, para el diámetro máximo de la primera etapa del impulsor. La velocidad específica de succión es un indicador de la carga de succión neta positiva requerida para una caída de carga de 3 por ciento (NPSH3) en un determinado flujo (Q) y la velocidad de rotación (n) y se expresa por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{n(Q)^{0.5}}{(NPSH3)^{0.75}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

donde:

- S = Velocidad de succión específica
- n = Velocidad de rotación, en r/min
- Q = Flujo por el ojo del impulsor, en m³/s
- = Flujo total de succión por impulsor simple
- = La mitad del flujo total en impulsores de succión doble
- $NPSH3$ = Carga neta positiva de succión en metros, que hará que la carga total (o la carga de la primera etapa de la bomba de etapas múltiples) se reduzca en un 3%. El NPSH (NPSHR) requerido por este criterio se refiere como NPSH3

20 Fuente: ANSI/HI 2.3

3.5. INTRODUCCIÓN A LA CLASIFICACIÓN DE BOMBAS

Las bombas rotodinámicas pueden clasificarse por su impulsor, configuración de carcasa, aplicación final, velocidad específica o configuración mecánica. El método utilizado en este libro se basa principalmente en las características mecánicas distintivas. De forma general, los tipos de bombas se clasifican en voladizo (tipo OH), entre los cojinetes (tipo BB) o verticalidad suspendidos (Tipo VS).

Históricamente para diseño y aplicación, se subdividen en:

- Bombas centrifugas rotodinámicas
- Bombas verticales rotodinámicas

La diferencia entre las dos categorías se determina por la configuración hidráulica (impulsor o carcasa). Los tipos de bombas pueden ser claramente identificados para encajar en cada una de estas categorías definidas.

3.6. RENDIMIENTO DE LA BOMBA, CRITERIOS DE SELECCIÓN²¹

3.6.1. REQUISITOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo se compone de las tuberías, válvulas, cárcamos, equipos de medición y cualquier otro conducto a través del cual el líquido está fluyendo.

Para el adecuado funcionamiento del sistema de bombeo, la bomba y los componentes del sistema deben coincidir correctamente entre sí.

Los requisitos y las características del sistema deben ser determinados antes de seleccionar la bomba. Pueden ser necesarias modificaciones en el sistema para lograr la compatibilidad general. Se deben considerar los cambios en el sistema durante un período de tiempo, si las condiciones de funcionamiento cambian.

Se debe considerar como afecta a la sumergencia de los elementos del sistema de bombeo, la variación o reducción del nivel de agua en cárcamos y pozos.

3.6.2. CURVAS DEL SISTEMA CONTRA CURVA DE BOMBA

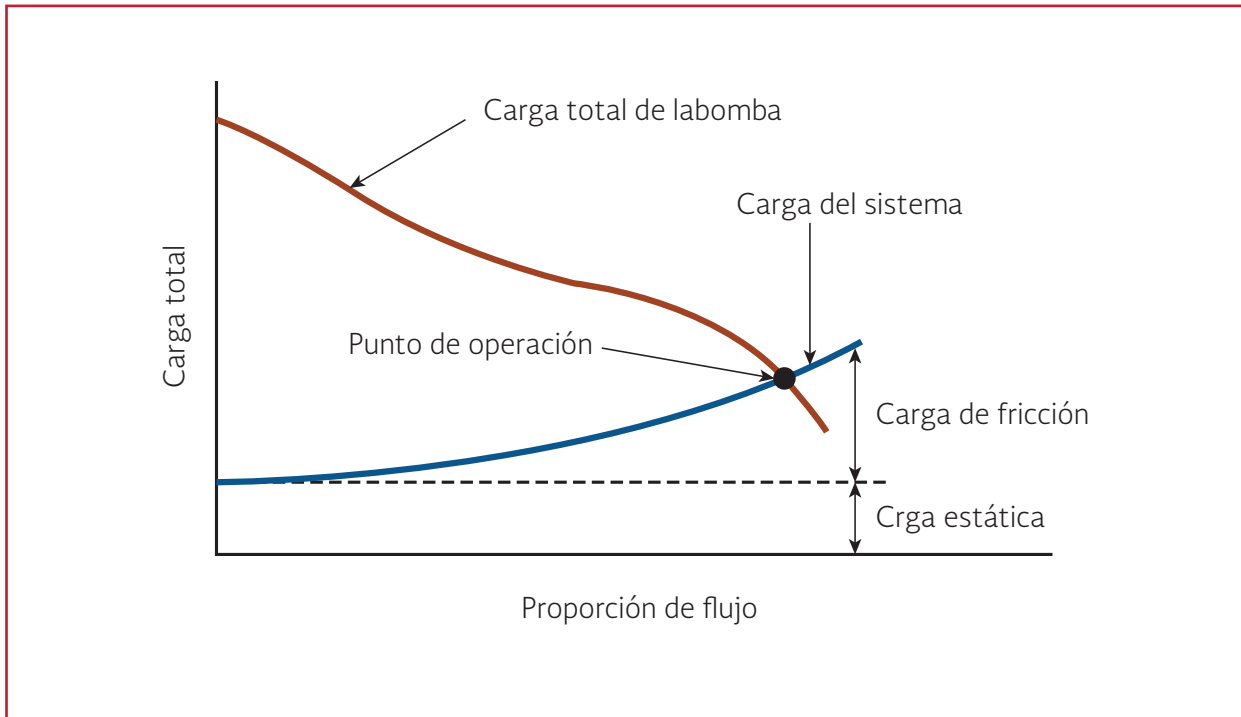
En la Ilustración 3.15 se muestra una típica curva del sistema y una para bomba. Tenga en cuenta que la bomba funciona siempre en el punto de intersección de la curva de la bomba y la curva del sistema.

En sistemas más complejos, la carga estática de succión y descarga, los niveles de superficie libre del agua o las presiones, presentan variaciones; la carga de fricción se verá afectada por los cambios en la condición de la tubería y del mismo modo, la curva de la bomba va a cambiar si las bombas se operan a velocidad variable o si varias bombas son operadas simultáneamente.

Los sistemas con sifón en la tubería de descarga y sin válvula, típicas de las instalaciones de

21 Fuente: ANSI/HI 2.3

Ilustración 3.15 Curva de la bomba contra la curva del sistema



Fuente: ANSI/HI 2.3

bombas de carga baja, requerirá mayor carga para la puesta en marcha que la carga de servicio y probablemente una mayor potencia de arranque que la potencia de operación.

Todos estos cambios generan nuevos puntos de intersección de las curvas de la bomba y del sistema. Un gráfico completo de estas curvas es una herramienta muy útil para determinar el rango total de operación de la bomba.

Cabe señalar que la mayoría de las clasificaciones de las curvas de los fabricantes se basan en el desempeño conjunto de los tazones. Las pérdidas en las columnas de la bomba y la pérdida en el codo de descarga deben incluirse en la curva de rendimiento de la bomba.

3.6.3. TRANSITORIOS HIDRÁULICOS

3.6.3.1. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un aumento súbito de la presión debido a rápidos cambios en la velocidad de un líquido que fluye a través de una tubería. Este cambio de presión dinámica es el resultado de la transformación de la energía cinética de la masa en movimiento de líquido en energía de presión. Cuando la velocidad cambia, por el cierre de una válvula, al iniciar o detener una bomba, o por algún otro motivo, la magnitud de la presión producida es con frecuencia mucho mayor que la presión estática en la conducción y puede causar la ruptura o daño a la bomba, la tubería y los accesorios. Esto se aplica tanto a

las instalaciones de bombas horizontales y verticales.

La carga debida a golpes de ariete es una función del cambio de velocidad, el diámetro y la longitud de la tubería, así como la velocidad de la onda de presión a lo largo de la tubería.

El golpe de ariete puede ser controlado mediante la regulación de tiempo de cierre de las válvulas, reduciendo la aceleración o desaceleración de la bomba, o con la instalación de válvulas de alivio, cámaras de oscilación, tanques amortiguadores y otros medios.

La instalación de una válvula de admisión y expulsión de aire puede ser necesaria cuando una bomba vertical tiene que conducir el aire de la columna cuando se arranca. Cuando la bomba se apaga, la válvula admite aire y permite que el agua en la columna fluya hacia atrás a través de la bomba.

3.6.3.2. Separación de columna líquida

En bombas verticales, donde la longitud desde la superficie libre del agua y el nivel de descarga es mayor que la presión atmosférica, expresada en términos de carga o columna líquida que por lo general es de 10 metros, se puede producir una presión vapor cuando el equipo se desactiva, independientemente de si la válvula de descarga es una válvula de compuerta de apertura lenta o una válvula de retención (*check*). Esta presión ocasiona que el agua dentro de la columna se vaporice, generando una bolsa de vapor que al reiniciar la operación del equipo, genera un súbito cambio de presión que conlleva condiciones potencialmente perjudiciales. La bomba no se

debe iniciar cuando se presenta esta condición. La formación del vacío puede reducirse en las bombas de tipo VSO con la colocación apropiada de las válvulas de retención en la tubería de succión. Si la descarga de la bomba está abierta a la atmósfera, no es necesaria una válvula de admisión y expulsión de aire.

Para mayor abundamiento se recomienda revisar el libro de *Fenómenos Transitorios en Líneas de Conducción* del MAPAS.

3.6.4. ANÁLISIS DE PUESTA EN MARCHA Y APAGADO

Durante la puesta en marcha, el motor debe proporcionar par acelerador adecuado (por encima de par normal de operación) para asegurar un exitoso comienzo en un plazo razonable de tiempo. Debido a que el par está directamente relacionado con la energía, la forma de la curva de potencia de entrada de la bomba llega a ser muy importante. Si la potencia máxima de entrada se produce en el rango normal de operación, el motor seleccionado para la operación normal es capaz de arrancar la bomba. Sin embargo, si se requiere de una potencia mayor, lo cual es común para las bombas de velocidad específica alta, los requisitos de arranque se vuelven críticos para la selección del motor.

En un sistema con una bomba o cuando se inicia la primera de varias unidades en paralelo, la unidad se puede iniciar con las válvulas de descarga abierta, o parcialmente abierta, para evitar el funcionamiento en cierre. En bombas con velocidad específica alta, que funcionan en paralelo, hay varias opciones para iniciar la segunda y las sucesivas unidades. Los procedi-

mientos de arranque se deben tomar en cuenta para la selección final del motor. Normalmente, un procedimiento para puesta en marcha, consiste en sincronizar la apertura de la válvula de descarga con el arranque del motor. En este caso para la selección se debe considerar el intervalo de tiempo para la apertura de la válvula.

Algunos de los parámetros a tener en cuenta son:

- Tiempo de apertura de la válvula
- La longitud y el diámetro del sistema de tuberías para determinar el efecto del agua en el sistema
- La inercia rotacional (WK2 o WR2, en newton-metros cuadrados) de la bomba y el motor
- Las características de rendimiento de cuatro cuadrantes (diagrama Karman-Knapp) de la bomba
- La velocidad del par, características de velocidad-tiempo y las características del motor
- La curva del sistema, el número de bombas en paralelo, y la tensión de arranque disponible
- El análisis resultante no sólo se asegurará de que el motor es capaz de echar a andar la bomba, puede generar una inversión de capital inicial más baja y una mayor eficiencia operativa
- Cuando las bombas verticales se inician con las válvulas de descarga cerradas, se debe hacer una provisión para ventilar rápidamente la columna y la cabeza de la bomba para asegurarse de que los casquillos de cojinete de línea de eje se lubriquen y el aire no se comprima y expanda súbitamente
- Evitar el golpe de ariete es la principal

preocupación durante el paro de una bomba, especialmente en instalaciones con conducciones largas. El cierre gradual de la válvula de descarga es una manera de eliminar o reducir el golpe de ariete. Puede ser necesario un análisis de transitorios a través de modelos de simulación matemáticos para estimar la magnitud de un golpe de ariete.

- Debe considerarse la posibilidad de que se presente una circulación en sentido inverso después del apagado de una bomba. Cuando se determina que se puede presentar esta situación, el motor y la bomba deben estar diseñados para la velocidad máxima rotación inversa. Existen algunos medios para evitar o disminuir los efectos por flujo inverso, revisar el libro de *Fenómenos Transitorios en Líneas de Conducción* del MAPAS.

3.6.5. CURVA VELOCIDAD - PAR DE BOMBA Y MOTOR

Un gráfico de velocidad frente a los requisitos de par, durante la fase de arranque de una bomba a veces se compara con una curva de velocidad frente al par de accionamiento del motor. El motor debe ser capaz de suministrar más par en cada velocidad que la basada en valores corregidos de toda velocidad, las condiciones de BEP con el fin de llevar la bomba hasta la velocidad nominal. Esto suele ser fácilmente alcanzable con motores de inducción estándar, pero bajo ciertas condiciones, tales como bombas con velocidad específica alta o tensión de arranque reducida, se puede requerir un motor con alto par de arranque. Los motores síncronos suelen tener menos par de arranque que un motor de inducción y se deben revisar las características de la velocidad con respecto al par.

Cuando las bombas rotodinámicas operan en un rango de velocidad específica medio (menos de $n_s = 68$) se inician con la válvula de descarga cerrada y el procedimiento utilizado para calcular los requisitos mínimos de par a varias velocidades bajo esta condición es la siguiente:

- Determinar la carga máxima de la bomba, requerida a la velocidad nominal en condiciones de cierre. Convertir esta potencia al par.
- El par de la bomba varía con el cuadrado de su velocidad

A velocidad cero, el par de torsión sería teóricamente cero, pero el motor debe superar el sello mecánico (o prensaestopas) de fricción, la inercia rotacional y el cojinete de fricción con el fin de iniciar el giro del eje. Esto requiere un par a velocidad cero de 2 a 15 por ciento del par máximo a la velocidad nominal.

Los requisitos de velocidad-par, para condiciones de arranque que no sean de descarga cerrada, varían en función del porcentaje de carga estática de altura total; el contenido volumétrico de la línea de descarga; la condición de la línea de descarga, es decir, vacía, completa o parcialmente llena; y las condiciones que pueden cambiar durante el período que arranque, como la apertura o cierre de válvulas de derivación. Cada una de estas condiciones determina un requisito de par diferente a cualquier velocidad específica, que debe considerarse al momento de seleccionar la bomba.

Cualquier procedimiento para transmitir los requerimientos de arranque de la bomba desde el motor debe ser claramente entendido y considerado en la selección de la bomba y el motor. Los

requerimientos de par de la bomba a menudo se indican en dos valores: Válvula abierta y Válvula cerrada.

La condición de Válvula abierta es el punto de operación nominal de la bomba; la condición de Válvula cerrada es el valor para el caudal mínimo. En la mayoría de las instalaciones, la operación de la bomba se inicia con una válvula físicamente cerrada o una válvula de retención, que puede requerir un par más bajo, pero que tiene limitaciones en tiempo de funcionamiento.

Las curvas de velocidad-par pueden variar dependiendo de la velocidad específica de la bomba (n_e), sin embargo, para la mayoría de los equipos de flujo radial los siguientes datos de la curva de velocidad-par son representativos:

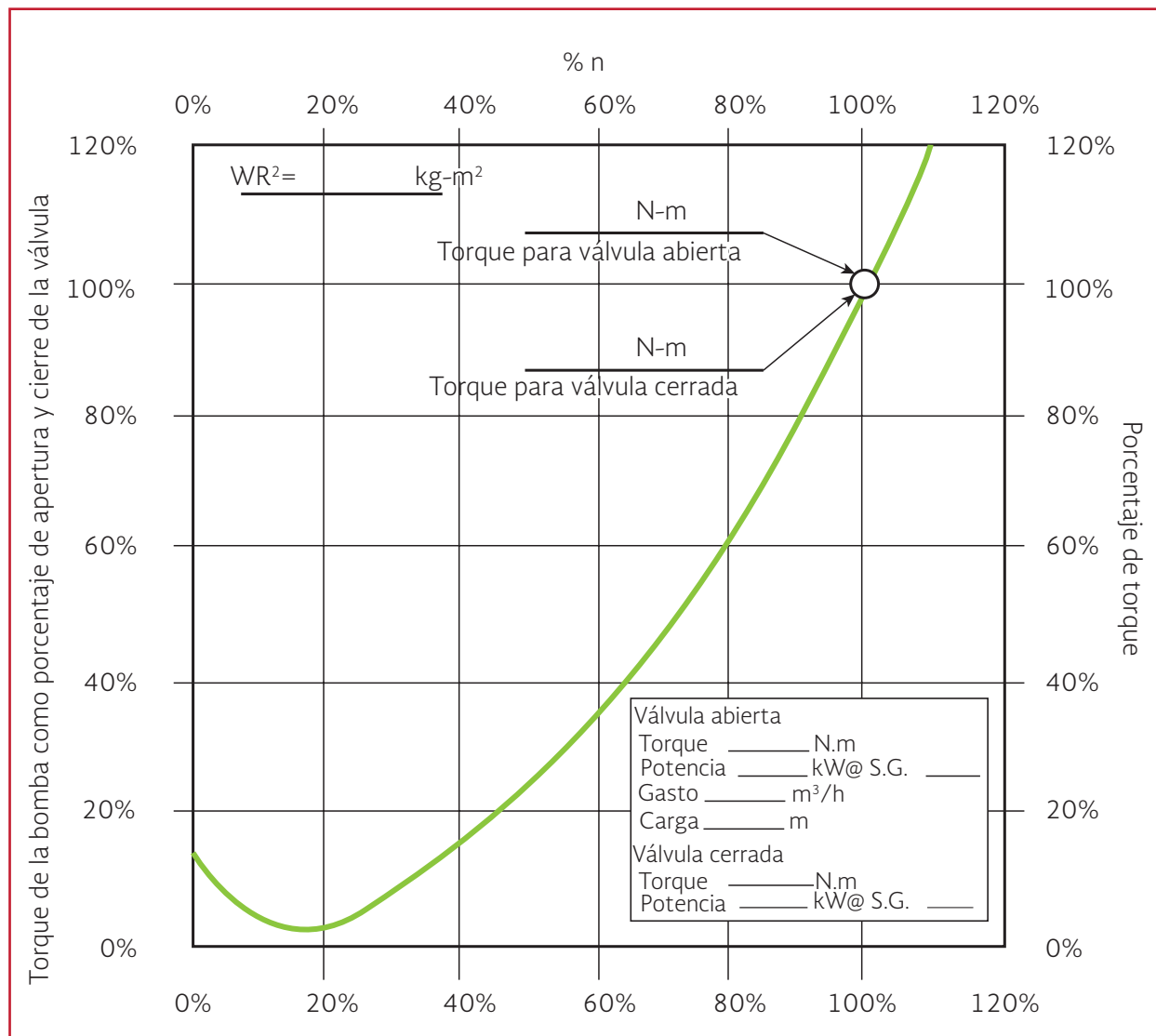
- El par de arranque puede variar dependiendo del tiempo de apertura de la válvula y la curva de carga del sistema. Para bombas grandes y de arranque especial, los requisitos para la selección del motor deben ser revisados de forma individual por un especialista electromecánico
- Los valores de tolerancia del rendimiento de las bombas verticales rotodinámicas para su aceptación son típicamente unilaterales, lo que resulta en valores de carga y flujo por encima del punto de diseño específico, que es acompañada por un aumento de la potencia de arranque. Esto puede resultar en un aumento adicional de 10 por ciento en la potencia y el par requerido para el motor

Las curvas, de la Ilustración 3.16 y la Ilustración 3.17, muestran cómo puede realizarse este procedimiento antes de seleccionar el motor.

Las curvas pueden completarse utilizando los ejemplos y los valores WR2 o WK2 suministrados por el fabricante de la bomba. También se pueden aplicar condiciones limitantes. La tensión reducida de arranque requiere confirmación específica que cualquier motor seleccionado será capaz de acelerar la bomba a la velocidad de funcionamiento en un plazo de tiempo aceptable.

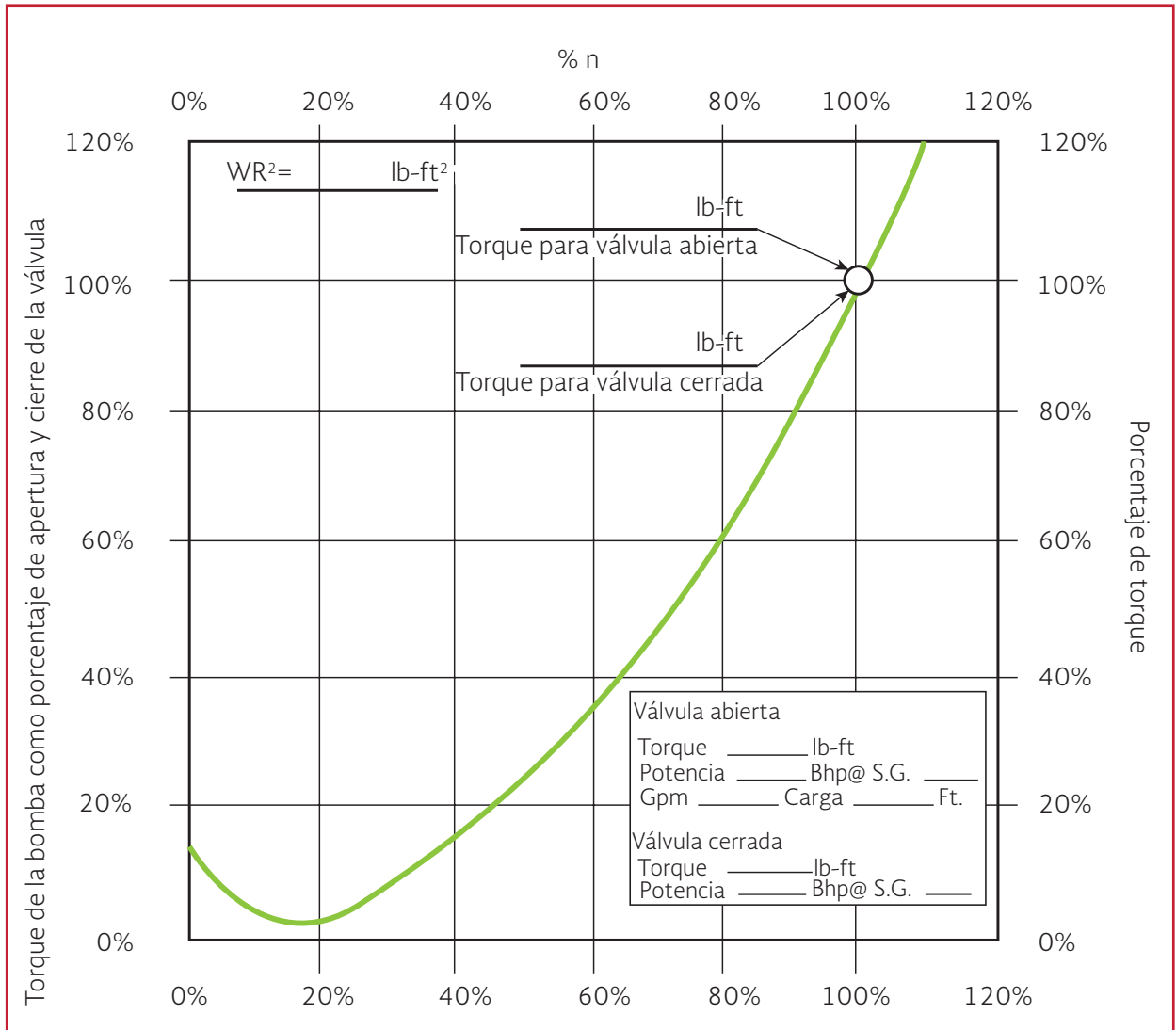
Para bombas pequeñas <10 kW (13 hp) con altas carga succión alta o cierres mecánicos duales pueden tener mayores pares de arranque de los que se muestran. Debido a la fricción y las pérdidas adicionales causadas por los sellos mecánicos, etcétera. Los motores deben tener el tamaño adecuado para satisfacer estos requisitos de arranque.

Ilustración 3.16 Curva de velocidad - par (en sistema internacional)



Fuente: ANSI/HI 2.3

Ilustración 3.17 Curva de velocidad - par (en sistema ingles)



Fuente: ANSI/HI 2.3

3.6.5.1. Rendimiento de la bomba después de un cambio de velocidad de rotación o diámetro del impulsor

Una característica de las bombas rotodinámicas (horizontal y vertical) es que es posible determinar el cambio en el flujo, la carga y la potencia en cualquier punto de las curvas características cuando hay un cambio en la velocidad de rotación. El rendimiento varía en función de las siguientes ecuaciones conocidas como reglas de afinidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

donde:

- Q_1 = Gasto para la velocidad original en m³/h
- H_1 = Carga total para la velocidad original en metros
- P_1 = Potencia para la velocidad original en kW
- n_1 = Velocidad original de la bomba
- Q_2 = Gasto para la velocidad deseada en m³/h
- H_2 = Carga total para la velocidad deseada en metros
- P_2 = Potencia para la velocidad deseada en kW
- n_2 = Velocidad deseada para la bomba

Esto puede ser más útil para predecir el rendimiento de la bomba cuando se aplican dispositivos de arranque de velocidad variable.

La relación de potencia se basa en la consideración de que la eficiencia de la bomba se mantiene constante con el cambio en la velocidad. Sin embargo, si la velocidad de rotación se reduce sustancialmente de original, la pérdida de potencia relativa en los cojinetes y el sello mecánico de fricción puede ser aumentada. Las pérdidas por fricción hidráulica también pueden aumentar relativamente cuando se reduce el número de Reynolds en la tubería.

Estas mismas reglas de afinidad se aplican para cambios en el diámetro del impulsor de bomba. Para el cambio de diámetro se debe sustituir en las ecuaciones anteriores D_1 para n_1 y D_2 para n_2 , donde:

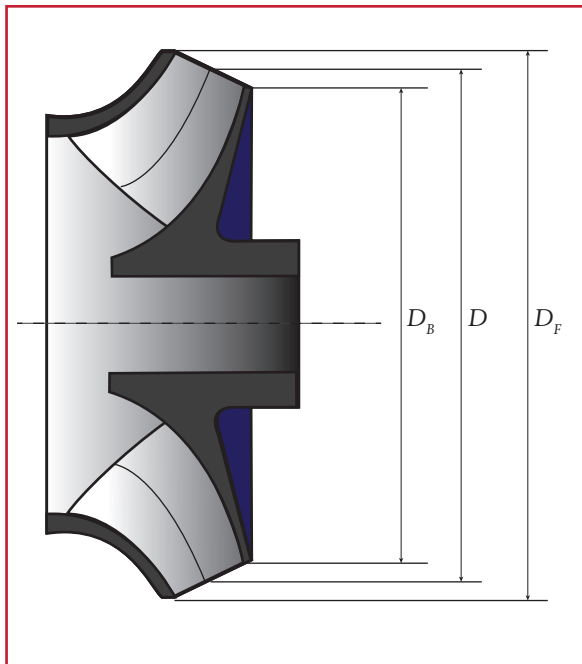
donde:

- D_1 = Diámetro original del impulsor
- D_2 = Diámetro reducido del impulsor

Con respecto al cambio de diámetro del impulsor, la aplicación de las reglas de afinidad tiene limitaciones y no siempre refleja con precisión el comportamiento de una bomba cuando se reduce el impulsor. En el rango de velocidad específica de 25 y superior, los exponentes para las relaciones de diámetro en las ecuaciones anteriores para el flujo y la carga pueden ser diferentes de 1 y 2, respectivamente, para una bomba en específico. Las reglas de afinidad no son útiles para velocidades específicas por encima de 150.

Normalmente, el diámetro D es el diámetro exterior (ver Ilustración 3.18) de los álabes del impulsor, pero si la salida del impulsor es angulada, entonces D será:

Ilustración 3.18 Salida del impulsor angulada



Nota Importante:

Las ecuaciones presentadas en este apartado no son recomendadas sin consultar las especificaciones de la bomba, específicamente cuando se cambian los diámetros del impulsor en más de un 5 por ciento.

$$D = \sqrt{\frac{D_F^2 + D_B^2}{2}} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Si el espesor de los álabes del impulsor en el diámetro exterior se reduce por el uso, el nuevo impulsor deberá tener el mismo diámetro.

3.6.6. CONSIDERACIONES PARA EL NPSH MARGINAL

Cada sistema debe estar diseñado de tal manera que el NPSHA sea igual o mayor a la NPSHR en todo el rango de operación. Si la bomba

se diseña para operar con una carga de succión positiva neta igual a NPSH3, el tazón de primera etapa se reducirá en un 3 por ciento a partir de la curva de rendimiento establecido para una velocidad dada, y se presentara aumento de ruido, vibración y daños asociados a la cavitación. Es por eso que los sistemas de bombeo deben estar diseñados de tal manera que el NPSHA exceda el NPSH requerido por la bomba por un cierto valor, llamado NPSH marginal. La cantidad de margen requerido varía dependiendo del diseño de la bomba, la aplicación, y los materiales de construcción. Hay una tendencia en la mayoría de sistemas de bombeo para disminuir el NPSHA con el aumento del flujo; igualmente hay una tendencia en la mayoría de los diseños de bombas para aumentar el NPSH3 con el aumento de la velocidad de flujo. Por lo tanto los NPSH marginales adecuados deben ser revisados y confirmados para todos los caudales previstos y considerando las recomendaciones del fabricante, para mayor abundamiento consulte la norma ANSI/HI 9.6.1.

3.6.7. NIVELES DE RUIDO

En general, para bombas verticales, el nivel de sonido generado por el motor es mayor que el generado por la bomba, además se debe tomar que este aumenta cuando existen variadores de frecuencia.

En el caso de las bombas de flujo axial, turbina vertical, flujo mixto, doble aspiración (tipos VSO, VS1, VS2 y VS3) tienen sus elementos de bombeo sumergidos por debajo del suelo de la estación, también las bombas de una o varias etapas verticales (tipos VS6 y VS7) tienen sus elementos de bombeo sumergidos dentro de la carcasa y típicamente por debajo del nivel del suelo. En estos casos

al estar sumergidas se amortigua y reduce significativamente el nivel de ruido de la bomba, medida en las estación de bombeo.

Las principales fuentes de sonido de una bomba vertical, sin considerar el motor, son los codos, la descarga de la bomba y cualquier sonido residual de los elementos del sistema de bombeo. El nivel de ruido del motor normalmente excederá el nivel de ruido de la bomba vertical. El sonido emitido por las tuberías, válvulas, estructuras de instalaciones conectadas, etcétera, pueden ser importantes contribuyentes a los niveles globales de ruido. Si el nivel de ruido de la bomba es en realidad igual al nivel de ruido del motor, sería agregar sólo 3 decibelios al nivel de ruido del motor.

Para obtener información sobre los niveles de ruido, consúltese la norma ANSI/HI 2.4 y ANSI / HI 9.1 a 9. 5.

3.6.8. GASTO MÍNIMO

Las bombas rotodinámicas tienen limitaciones para flujo mínimo al que deben ser operados de forma continua o por un período prolongado de tiempo. Después de arrancar una bomba, no se debe operar con la válvula de descarga cerrada.

El funcionamiento de las bombas en flujo reducido puede dar lugar a los siguientes problemas:

Incremento de temperatura: La absorción de la energía de entrada en el líquido bombeado eleva la temperatura del líquido. En general,

aumento de la temperatura a través de la bomba debe limitarse a las recomendaciones del fabricante.

Recirculación de succión: el flujo circulatorio en el ojo del impulsor puede causar picaduras puntuales y daños mecánicos. Tal flujo depende del diseño de entrada del impulsor.

Recirculación de descarga: el flujo circulatorio en la zona de descarga de los impulsores puede causar grandes fuerzas en la cubierta, resultando en desequilibrio axial al azar de las fuerzas y un alto empuje. Pueden producirse fallos por vibración y rodamientos mecánicos.

Insuficiente carga neta positiva de succión: En algunos casos, el NPSH requerido por el impulsor puede aumentar para flujos bajos, con esto se genera ruido, picaduras en el impulsor y otros síntomas. Se debe revisar la curva de rendimiento del fabricante de la bomba para conocer recomendaciones de flujo mínimo o el NPSHR.

3.6.8.1. Corrección por temperatura y elevación

El NPSHA es una función de la presión absoluta, tanto estática como dinámica y de la presión de vapor del líquido. En un sistema abierto la presión absoluta es a su vez una función de la presión atmosférica, el nivel de la superficie libre del agua, las pérdidas por fricción en la tubería de succión y la presión de vapor. La corrección de la elevación es de aproximadamente 1 m por 1 000 m de desnivel.

3.6.8.2. Consideraciones para el NPSH marginal

El personal que seleccione la bomba debe considerar un NPSH marginal adecuado, además de la NPSHR especificado en el proyecto. Para proteger la bomba del daño causado por el flujo de recirculación y la cavitación, es recomendable tener un NPSH marginal operativo suficiente para todas las condiciones de flujo (flujo continuo estable de mínimo a máximo del flujo operativo esperado). Se deberá consultar con el fabricante sobre los valores de NPSH marginal recomendados para el tipo de bomba específica y el servicio previsto. Al establecer NPSHA, el comprador y el vendedor deben reconocer la relación entre el flujo estable continuo mínimo y la velocidad específica de succión de la bomba.

3.6.8.3. Rendimiento de la succión

El aumento de velocidades en la bomba, sin condiciones de succión adecuadas puede resultar en un desgaste anormal y una posible falla por vibraciones excesivas, ruido y daños por cavitación.

3.6.8.4. Puesta en marcha

Al seleccionar un equipo, se debe tener en cuenta que para algunas configuraciones de bombas centrífugas rotodinámicas, tal como rodamientos de varias etapas y con algunos sistemas de lubricación de rodamientos, como anillo de lubricación de aceite, es posible que el funcionamiento a una velocidad inferior a la mínima

permitida por el fabricante podría causar graves daños. Se debe investigar a fondo la idoneidad de la bomba para el funcionamiento a bajas velocidades antes de seleccionarla.

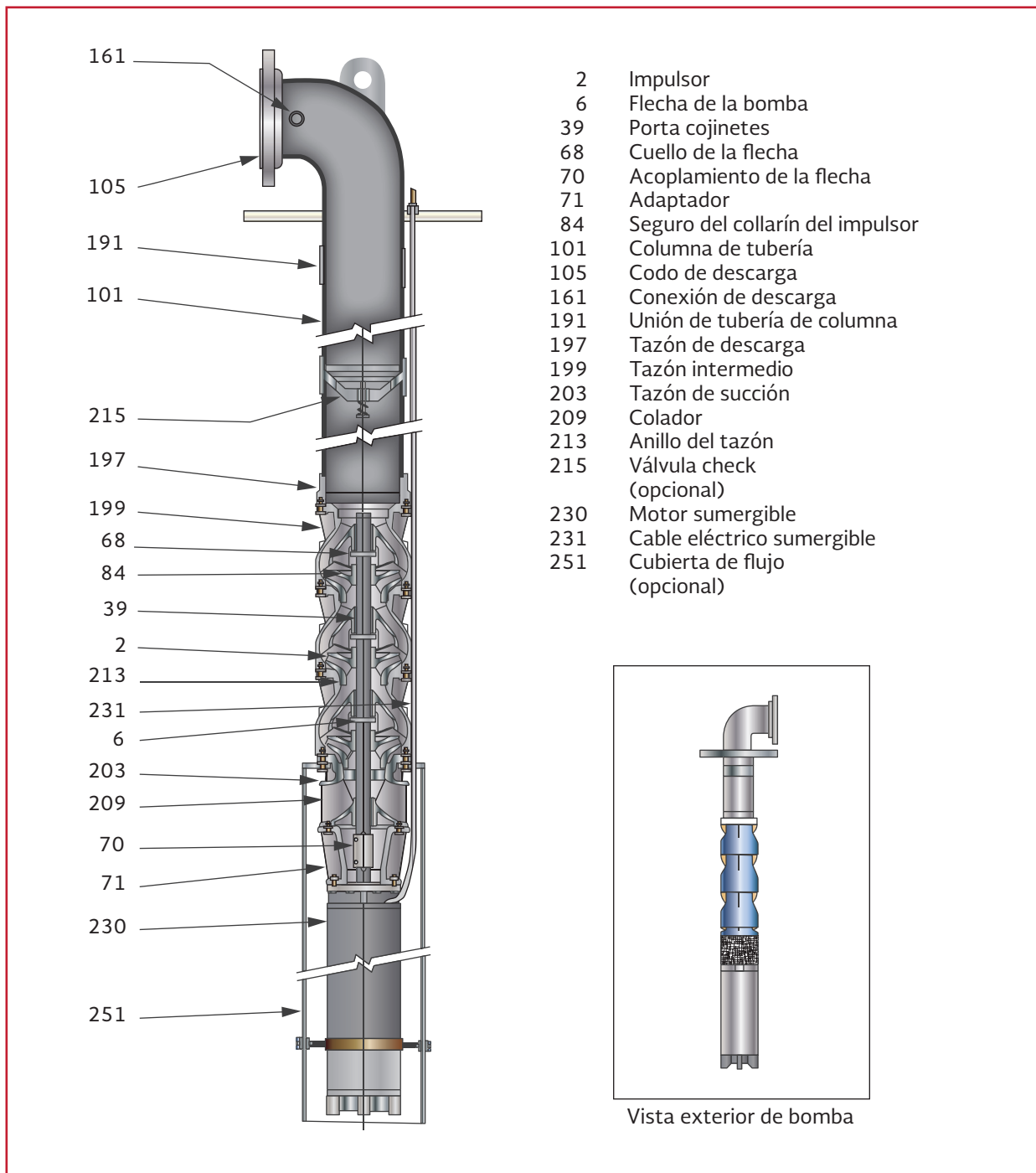
En la selección del equipo, se debe tener en cuenta las condiciones de diseño del sistema de puesta en marcha. Esta especifica el tiempo necesario para acelerar la bomba hasta su velocidad nominal. Normalmente, la bomba debe ser arrancarse y llevarse a la velocidad de operación (entre 3 a 5 segundos). En el caso que se requiera más tiempo o una operación de baja velocidad de la bomba, debe consultarse con el fabricante para establecer la selección adecuada, además se debe considerar la resonancia y velocidades críticas que pueden causar alta vibración, tanto en la bomba y estructuras de montaje.

3.6.8.5. Apagado

Durante el proceso de apagado de un equipo se deben evitar los transitorios hidráulicos (ver apartado 3.6.3).

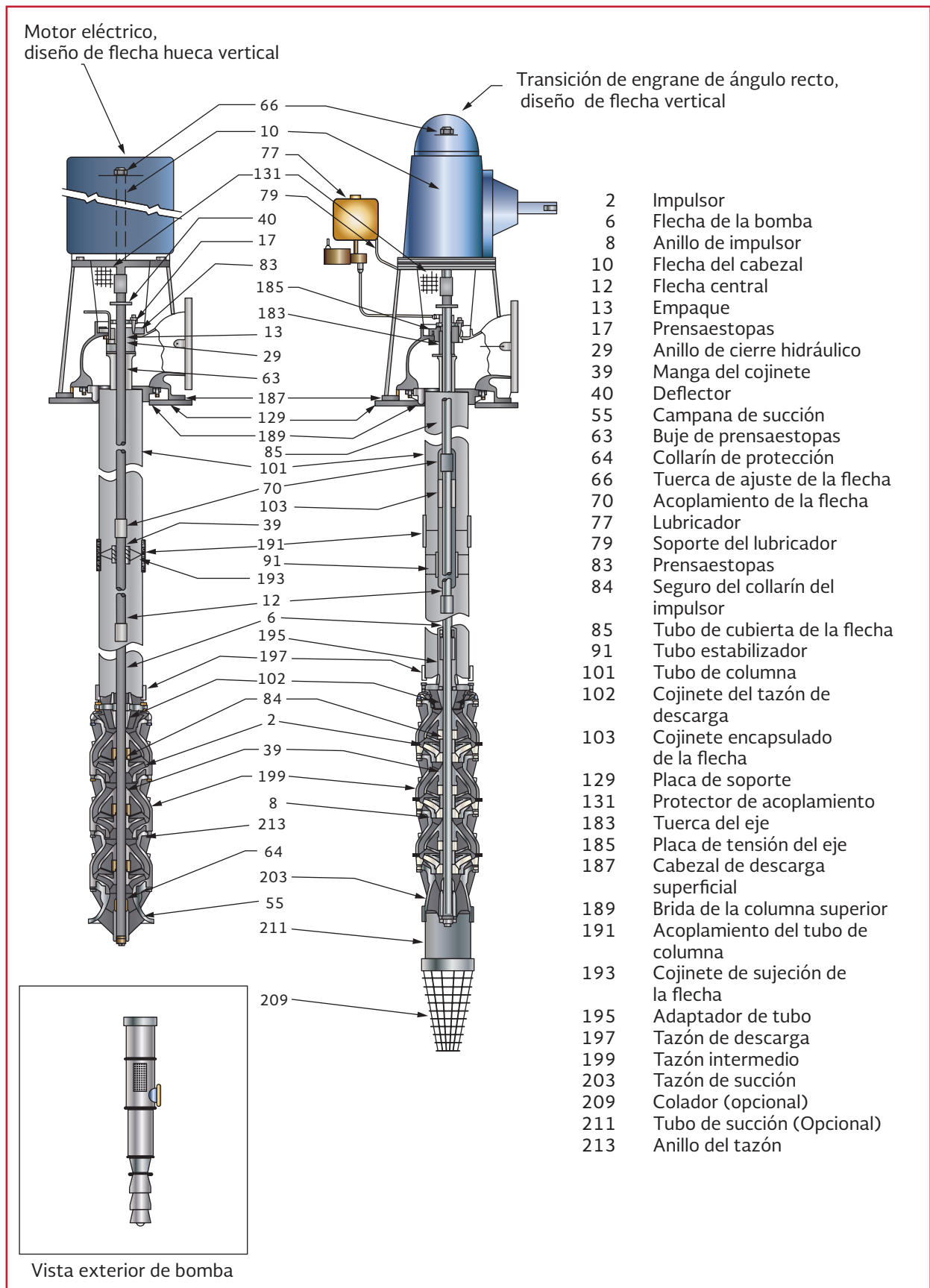
No se recomienda la operación en condiciones de cierre (con la válvula de descarga cerrada) durante períodos prolongados de tiempo. Esto induce un mayor empuje radial en muchas bombas y calienta el líquido en la bomba. Para evitar esta situación se puede considerar una tubería de recirculación (de nuevo a la fuente de succión) o la utilización de un controlador de velocidad variable, esto permitirá aumentar la vida útil de la bomba, siempre respetando las recomendaciones del fabricante.

Ilustración 3.19 Bomba sumergible de pozo profundo (VSO)



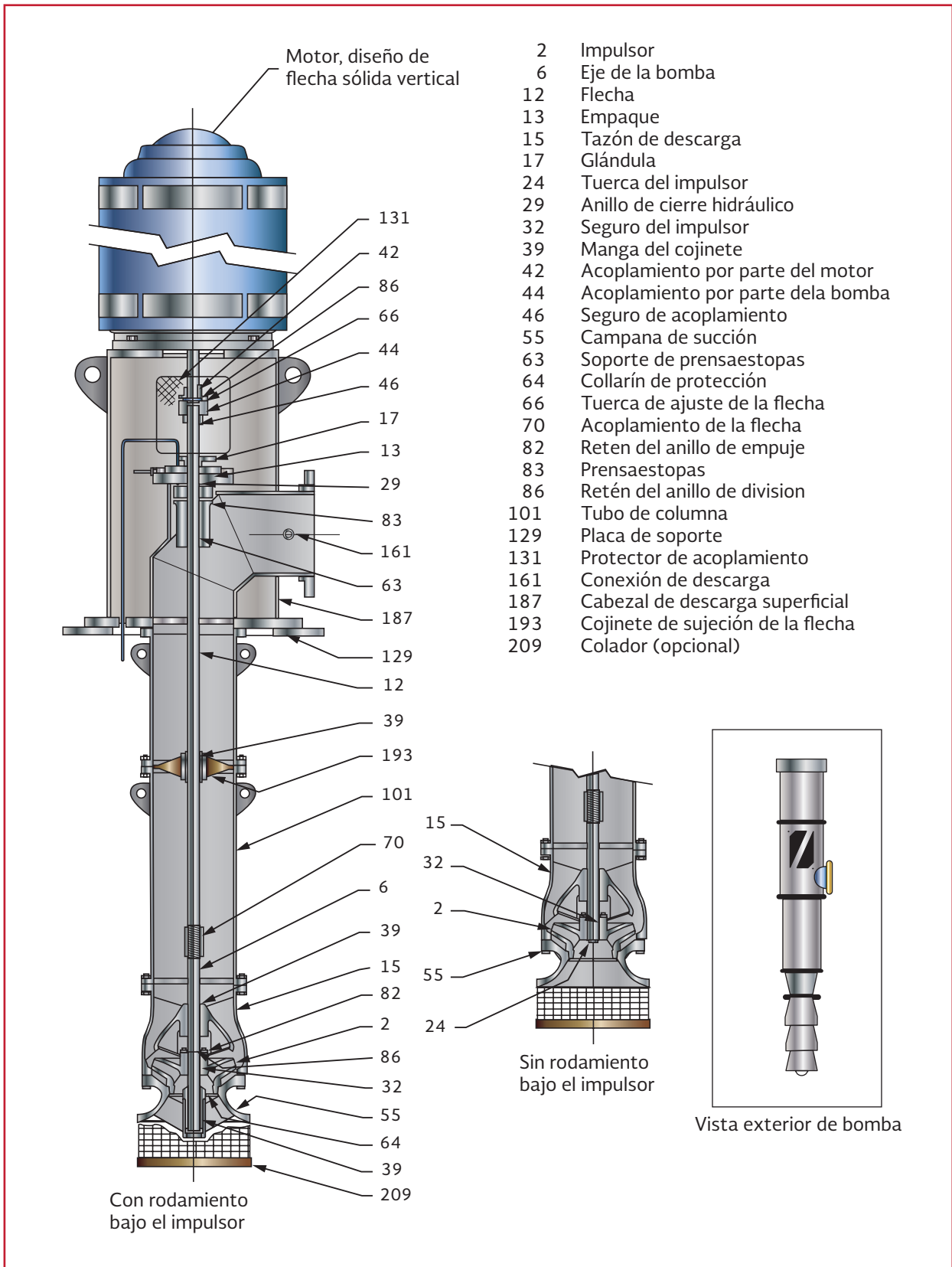
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.20 Bomba vertical de pozo profundo (VS1)



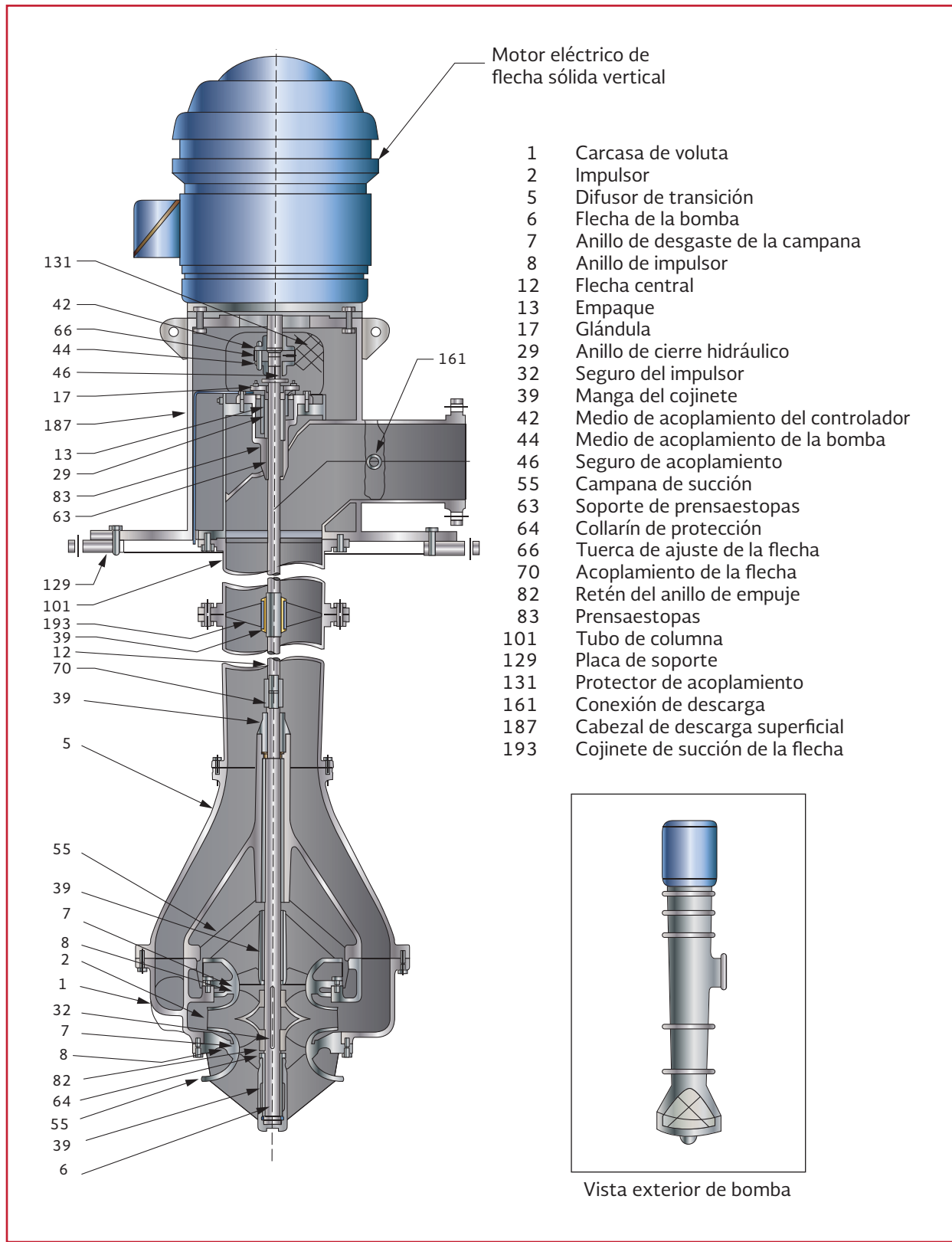
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.22 Bomba vertical de flujo mixto de flecha de línea abierta (VS1)



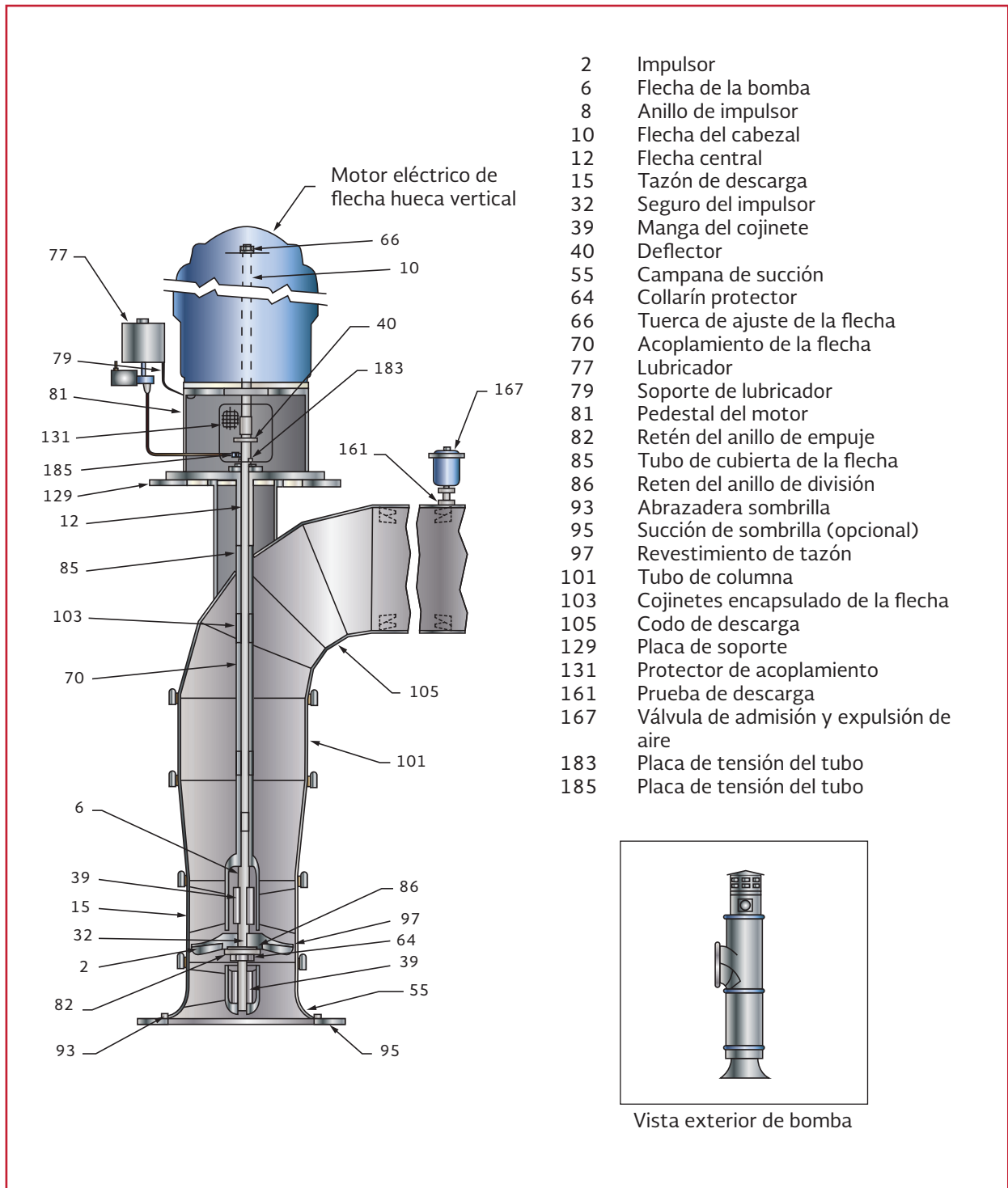
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.23 Bomba vertical de doble succión tamaño corto de flecha abierta (VS2)



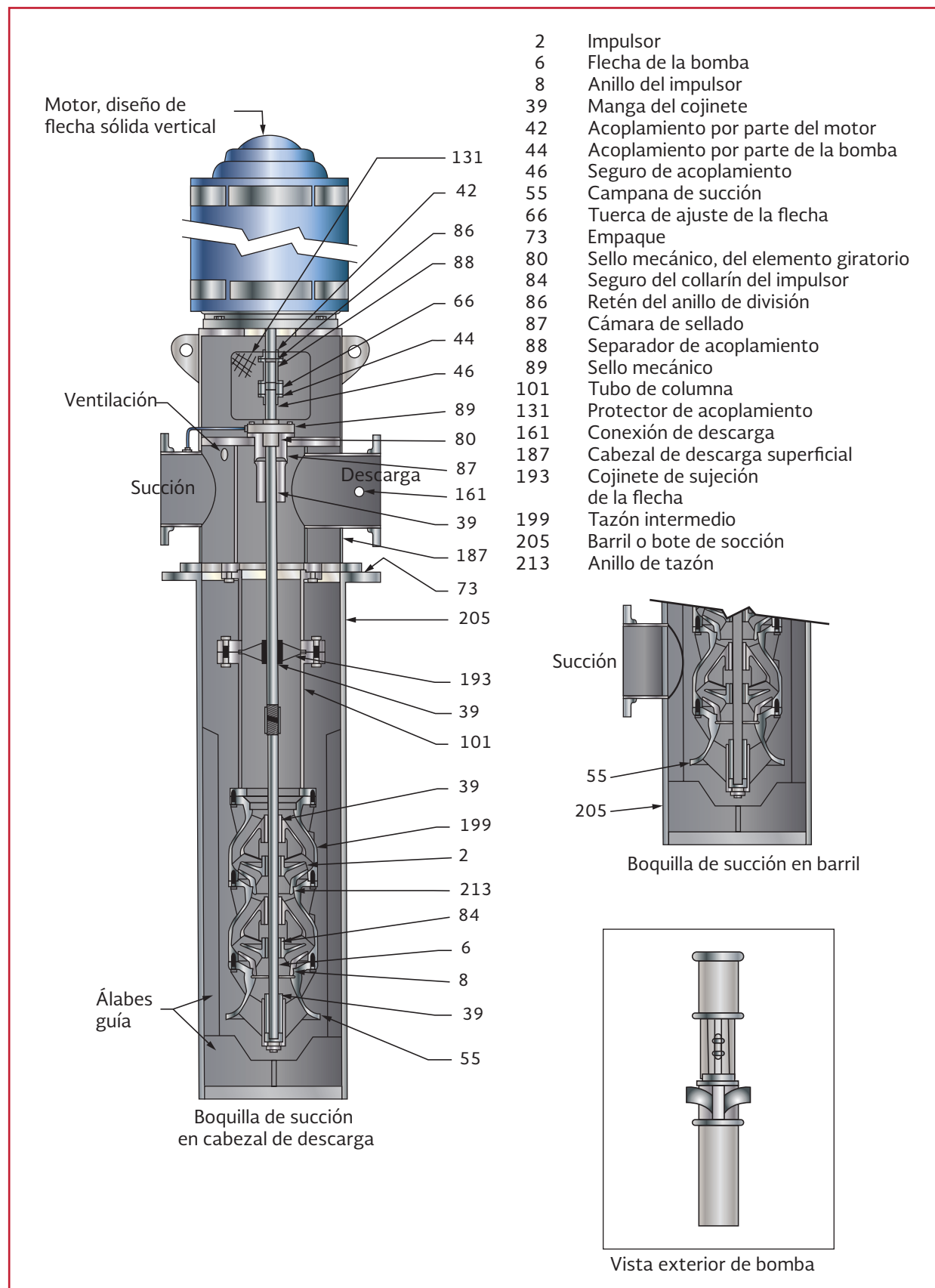
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.24 Bomba vertical con impulsor de flujo axial (propela), flecha cubierta, configuración de descarga debajo de piso (VS3)



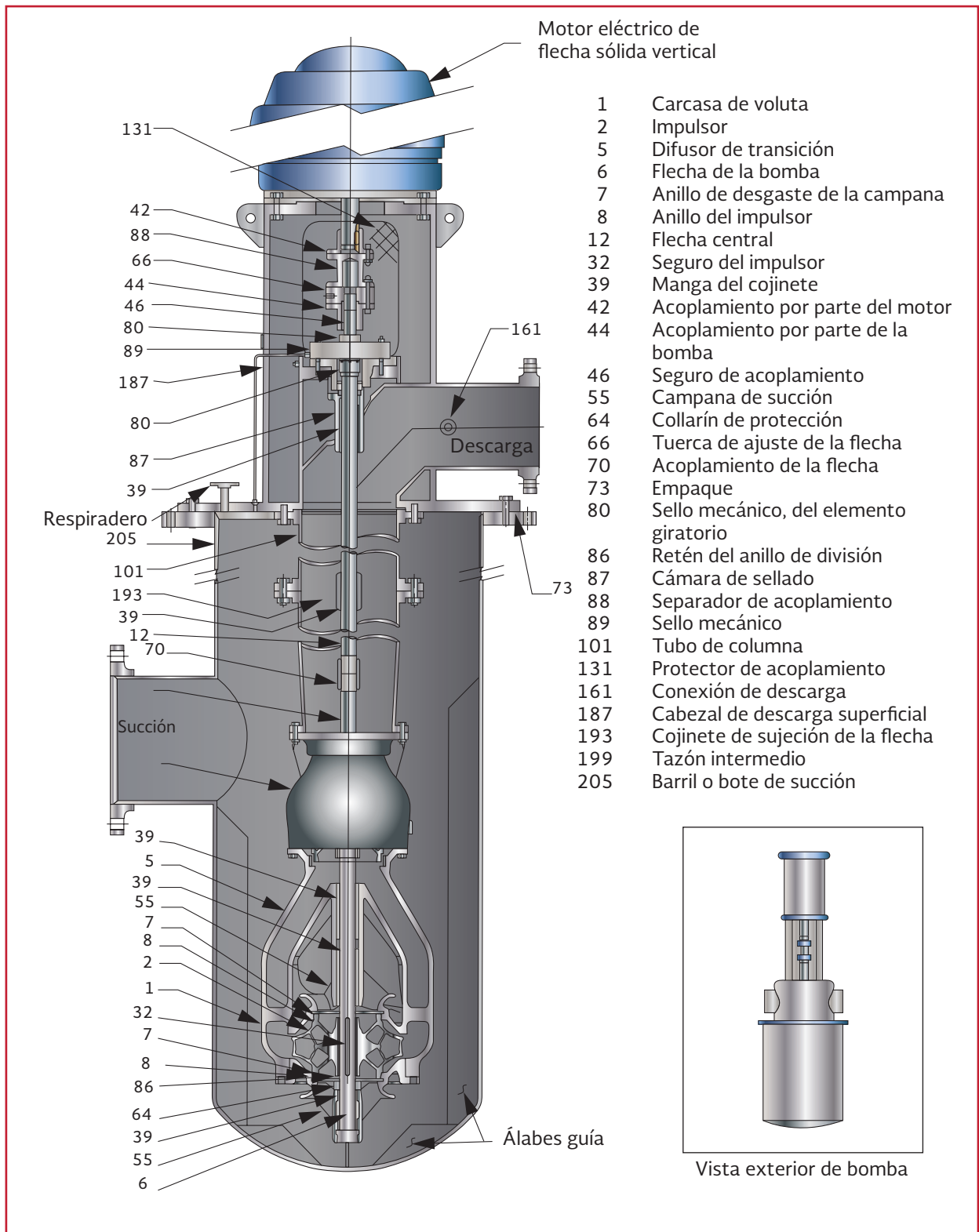
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.25 Bombas verticales de una etapa o multietapas de difusor tipo bote o barril (VS6)



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

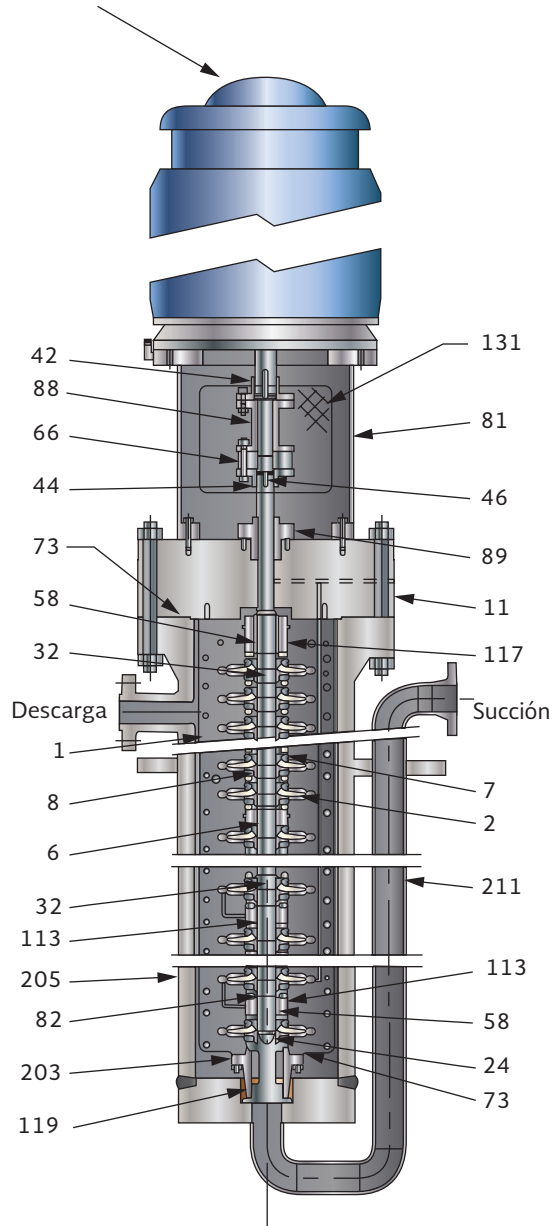
Ilustración 3.26 Bomba doble succión de una etapa o multietapas tipo barril (VS7)



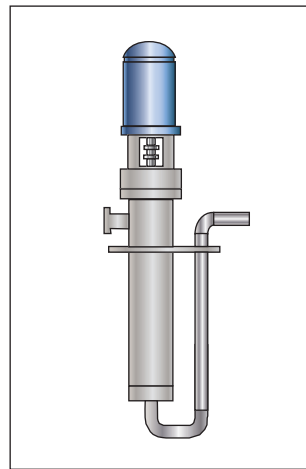
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.27 Bomba vertical de multietapas de voluta o espiral (doble carcasa) tipo barril (VS7a)

Motor eléctrico de
flecha sólida vertical



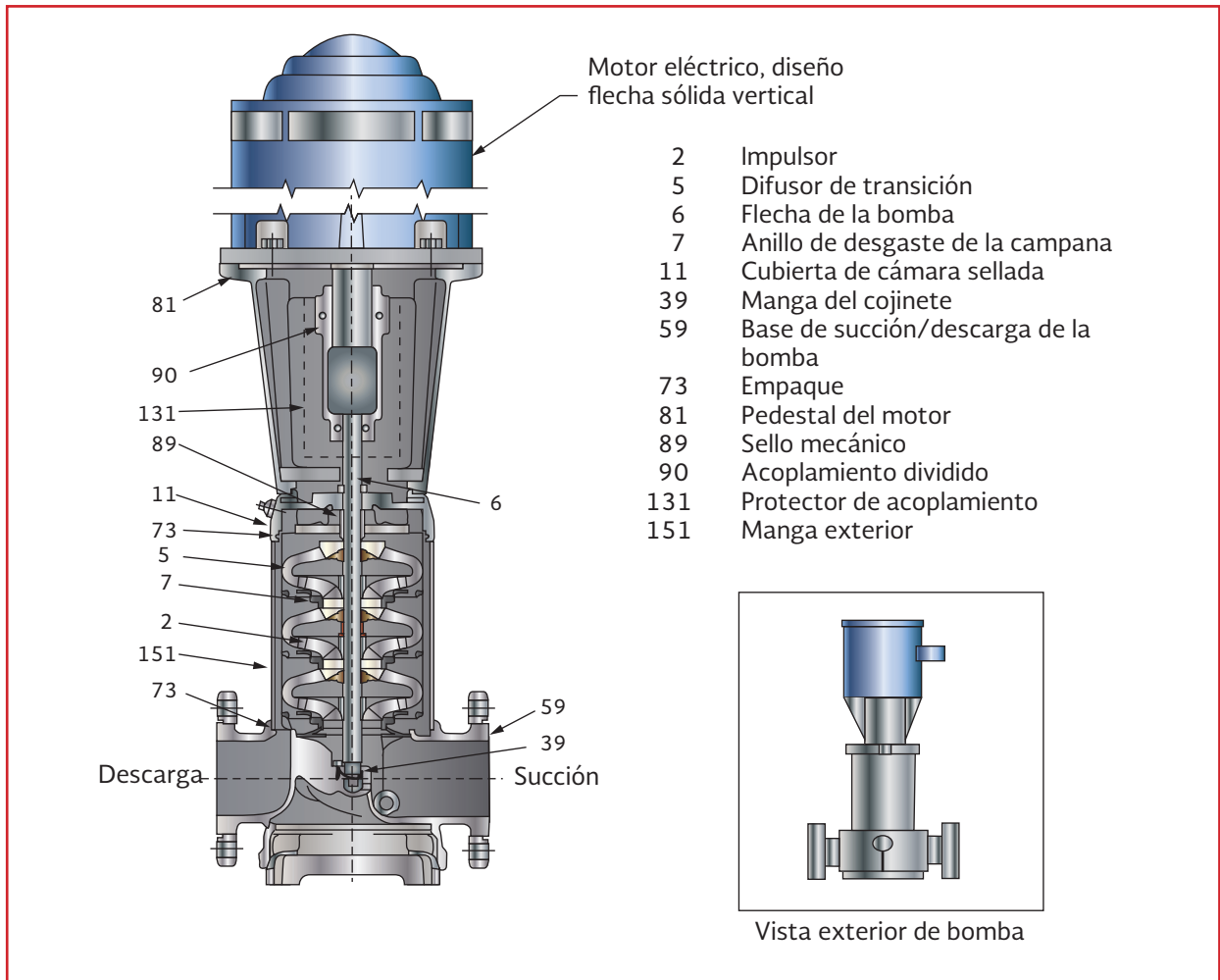
- 1 Carcasa de voluta
- 2 Impulsor
- 6 Flecha de la bomba
- 7 Anillo de desgaste de la campana
- 8 Anillo del impulsor
- 11 Cubierta de la cámara sellada
- 24 Tuerca del impulsor
- 32 Seguro del impulsor
- 42 Medio de acoplamiento del motor
- 44 Medio de acoplamiento de la bomba
- 46 Llave de acoplamiento
- 58 Manga entre etapas
- 66 Tuerca de ajuste de la flecha
- 73 Empaque
- 81 Pedestal del motor
- 82 Retén del anillo de empuje
- 88 Separador de acoplamiento
- 89 Sello mecánico
- 113 Casquillo entre etapas
- 203 Carcasa de succión
- 205 Barril
- 117 Buje reductor de presión
- 119 Anillo
- 131 Protector de acoplamiento
- 205 Barril o bote de succión
- 211 Tubería de succión



Vista exterior de bomba

Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.28 Bomba vertical de difusor de carcasa en línea (VS8)



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.29 Impulsor suspendido - Acople flexible - Montada sobre marco - Etapa simple (OH0)

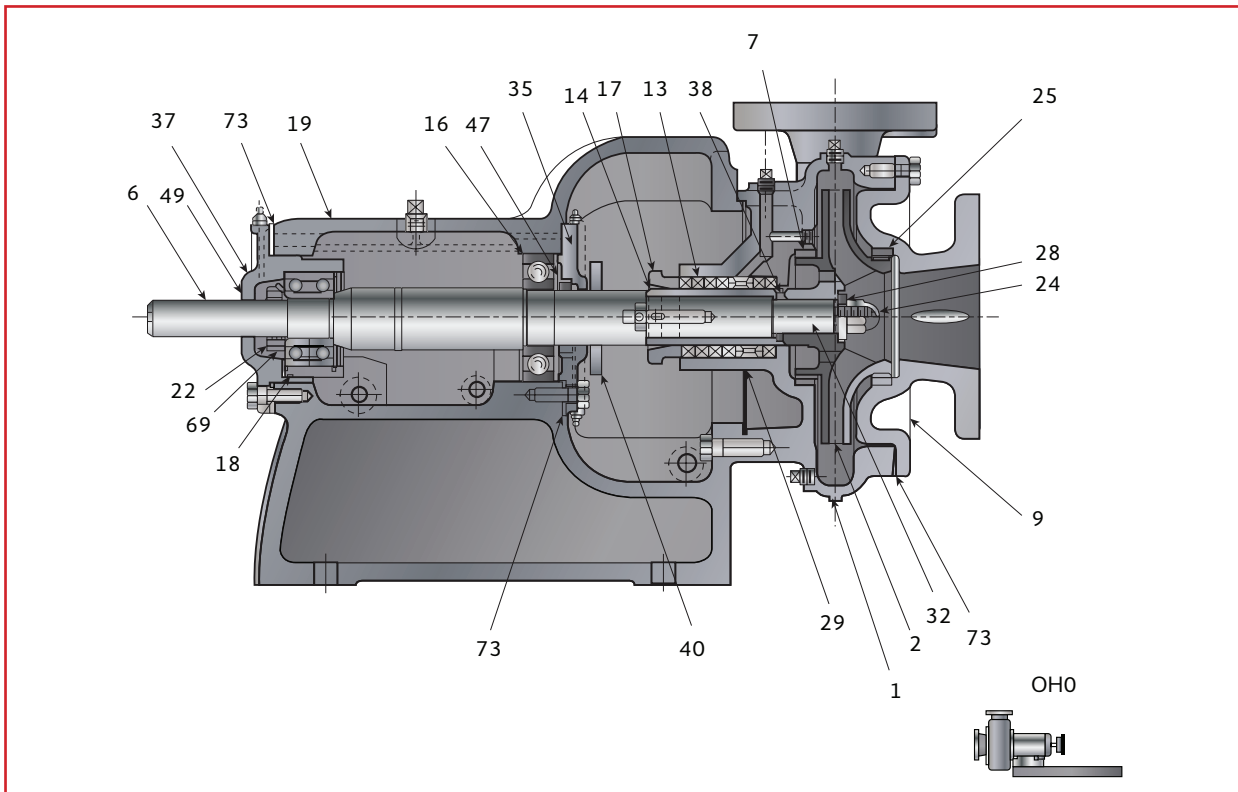
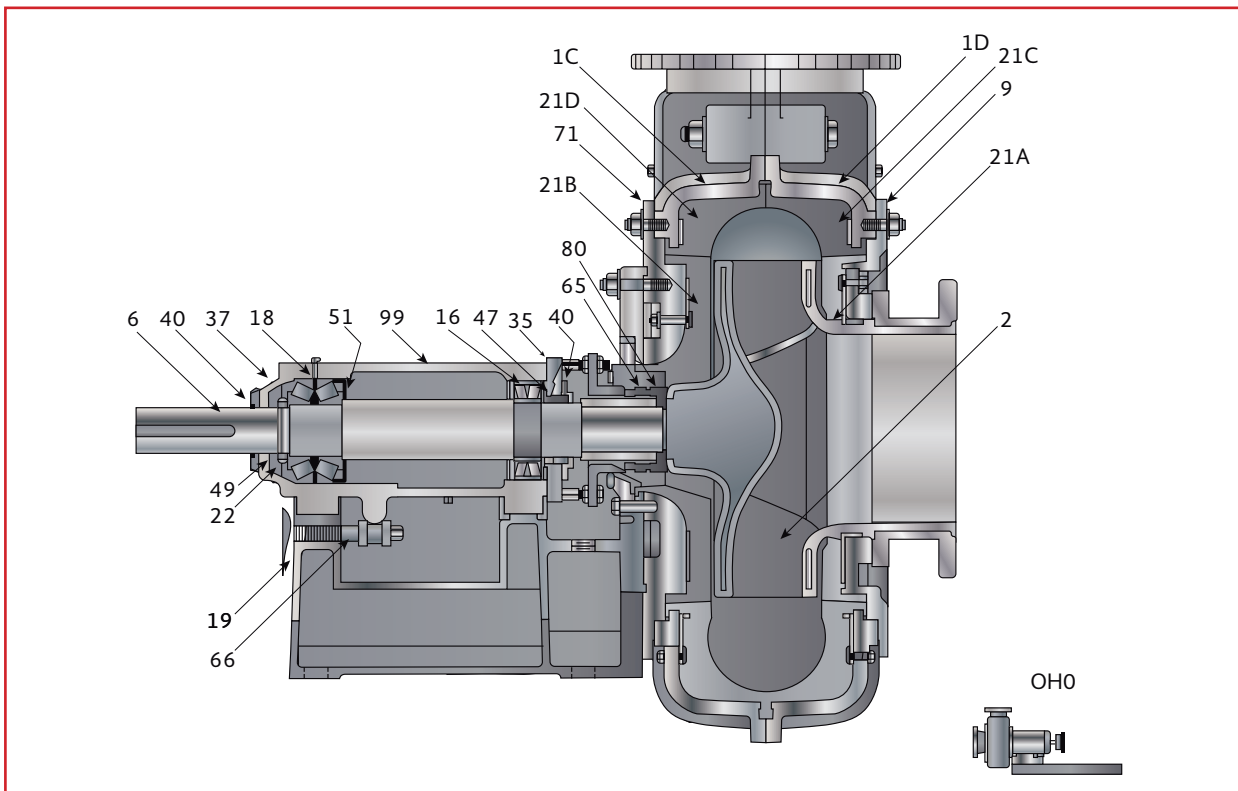


Ilustración 3.30 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre marco - Etapa simple - Bomba alineada (OH0)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.33 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- Etapa simple - ASME B73.1 (OH1)

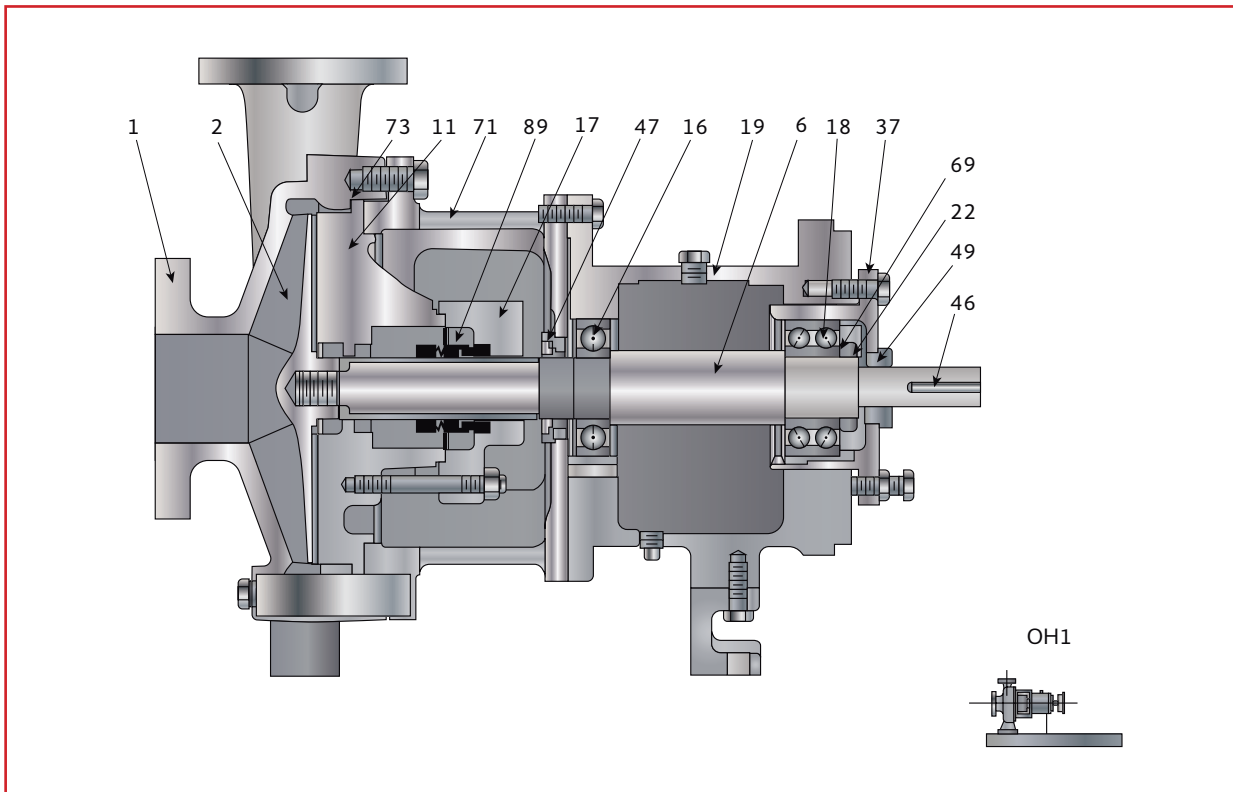
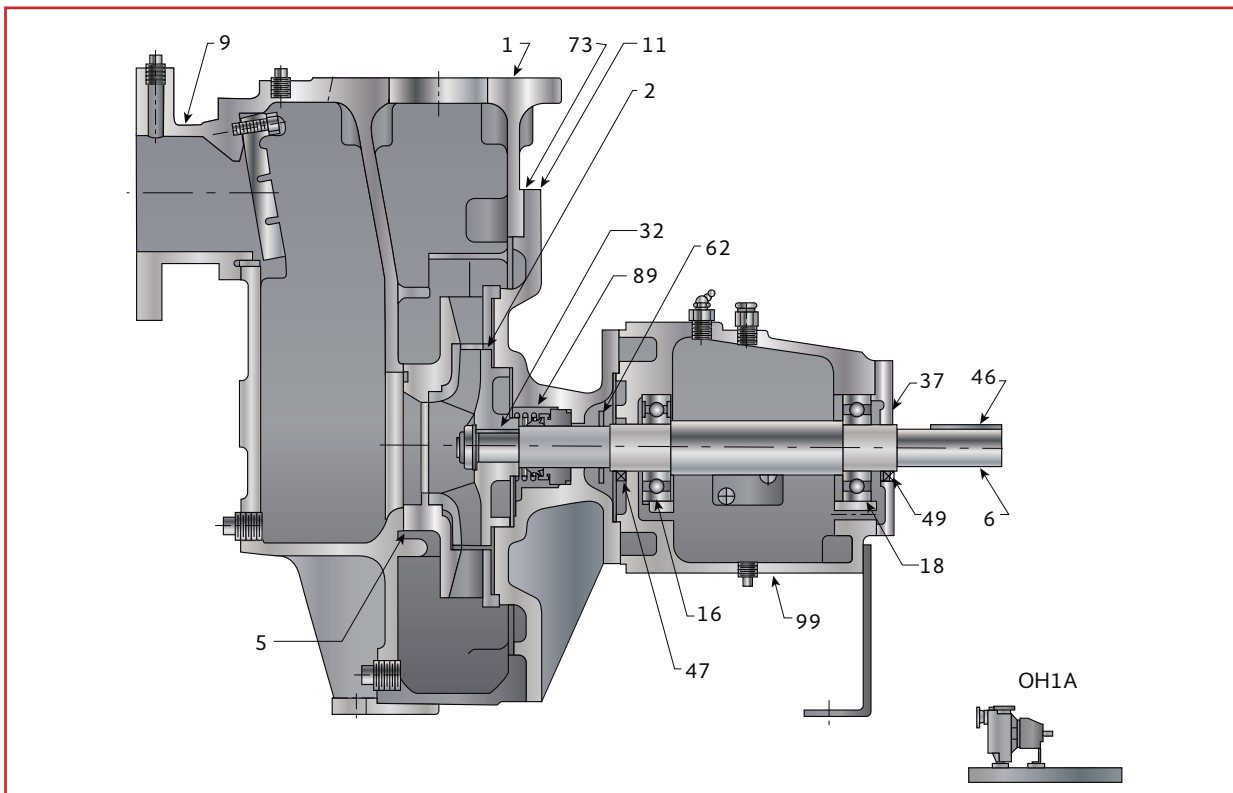


Ilustración 3.34 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- autocebante - Etapa simple (OH1A)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.35 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre pedestal- Etapa simple - API 610 (OH2)

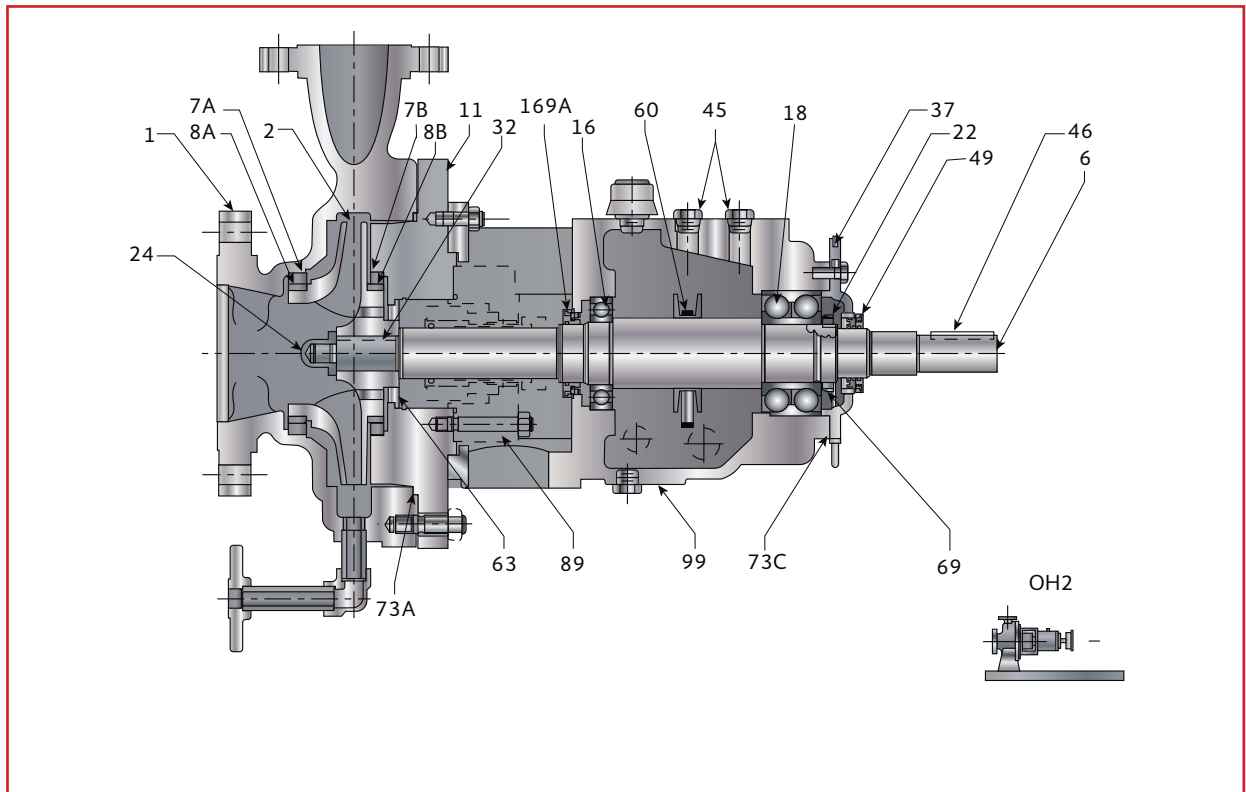


Ilustración 3.36 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - en línea - Etapa simple (OH3)

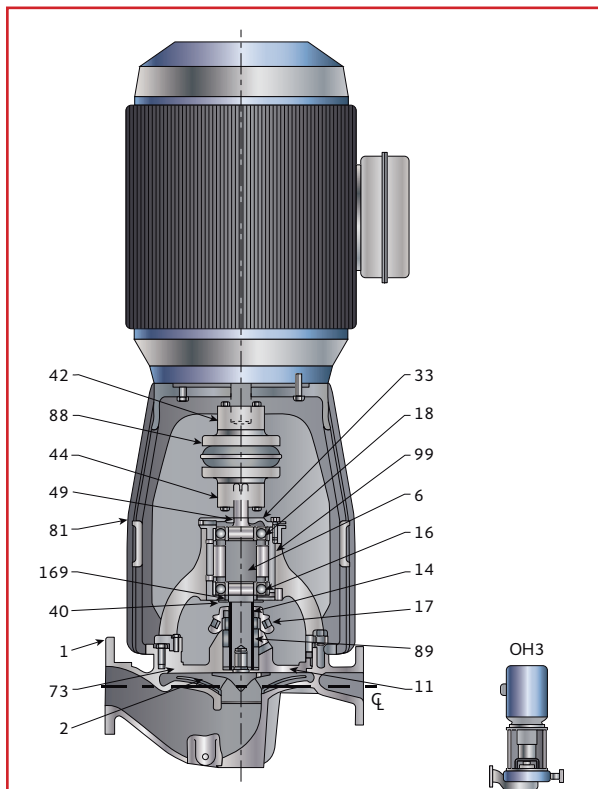
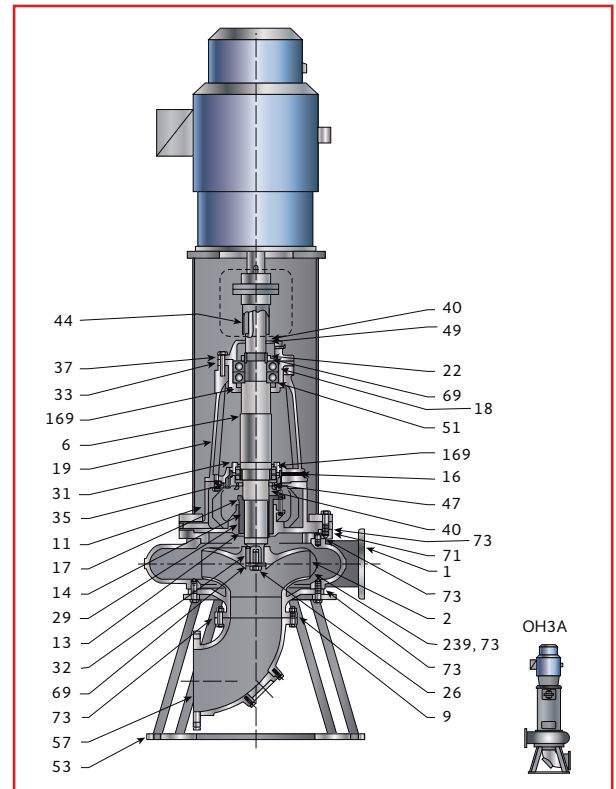


Ilustración 3.37 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - succión inferior - Etapa simple (OH3A)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.38 Impulsor suspendido - Acople rígido - Vertical - en línea - Etapa simple (OH4)

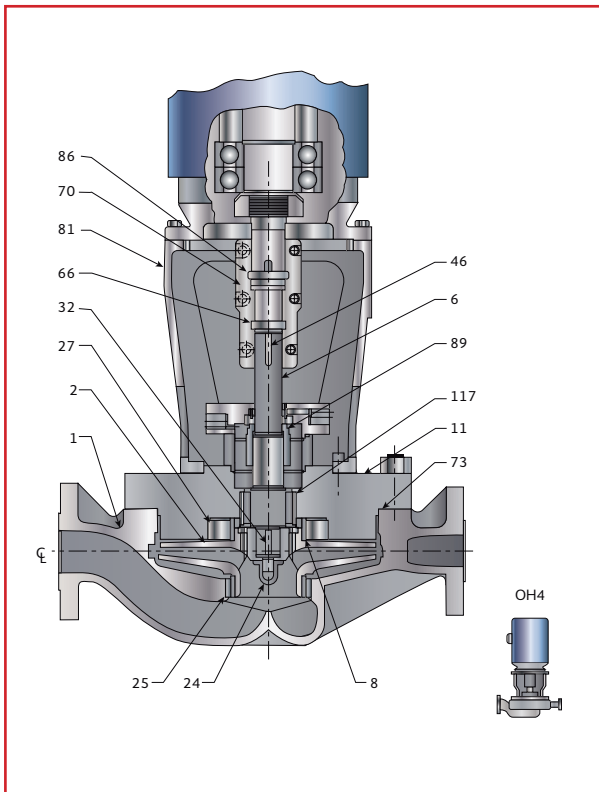


Ilustración 3.39 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - en línea - Etapa simple (se muestra sello y enclaustramiento) (OH5)

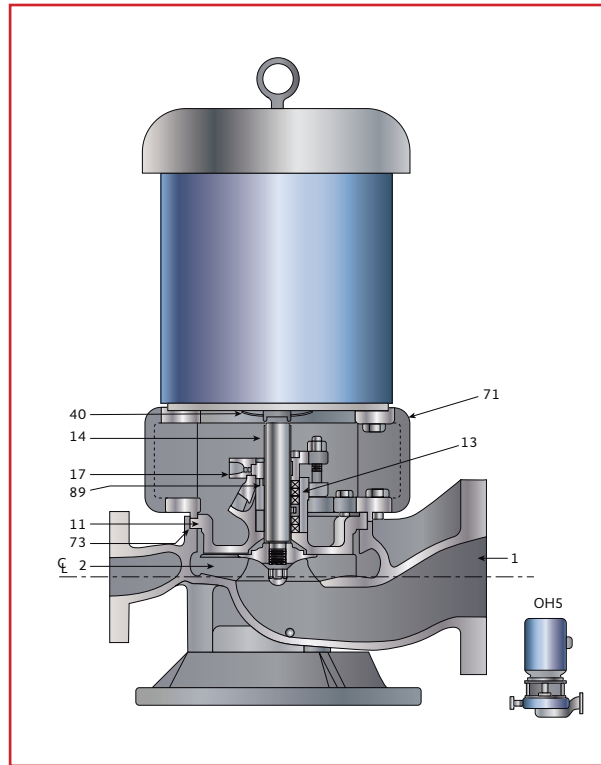


Ilustración 3.40 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Succión inferior - Etapa simple - Montaje vertical (OH5A)

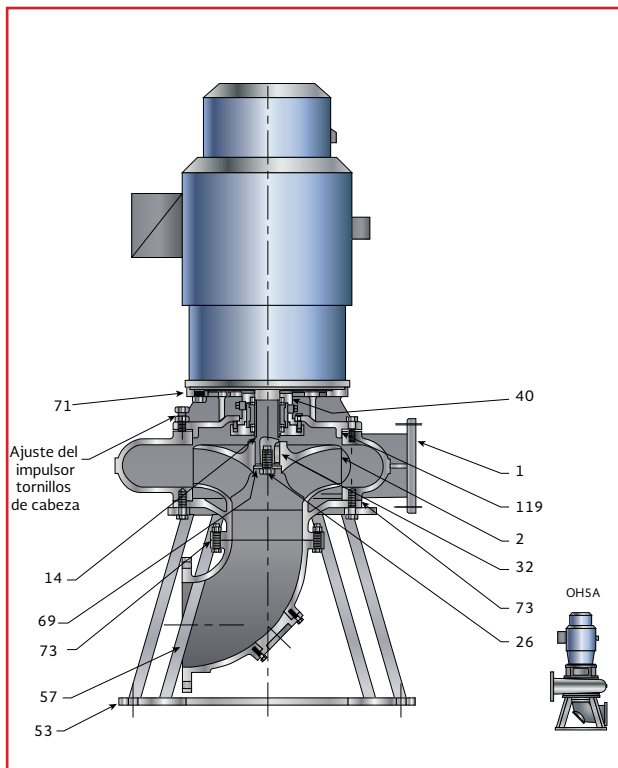
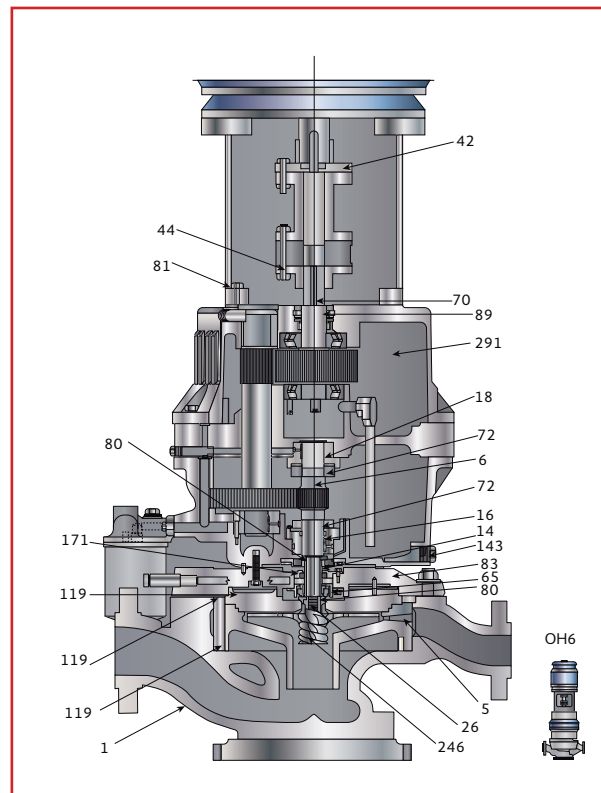


Ilustración 3.41 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Alta velocidad - Etapa simple (OH6)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.42 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Horizontal - Succión inferior - Etapa simple (OH7)

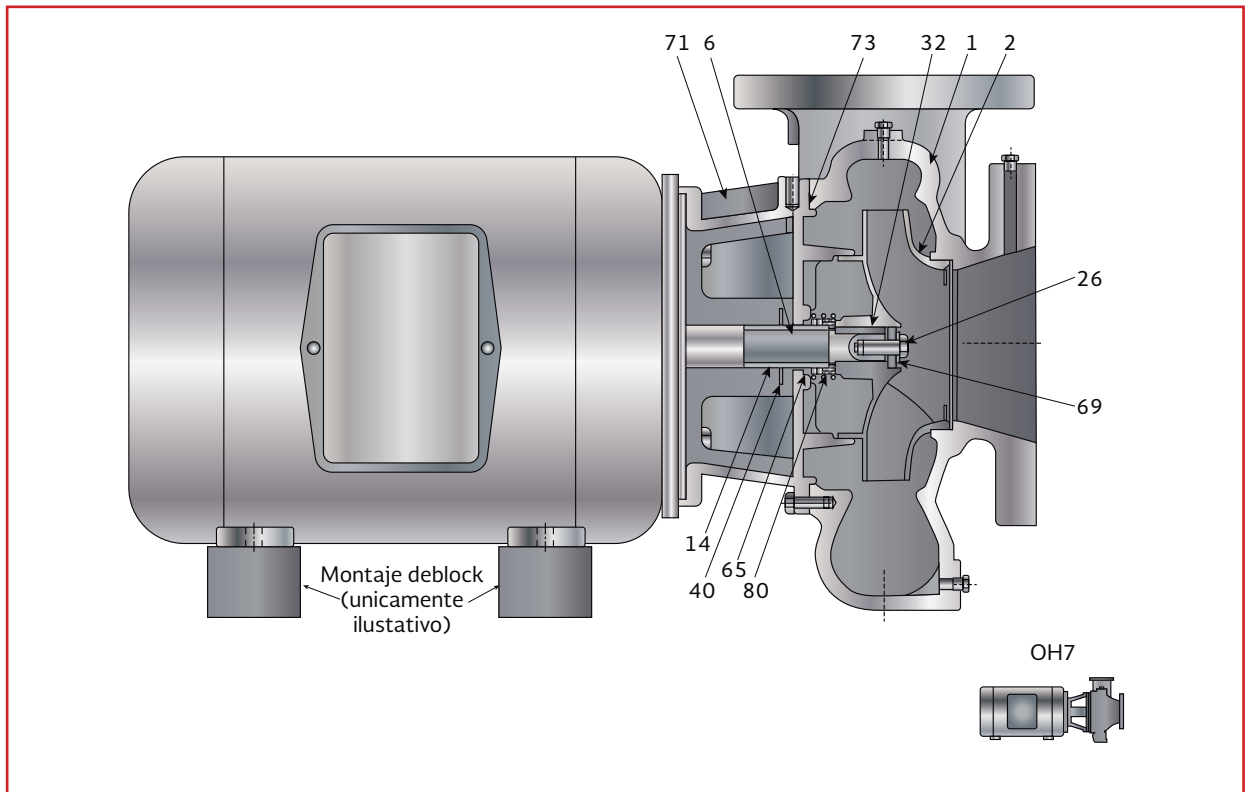


Ilustración 3.43 Impulsor suspendido - Acople cerrado - su-
mergible - Difusor - Succión inferior - Etapa simple (OH8A)

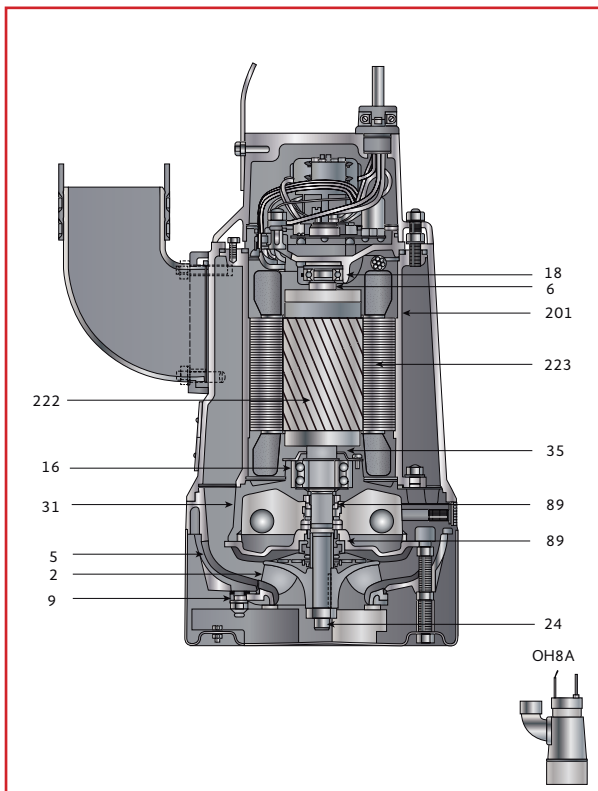
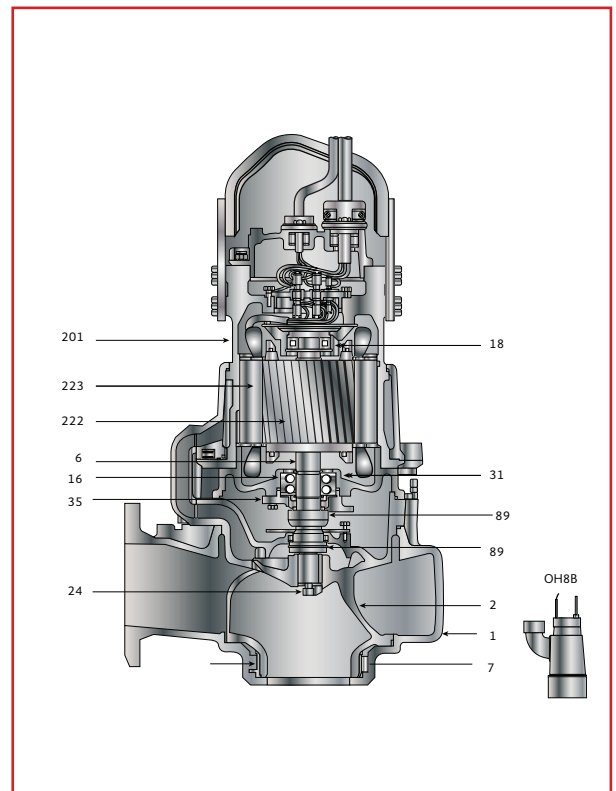
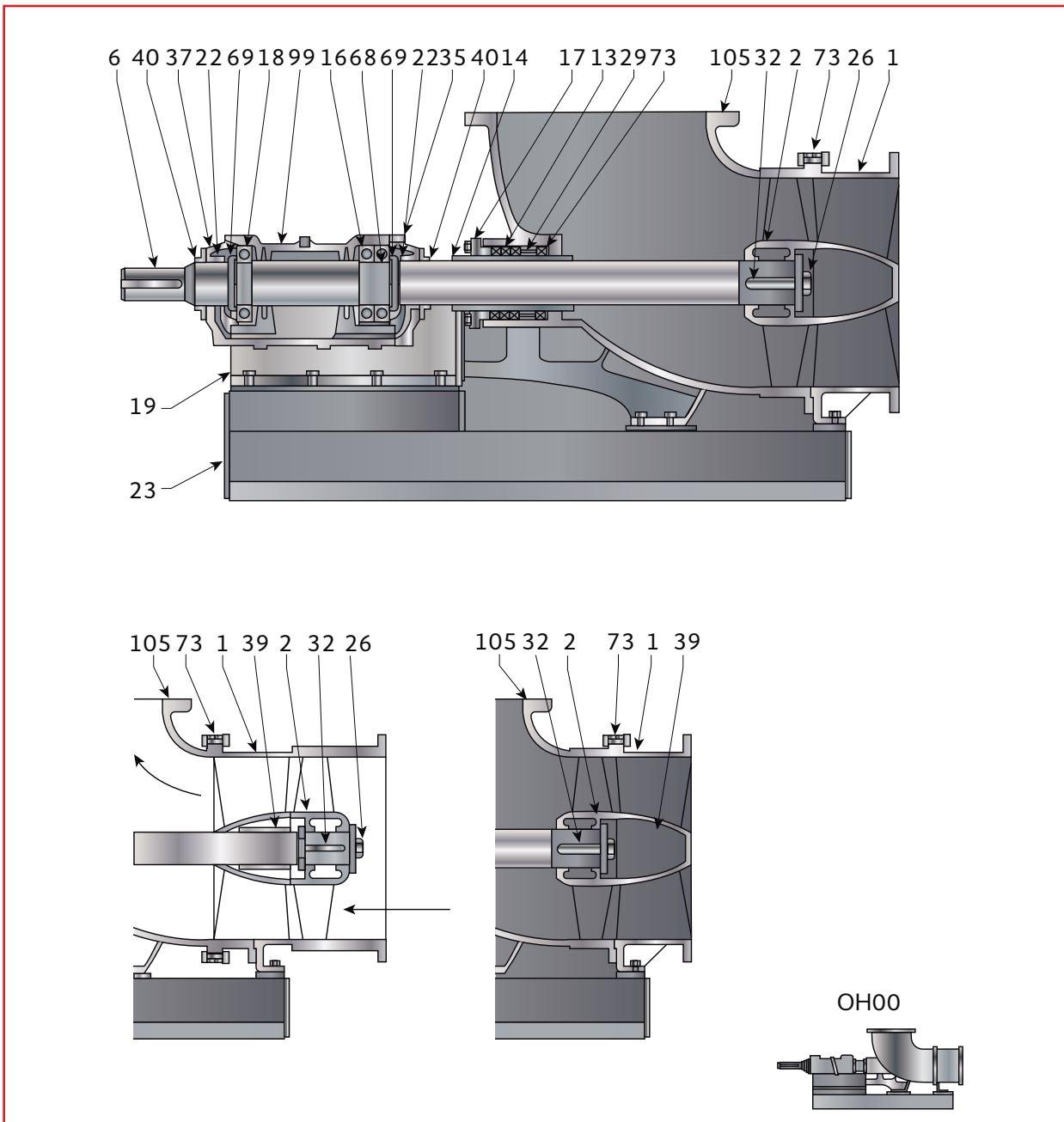


Ilustración 3.44 Impulsor suspendido - Acople cerrado - su-
mergible - Voluta - Succión inferior - Etapa simple (OH8B)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.45 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal -Flujo axial - Etapa simple (OH00)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.46 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Axial (BB1)

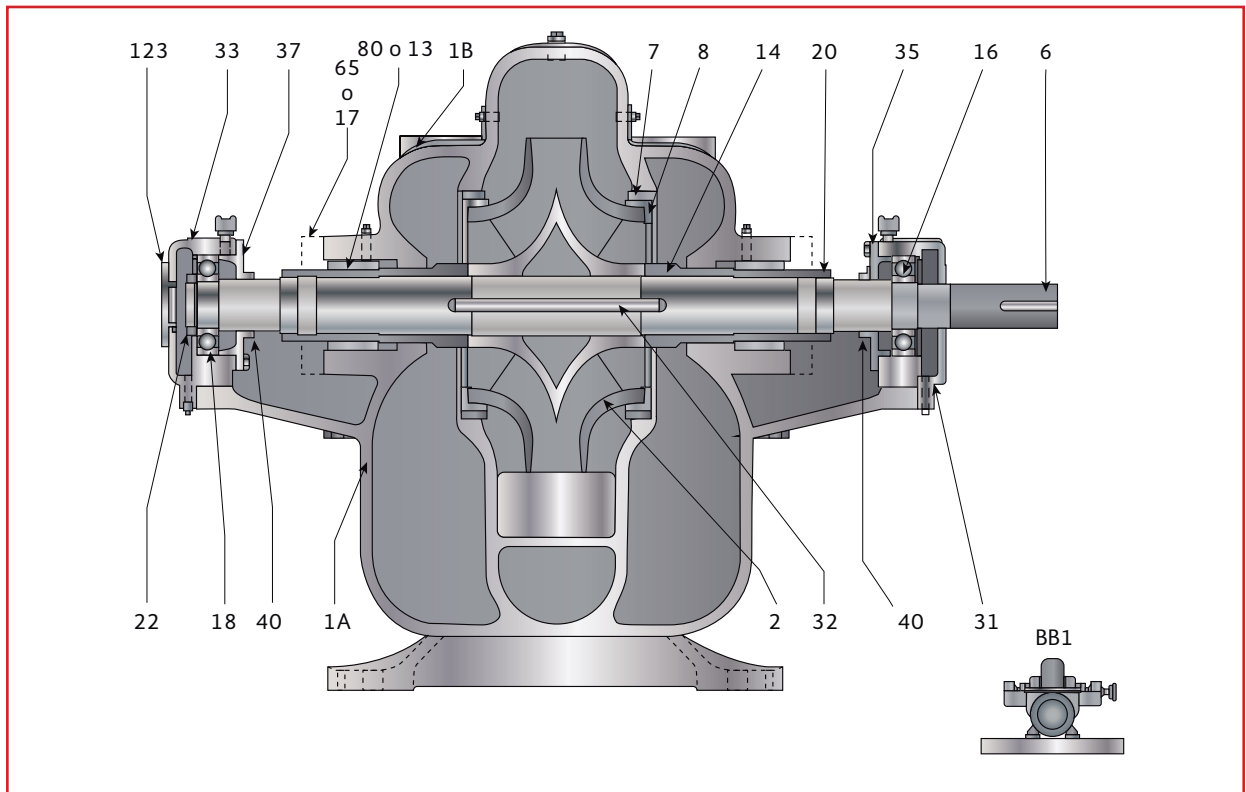
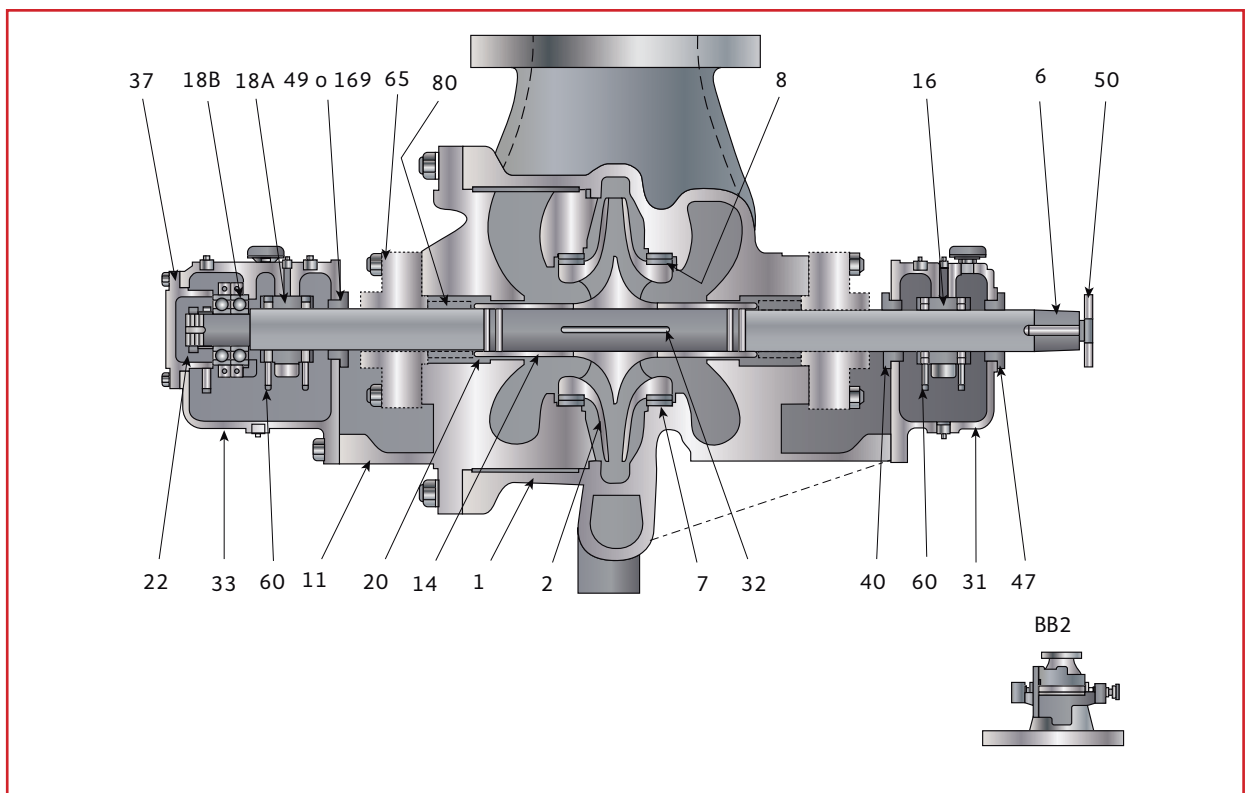


Ilustración 3.47 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Radial (BB2)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.48 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Axial (BB3)

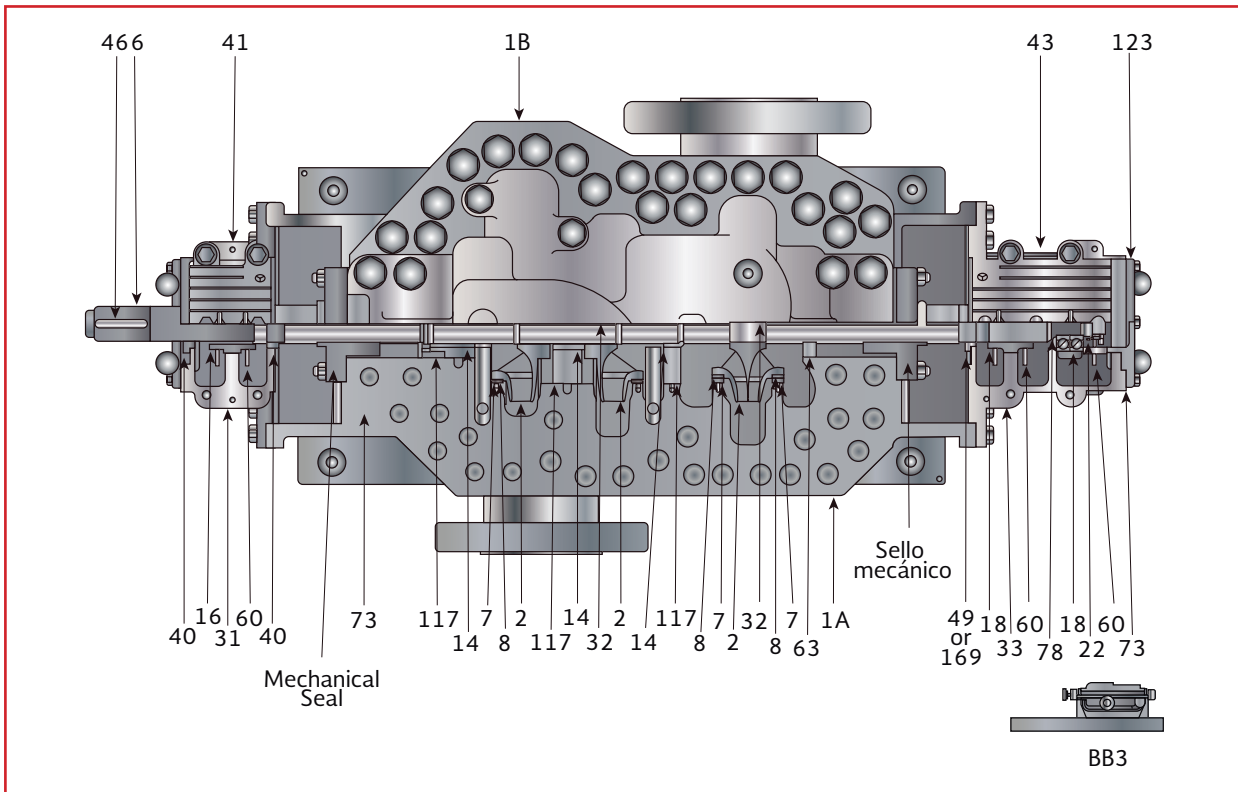
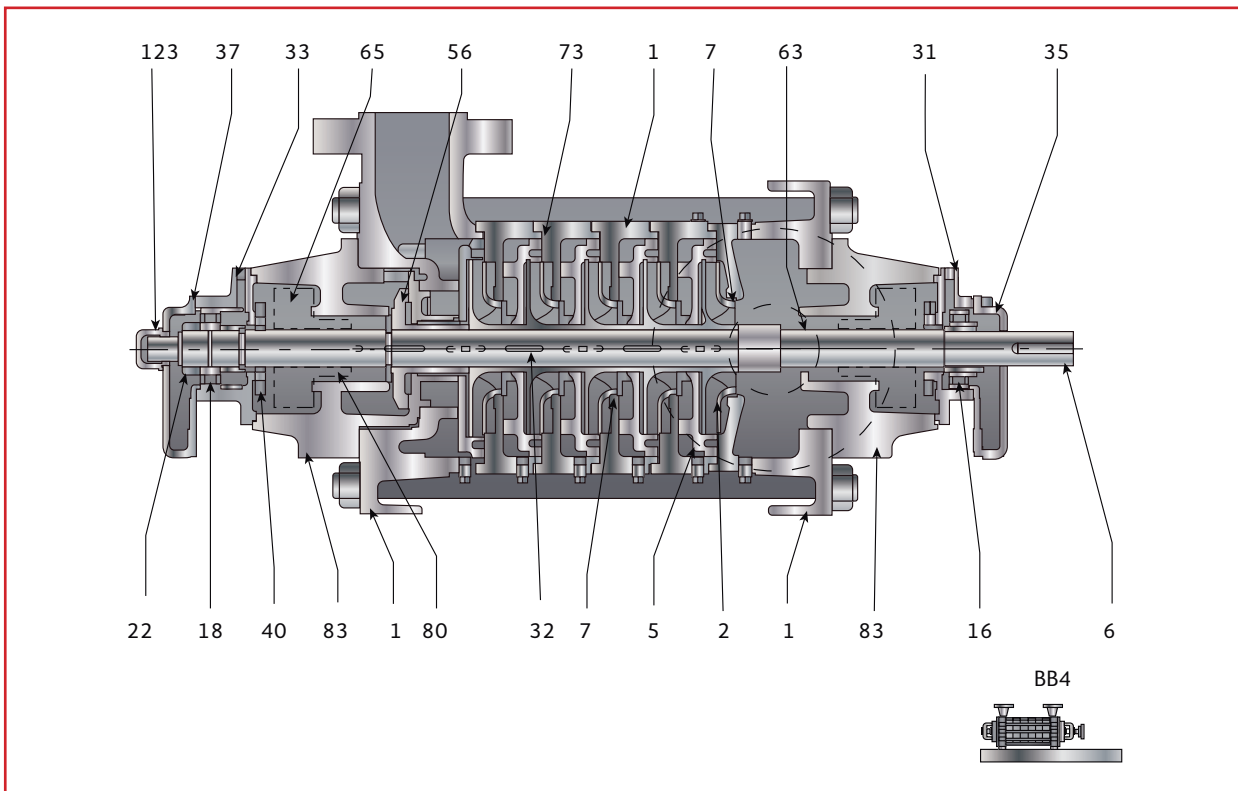


Ilustración 3.49 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa simple (BB4)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.50 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa doble (BB5)

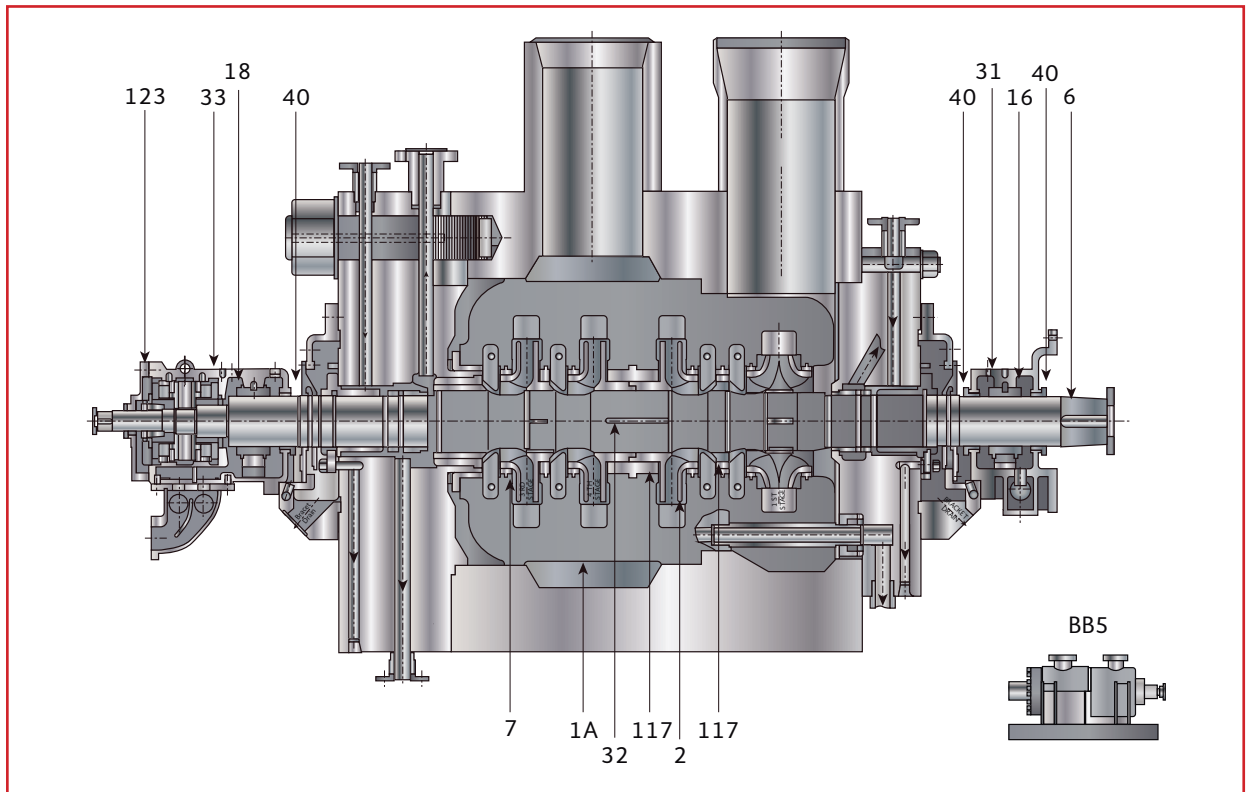
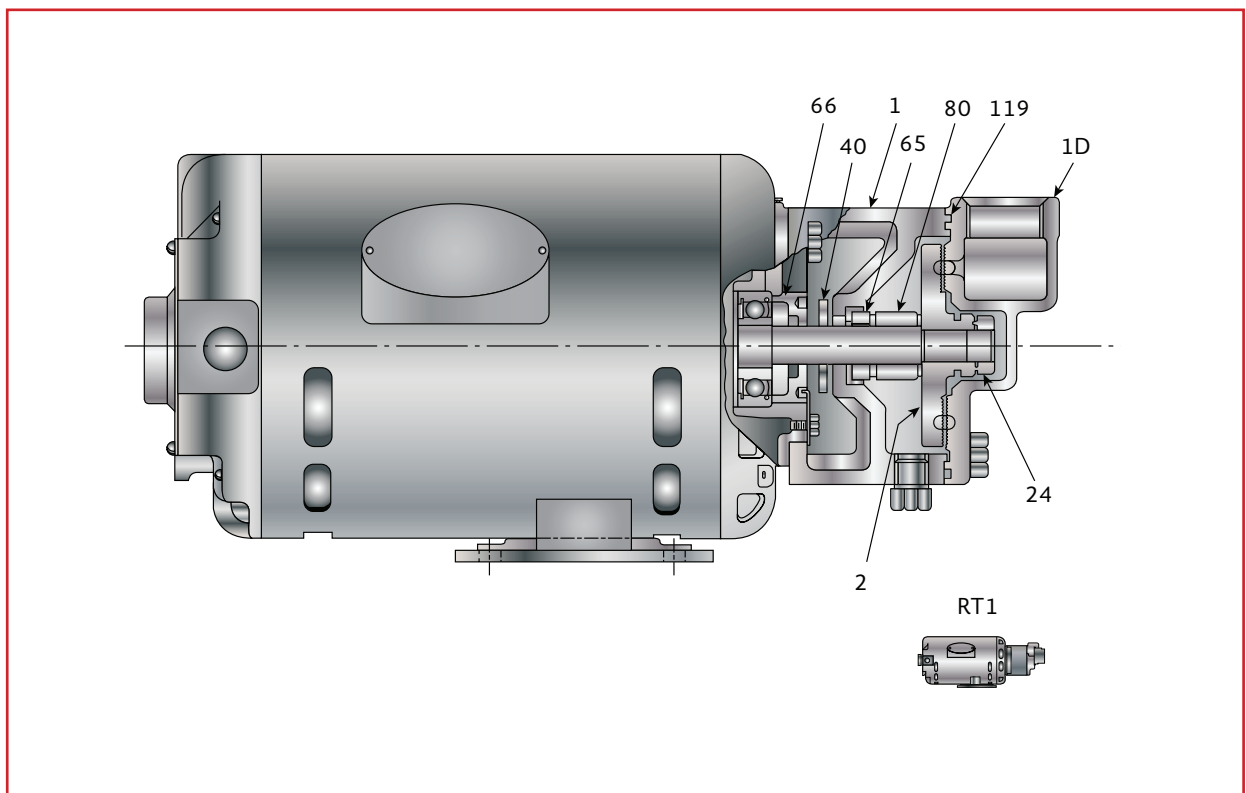


Ilustración 3.51 Turbina regenerativa - Canal lateral suspendido (RT1)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.52 Turbina regenerativa - Canal periférico (RT2)

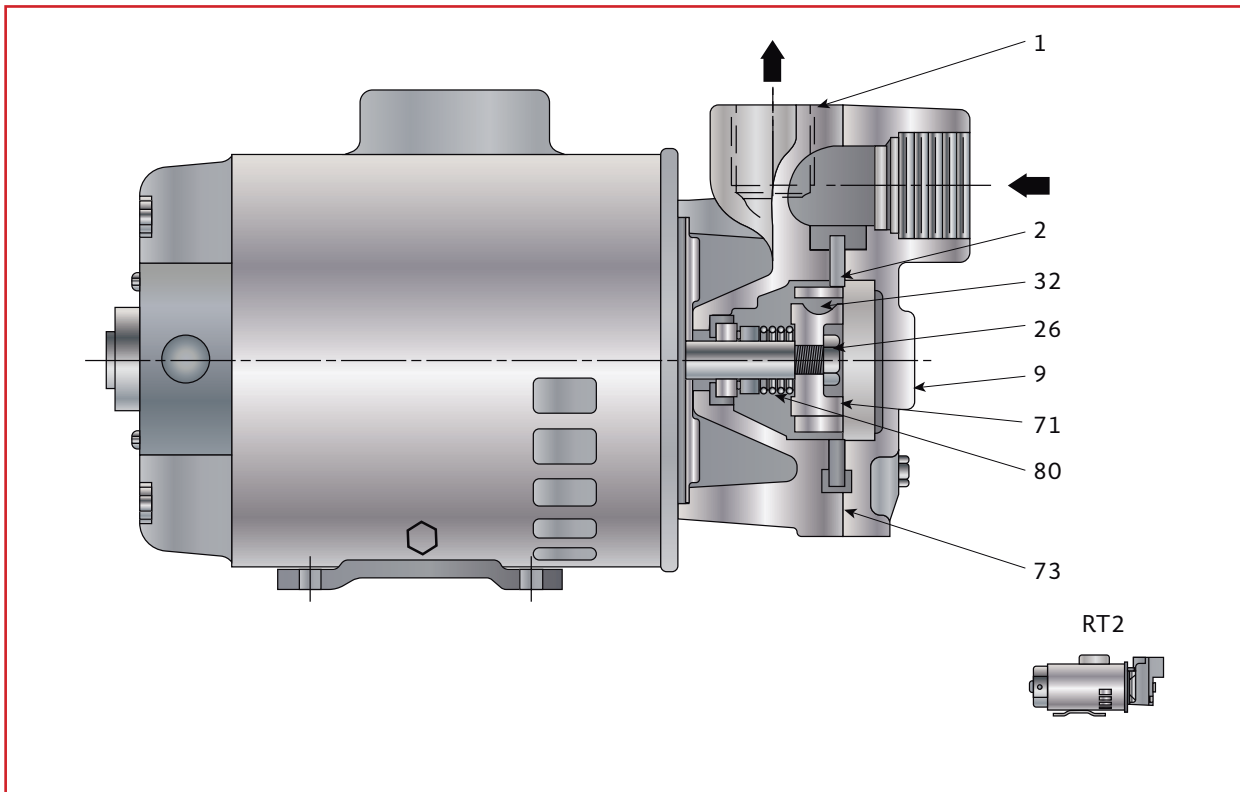
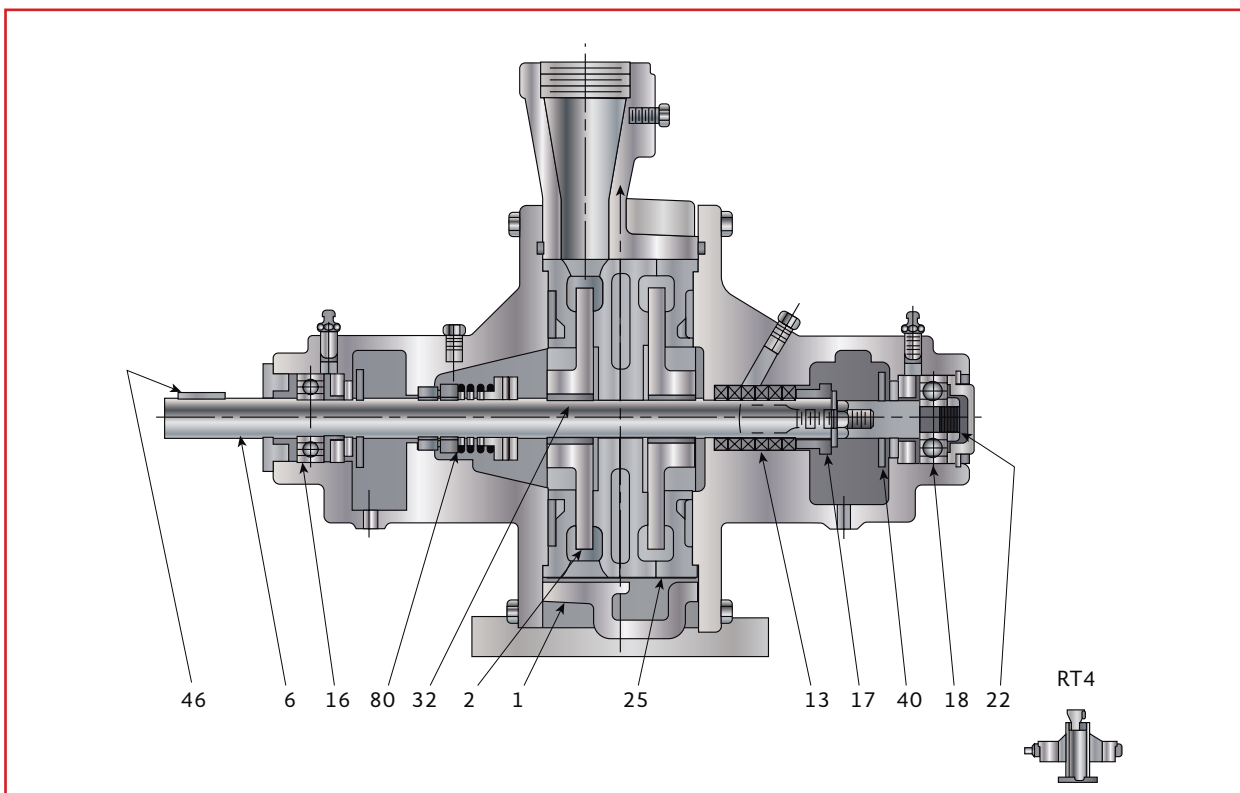
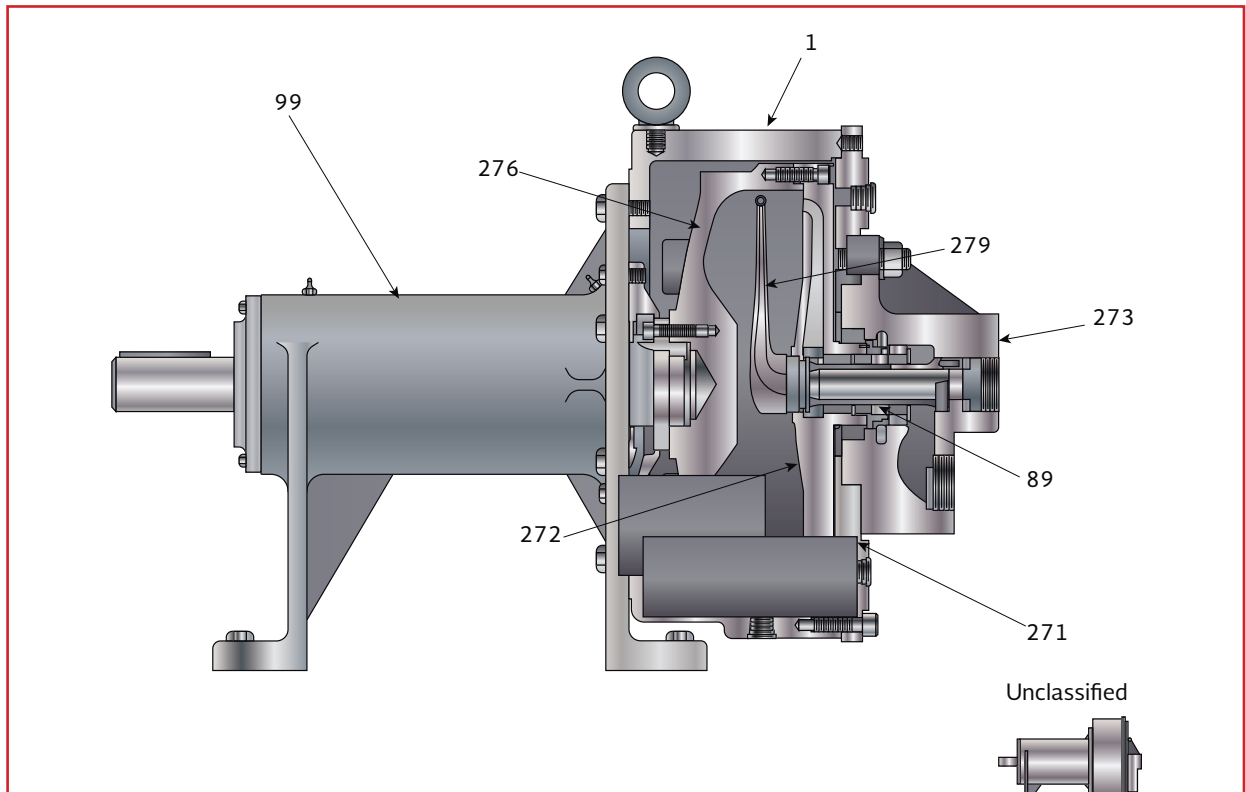


Ilustración 3.53 Turbina regenerativa - Entre rodamientos - Canal periférico (RT4)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.54 Bomba tubo pitot



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

3.6.9. NOMENCLATURA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

La siguiente nomenclatura y definiciones proporcionan un medio para la identificación de los distintos componentes de la bomba cubiertos por las Normas del Instituto Hidráulico y para

servir como un lenguaje común entre el comprador, el fabricante, y aquellos que escriben las especificaciones de las bombas y equipos de bombeo.

En la Tabla 3.1 se muestran las descripciones de las partes en bombas centrifugas.

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrifugas en orden alfabético

Nombre de la parte	ID	Abreviación en ingles	Definición
Adaptador	71	Adpt	Una pieza mecanizada utiliza para permitir el montaje de otras dos partes o para un espaciador
Montaje, núcleo del rotor en el motor	222	Assy rtr core	El conjunto giratorio de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y conductores, que, al interactuar con el conjunto del núcleo del estátor, produce torque
Montaje, núcleo del estátor en el motor	223	Assy sttr core	El conjunto fijo de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y devanados que crea campos magnéticos
Montaje, rotor	222	Assy rtr	El conjunto giratorio de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y conductores que, al interactuar con el conjunto de núcleo del estátor, produce torque
Base	53	Base	Una estructura para soportar la bomba
Placa base	23	Base p1	Un elemento sobre el que se montan la bomba y su motor
Cojinete , interior	16	Brg inbd	El cojinete más cercano del acoplamiento entre el cojinete de la bomba pero el más alejado del acoplamiento de la succión final de una bomba
Cojinete, fuera	18	Brg outbd	El cojinete más alejado del acoplamiento entre el cojinete de la bomba pero el más cercano del acoplamiento de la succión final de una bomba
Cojinete, Manga	39	Brg slv	Un cojinete cilíndrico reemplazable asegurado dentro de un elemento estacionario
Campaba, final	271	Bell end	La campana final realiza dos funciones. En primer lugar, actúa como una cubierta para el conjunto giratorio. En segundo lugar, proporciona un soporte para el colector
Soporte, cojinete	125	Bkt brg	Soporte desmontable que contiene un cojinete.
Buje, cojinete	39	Bush brg	La parte móvil de una camisa de cojinete en contacto con el muñón
Buje, cojinete, interior	235	Bush brg in	Tipo de manga del cojinete en la sección del motor que esta lubricado por el bombeo (fluido del sistema , cojinete que esta más cercano al impulsor)
Buje, cojinete, exterior	237	Bush brg out	Tipo de manga del cojinete en la sección del motor que esta lubricado por el bombeo (fluido del sistema , cojinete que esta más lejano al impulsor)
Buje, diafragma entre etapas	113	Bush instg diaph	Una pieza reemplazable de forma tubular montada en el diafragma entre etapas.
Buje, reducción de presión	117	Bush press red	Una pieza reemplazable usa para reducir la presión del líquido en la caja de empaquetadura o junta de la cámara mediante el estrangulamiento del flujo.
Buje, empaquetadura	63	Bush sffg box	Una manga o anillo sustituible colocados en el extremo de la caja de empaquetadura frente a la prensaestopas
Buje, acelerador, auxiliar	171	Bush throt aux	Un anillo estacionario o la manga colocada en la prensaestopas de un subconjunto de sello mecánico para restringir las fugas en caso de falla del sello.
Bote, roto	220	Can rtr	Delineador que aísla el núcleo del rotor desde el proceso del fluido y protege contra la corrosión
Cubierta , cojinete, interior	41	Cap brg inbd	La parte superior desmontable del alojamiento del cojinete interior.
Cubierta , cojinete, exterior	43	Cap brg outbd	La parte superior desmontable del alojamiento del cojinete exterior
Carcasa	1	Casing	La porción de la bomba que incluye la cámara del impulsor y la voluta o difusor.
Carcasa, medio de prensaestopas	1C	Csg gld half	El prensaestopas medio (motor) de una carcasa radialmente dividida
Carcasa, medio interior	1A	Csg Mr half	El medio inferior o el apoyo de la carcasa de una bomba axial dividida
Carcasa , medio succión	1D	Csg suc half	El medio de succión de una carcasa radialmente dividida

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

Nombre de la parte	ID	Abreviación en inglés	Definición
Carcasa, medio superior	18	Csg upr haif	El nivel superior o extraíble de la carcasa de una bomba axial dividida
Collar de liberación	36	Clr rel	Dispositivo de anillo partido para facilitar el movimiento de atornillado de impulsores.
Collar flecha	68	Clr sft	Un anillo utilizado en la flecha para establecer un desnivel
Collar, empuje	72	Clr thr	Un collar circular montado la flecha para retener un anillo partido y transmitir el empuje axial
Medio de acoplamiento, motor	42	Cplg half drvr	El medio de acoplamiento en el montaje de la flecha del motor
Medio de acoplamiento, bomba	44	Cplg half pump	El medio de acoplamiento en el montaje de la flecha de la bomba
Acoplamiento bomba de aceite	120	Cplg oil pump	Un medio de conectar la flecha del motor a la flecha de la bomba de aceite.
Acoplamiento, flecha	70	Cplg sft	Un mecanismo utilizado para transmitir potencia desde el eje de accionamiento para el eje de la bomba, o para conectar dos ejes.
Tapa, final del cojinete	123	Cov brg end	Una placa de cierre del alojamiento del rodamiento exterior
Tapa, cojinete, interior	35	Cov brg inbd	Una placa de cierre para cualquiera de los extremos de un cojinete interior de bombas multietapas entre cojinetes, o para el extremo del cojinete del impulsor de bombas de succión final
Tapa, cojinete, exterior	37	Cov brg outbd	Una placa de cierre para cualquiera de los extremos del rodamiento exterior de las bombas de doble aspiración o de etapas múltiples, o para acoplamiento final de cojinetes de bombas de succión final.
Tapa, cubierta	239	Cov csg	Una pieza extraíble que proporciona acceso a pasos de flujo internos. Esta pieza está atornillado a la caja para sellar el punto de acceso.
Tapa, extremo del motor	207	Cov mot end	Una pieza extraíble que encierra los extremos de una carcasa del estátor del motor.
Tapa, cubierta del rodamiento de aceite	45	Cov oil brg cap	Una tapa o placa sobre un orificio de llenado de aceite o agujero de inspección en una tapa del rodamiento.
Tapa, rotor	272	Cov rot	La cubierta del rotor al rotor a rotor actúa como un impulsor para llevar a cabo líquido en el conjunto del rotor. Junto con el rotor, la tapa del rotor forma el conjunto de rotor. El propósito del conjunto de rotor en una bomba de tubo de Pitot es aumentar la velocidad de rotación del fluido y permitir que se lleve a cabo la abertura del tubo de Pitot.
Tapa, empaquetadura y cámara del sello	11	Cov stfg box Cov seal cham	Una pieza extraíble, con caja de empaquetadura o la cámara de sellado integral, que se utiliza para encerrar el lado exterior del impulsor en la carcasa de bombas de succión final.
Tapa de succión	9	Cov suct	Una pieza extraíble, con el que la boquilla de entrada puede ser integral, que se utiliza para encerrar el lado de aspiración de la carcasa de una bomba de succión final.
Paso, entre etapas	111	Xover instg	Una pieza diseñada especificidad que transporta el flujo de una etapa a otra en una bomba de etapas múltiples.
Deflector	40	Defl	Una brida o collar montados en un eje y girando con él para evitar el paso de líquido, grasa, aceite, o de calor a lo largo del eje.
Diafragma, entre etapas	109	Diaph instg	Una partición estacionaria móvil entre etapas de una bomba de etapas múltiples.
Difusor	5	Diff	Una pieza, adyacente a la salida del impulsor, que tiene múltiples pasajes de área cada vez mayor para la conversión de la velocidad a la presión.
Disco o tambor, equilibrio	56	Disc/drum bal	El miembro giratorio de un dispositivo de equilibrado hidráulico.

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

Nombre de la parte	ID	Abreviación en inglés	Definición
Codo, descarga	105	Ell disch	Un codo en un flujo axial o en una bomba de flujo mixto por el cual el líquido sale de la bomba
Codo, succión	57	Ell suct	Un pasaje curvado para el agua , normalmente 90 grados, unido a la entrada de la bomba
Marco	19	Fr	Un parte de una bomba de succión final a la que se monta la unidad de transporte y equipos rotativos
Junta	73	Gskt	Material elástico utilizado para sellar las juntas entre piezas no giratorias para evitar fugas
Junta, tornillo del impulsor	28	Gskt imp scr	Material elástico utilizado para sellar conjunta entre el cubo del impulsor y el tornillo del impulsor
Junta, camisa del la flecha	38	Gskt sft slv	Material elástico utilizado para proporcionar un sello entre el manga de la flecha y el impulsor
Medidor, observar ,aceite	143	Ga sight oil	Un dispositivo para la determinación visual del nivel de aceite
Prensaestopa	17	Gld	Un retén que comprime el empaque en una caja de empaquetadura o conserva el elemento fijo de un sello mecánico
Prensaestopa , caja de empaquetadura, auxiliar	133	Gld stfg box aux	Un adherente proporcionado para la compresión de un empaque en una caja de empaquetadura auxiliar
Protector, acoplamiento	131	Grd cplg	Un protector sobre un acoplamiento de la flecha
Ensamblaje de caja de cambios	291	Gbx assy	Un dispositivo para aumentar mecánicamente o disminuir la velocidad del conductor a través de una relación de transmisión específica
Manija	227	Hdl	Una pieza que se puede utilizar para controlar a mano una bomba.
Alojamiento, cojinete	99	Hsg brg	Un cuerpo en el que está montado el cojinete (s)
Alojamiento, cojinete, interior	31	Hsg brg inbd	Ver cojinete (interior) y el alojamiento del cojinete
Alojamiento, cojinete, exterior	33	Hsg brg outbd	Ver cojinete (exterior) y el alojamiento del cojinete
Alojamiento, colector	273	Hsg man	Un pieza que contiene la vía de paso para el líquido dentro y fuera de la bomba
Alojamiento, estátor	201	Hsg sttr	Un pieza en el que está montado un conjunto del núcleo del estátor
Impulsor	2	Imp	La pieza de alabes de un conjunto giratorio de la bomba, que imparte la fuerza principal para el líquido bombeado
Inductor	246	md	Una hélice de flujo axial de una sola etapa instalado en el ojo de succión de un impulsor para bajar la NPSHR
Artículo , cojinete de empuje	74	Jnl thr brg	Una pieza cilíndrica extraíble montado la flecha y que se convierte en el buje. Puede tener un collar de empuje integral
LLlave, articulo del cojinete	76	Key brg jnl	Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención del articulo del cojinete gire con respecto al eje
Llave, acoplamiento	46	Key cplg	Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención que el eje gire en un medio de acoplamiento
Llave, impulsor (propela)	32	Key imp	Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención que el impulsor gire con respecto al eje
Delineador de, carcasa	219	Lnr csg	Un metal reemplazable, caucho, o inserto fenólico para proteger la carcasa contra el desgaste abrasivo o daños
Delineador, medio de empaquetadura	21D	Lnr, gld half	Un inserto reemplazable para proteger el medio de empaquetadura de desgaste abrasivo o daños

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

Nombre de la parte	ID	Abreviación en inglés	Definición
Delineador de, cubierta de la caja de empaquetadura o la cámara de sello	21B	Lnr, stfg box cov Lnr, seal cham cov	Un inserto reemplazable, para proteger la cubierta de la caja de empaquetadura o cámara de sello de desgaste por abrasión o daños
Delineador, Tapa de succión	21A	Lnr, suct cov	Un inserto reemplazable, para proteger la tapa de succión de desgaste por abrasión o daños
Delineador, medio de succión	21C	Lnr, suct half	Un inserto reemplazable para proteger el medio de succión de desgaste abrasivo o daños
Contratuercas, cojinete	22	Lknt brg	Un sujetador que sitúa un cojinete antifricción en la flecha
Contratuercas, acoplamiento	50	Lknt cplg	Una fijación que sostiene un medio de acoplamiento en posición sobre una flecha cónico
Arandela de seguridad	69	Lknt cplg	Un dispositivo para evitar el aflojamiento de una tuerca
Lubricador	77	Lubr	Un dispositivo para aplicar un lubricante en el lugar de uso
Tuerca, impulsor	24	Nut imp	Una pieza roscada utiliza para sujetar el impulsor en la flecha
Tuerca, ajuste de la flecha	66	Nut sft adj	Una pieza roscada para alterar la posición axial del ensamble giratorio
Tuerca, manga de la flecha	20	Nut sft slv	Una pieza roscada utiliza para localizar la camisa de la flecha en el eje
O-ring	119	O-ring	Un sello radial o tipo axial
Empaque	13	Pkg	Un material lubricado utiliza para controlar las fugas alrededor de la caja de empaquetadura
Pedestal, motor	81	Ped drvr	Un soporte para el motor de una bomba vertical
Tubo, columna	101	Pipe col	Un tubo vertical por el cual se suspende el elemento de bombeo
Placa, cara	61	P1 side	Una pieza reemplazable en la carcasa o cubierta de un impulsor abierto de bombas para mantener una distancia cerca a lo largo de la cara del impulsor
Placa, pila	278	St p1	La placa de apilamiento fija la posición de los cojinetes en el marco, localizando de este modo el rotor en la relación correcta de las partes estacionarias
Placa, desgaste	225	Wp p1	Una pieza con juego axial reemplazable utilizada para proteger la caja, la caja de empaquetadura, o tapa de succión del desgaste
Bomba, aceite	121	Aceite de la bomba	Un dispositivo para el suministro de aceite lubricante bajo presión
Retén, grasa	51	Ret grs	Un sello de contacto o cubierta para retener la grasa
Anillo, balance	115	Ring bal	Pieza estacionaria de un dispositivo de equilibrado hidráulico
Ring, casing	7	Ring csg	Anillo estacionario reemplazable para proteger la carcasa en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o el impulsor
Anillo, impulsor	8	Ring imp	Un anillo reemplazable montado en uno o ambos lados del impulsor
Anillo, interno	29	Ring ltrn	Una pieza anular utiliza para establecer un sello del líquido alrededor de la flecha y para lubricar el empaque de la caja de empaquetadura
Anillo, aceite	60	Ring oil	Un anillo giratorio utilizado para transportar aceite desde el depósito hasta el rodamiento
Anillo, cubierta la caja de empaquetadura	27	Ring stfg box cov	Un anillo estacionario, para proteger la tapa de la caja de empaquetadura en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o rodete
Anillo, tapa de succión	25	Ring suct cov	Un anillo estacionario, para proteger la tapa de succión en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o rodete
Anillo, empuje, dividido	86	Ring thr split	Un anillo partido montado sobre un eje para absorber el empuje axial del desbalanceo del impulsor en la bomba

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

Nombre de la parte	ID	Abreviación en inglés	Definición
Rotor	276	Rot	El rotor está conectado directamente al eje de accionamiento de la bomba. Junto con la tapa del rotor, el rotor forma el ensamble de rotor. El propósito del ensamble de rotor en una bomba de tubo de Pitot es aumentar la velocidad de rotación del fluido y permitir que se lleve a cabo la abertura del tubo de Pitot
Tornillo, impulsor	26	Scr imp	Un tornillo para sujetar el impulsor en la flecha
Tornillo, impulsor, ajustable	149	Scr imp adj	Un tornillo especial para ajustar el movimiento axial del eje del impulsor y controlar la holgura entre el impulsor giratorio y la pista del cojinete
Sello, tapa de cojinete, interior	47	Seal brg cov inbd	Un sello de contacto para la tapa del rodamiento (interior)
Sello, tapa de cojinete, exterior	49	Seal brg cov outbd	Un sello de contacto para la tapa del rodamiento (exterior)
Sello, alojamiento de cojinete	169	Seal brg hsg	Un sello de contacto para un alojamiento de cojinete
Sello, mecánico	89	Seal mech	Un dispositivo que evita la fuga de fluidos a lo largo las flechas giratorias
Sello, mecánico, elemento rotatorio	80	Seal mech rot elem	Un dispositivo montado de forma flexible en un eje o en la caja de empaquetadura y que tiene una cara junta plana lisa contra la superficie de sellado estacionaria
Sello, mecánico, elemento estacionario	65	Seal mech sta elem	Un subconjunto que consta de una o más partes montado en o sobre una caja de empaquetadura y que tiene una cara lisa de sellado plana
Flecha	6	Sft	Pieza cilíndrica en el que está montado el impulsor y a través del cual la potencia se transmite al impulsor
Flecha, cabeza	10	Sft hd	Pieza cilíndrica superior en una bomba vertical, que transmite la potencia desde el motor al eje de accionamiento
Carcasa, medio inferior, cojinete interior	135	Shl lwr half brg inbd	Una pieza semicilíndrica apoyada el buje del cojinete situado en el medio inferior del alojamiento del cojinete interior
Carcasa, medio inferior, cojinete exterior	139	Shl lwr half brg outbd	Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio inferior del alojamiento exterior
Carcasa, medio superior, cojinete interior	137	Shl upr half brg inbd	Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio superior del alojamiento del cojinete interior
Carcasa, medio superior, cojinete exterior	141	Shl upr half brg outbd	Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio superior del alojamiento del cojinete exterior
Cuña	67	Shim	Un pedazo de material colocado entre dos piezas para ajustar su posición o rellenar un hueco
Manga, buje del impulsor	34	Slv imp hub	Parte cilíndrica montada reemplazable en el buje del impulsor de la bomba
Manga, entre etapa	58	Slv instg	Una pieza cilíndrica montada en el eje de la bomba entre los impulsores
Manga, flecha	14	Slv sft	Una pieza cilíndrica montada sobre la flecha para proteger el eje a través de la cámara de caja de empaquetadura o sello, y que también puede servir para localizar el impulsor axialmente en el eje

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

Nombre de la parte	ID	Abreviación en inglés	Definición
Espaciador, cojinetes	78	Sper brg	Una pieza cilíndrica que se ajusta sobre la flecha para localizar los cojinetes
Espaciador, acoplamiento	88	Sper cplg	Una pieza cilíndrica utilizada para proporcionar espacio axial para la extracción del ensamble rotatorio sin remover el motor
Cedazo	209	Str	Un dispositivo que se utiliza para evitar que objetos grandes entren en la bomba
Caja de empaquetadura	83	Stfg box	Una porción de la cubierta de la carcasa, en la que el embalaje o un sello mecánico se coloca para evitar fugas
Caja de empaquetadura, auxiliar	75	Stfg box aux	Una parte de la prensaestopas y la cubierta de un subconjunto del sello mecánico diseñado para dar cabida a uno o más anillos de empaquetadura
Deposito (aceite o grasa)	62	Thwr (oil or grs)	Un disco que gira con el eje de la bomba para distribuir el lubricante desde el depósito hasta el cojinete
Tubo, Pitot	279	Pitot	El tubo de Pitot se extiende desde el colector en el conjunto rotor. La entrada al tubo de Pitot se encuentra cerca de la periferia del conjunto de rotor. En funcionamiento, el tubo de Pitot convierte la carga de velocidad dentro del conjunto de rotor a presión, sirviendo como función de voluta o difusor en una bomba centrífuga convencional

Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

3.7. VÁLVULAS²²

La selección de las válvulas incluye muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en cuenta, como mínimo, las siguientes características básicas: tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, vida útil, costo y disponibilidad, ver Ilustración 3.55:

- a) El tipo de válvula depender de la función que debe efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso.
- b) Materiales de construcción. Todos los elementos expuestos de la válvula con el fluido deben tener resistencia a la corrosión. Para lo cual el diseñador debe de tomar en cuenta las especificaciones realizadas por el fabricante. Sin embar-

go se debe de tener en cuenta otros factores que pueden acelerar el proceso de corrosión, tales como: presencia de sales disueltas, aereación de líquidos, altas velocidades de los fluidos, etc.

- c) Material de empaquetaduras y juntas. La selección de una empaquetadura inadecuada puede permitir fugas en la válvula y requerir un paro del sistema para reemplazarla. Al seleccionar el material de empaquetadura se debe de consultar las especificaciones de los fabricantes.
- d) Costo y disponibilidad. En el mercado existen una gran variedad de válvulas, cuando factores como: materiales de construcción, rendimiento, capacidad para presión y temperatura y disponibilidad son iguales, se debe de seleccionar la válvula de menor precio. La única forma de conocer el costo y disponibilidad, es cuando se tienen cotizaciones de diversos distribuidores o fabricantes

22 Fuente: ASME B3.1

Ilustración 3.55 Válvulas



e) Presión Nominal de Diseño de la válvula, este factor está determinado por los datos de proceso en planta, fundamentalmente por la intersección entre presión de trabajo efectiva y temperatura de trabajo efectiva. Existen unas presiones de diseño o Rating de fabricación estándar sobre los que especificar, estos difieren entre las Normas DIN o ANSI, los más comunes se representan en la siguiente tabla con su equivalencia más cercana, ver Tabla 3.2

3.8. TUBERÍA²³

3.8.1. TUBERÍA DE ACERO

La tubería de hierro dúctil puede ser utilizada para presiones de diseño dentro de las clasificaciones establecidas por las normas y especificaciones.

La tubería de hierro dúctil no se utilizar para fluidos inflamables, combustible, o fluidos tóxi-

²³ Fuente: ASME B31.1

cos. Los límites de temperatura para el uso de tubería de hierro dúctil se determinan a menudo por el tipo de junta de elastómero utilizado en las juntas de la tubería, o el material de revestimiento utilizado en la superficie interna de la tubería.

Es responsabilidad del diseñador determinar si estos componentes son adecuados para su uso.

3.8.2. TUBERÍA PLÁSTICA

Tabla 3.2 Equivalencia entre Normas DIN y ANSI

DIN	ANSI
PN 10	Clase 125
PN 16	Clase 150
PN 25	Clase 300
PN 40	Clase 600
PN 64	Clase 900
PN 100	Clase 1500
PN 250	Clase 2500

La tubería de plástico puede ser usada para agua y líquidos no inflamables, donde la experiencia o prueba han demostrado que el tubo de plástico es adecuado para las condiciones de presión y temperatura que se encuentran dentro de las recomendaciones del fabricante. La norma establece para estos materiales que la presión se limita a 50psi (1 000 Kpa) y temperaturas de 140° F (60° C) para el servicio de agua. La presión y los límites de temperatura para otro servicio serán basados en el riesgo involucrado, pero no deberán ser superior los 150psi (1 000 Kpa) y 140° F (60° C).

3.9. MATERIALES²⁴

3.9.1. CORROSIÓN Y EROSIÓN EN BOMBAS DE TURBINA VERTICAL

La pérdida de metal debido a la corrosión y la erosión es un problema muy importante. La corrosión y la erosión pueden estar estrechamente relacionadas como para que sean difíciles de distinguir.

- a) La corrosión puede ser ampliamente definida como la destrucción o el deterioro de metal mediante química directa o reacción electroquímica con su entorno
- b) La erosión es desgaste del material debido a la abrasión o la cavitación, y, a menudo se combina con la corrosión

El mecanismo de la corrosión es el mismo para todos los metales y aleaciones, que difieren en grado pero no en tipo. Está bien establecido que en la mayoría de los casos la corrosión esta en presencia de agua, la fuerza impulsora de la reacción corrosiva entre un metal y su entorno, es electroquímica.

El grado de protección de la capa de óxido en líquidos neutros (pH = 7) muestra la gran variación en la corrosividad encontrada. El revestimiento resultante formado en soluciones alcalinas (pH > 7) es más protectora que el que se

24 Fuente: ANSI/HI 2.3

forma en soluciones neutras, y por lo tanto, el resultado es un menor porcentaje de corrosión. La velocidad inicial de la corrosión en soluciones alcalinas es aproximadamente tan grande como la de los líquidos de pH neutro, pero la velocidad de corrosión disminuye a medida que se forma la película protectora. En la mayoría de los casos, en este rango ácido ($\text{pH} < 7$), la protección otorgada por las películas protectoras es pequeña.

Las principales formas de corrosión y la erosión que se pueden encontrar deberán estar consideradas contra por la selección adecuada de los materiales y con el cuidado requerido para la aplicación de la bomba.

Corrosión galvánica

Cuando dos metales diferentes están en contacto o de otra manera eléctricamente conectados entre sí en un líquido conductor de electricidad, una célula galvánica se forma y la corriente fluye de una a la otra. La elección adecuada de los metales para el medio ambiente dado puede minimizar los efectos de la corrosión galvánica.

Corrosión uniforme

Esta, como su nombre lo indica es un ataque uniforme sobre el metal y puede ser resuelto mediante la selección de un material más resistente a la solución de corrosión se puede utilizar inhibidores, recubrimiento protector, o combinaciones de cada uno.

Erosión- corrosión

La mayoría de los metales dependen de la formación de una película superficial protectora para evitar un mayor ataque químico. Es com-

preensible que por lo tanto un aumento en la velocidad o abrasivos en el fluido bombeado podría erosionar la película protectora y dar lugar a corrosión acelerada.

Erosión por cavitación

La mayoría de aplicaciones de bombeo experimentan algún grado de cavitación, especialmente cuando la bomba se opera a condiciones fuera de diseño. Erosión por cavitación puede ser significativa de velocidades internas superior de la bomba, combinados con una relación de margen bajo ($\text{NPSH} / \text{NPSH}_3$), y otros factores.

Corrosión irregular

Esta forma de corrosión suele limitarse al grupo austenítica, no magnética, cromo-níquel inoxidable y se evidencia por el ataque a los límites de grano. La causa es la precipitación de carburos de cromo a los límites de grano y que resulta en la destrucción prácticamente completa de las propiedades mecánicas del metal. Un tratamiento térmico inadecuado con un rango de calentamiento de entre 343 a 816 °C produce el mismo efecto.

Corrosión por picaduras

Corrosión por picadura toma la forma de ataque localizado en el que la penetración rápida puede tener lugar en varias áreas pequeñas de ubicación aleatoria. Las picaduras es más probable que ocurra cuando cloruros u otros halógenos están presentes en una solución oxidante.

Otros factores que deben ser considerados son la temperatura, aireación, la calidad y la cantidad de gases disueltos, y otros numerosos. Por ejem-

plo, considere la aireación. En la mayoría de las soluciones de aireación es deseable contar con cualquiera de los aceros inoxidable pero puede ser perjudicial con cobre o aleaciones a base de cobre.

Siempre es necesario para el análisis de agua proporcionar un punto de partida de la investigación ya que en interpretación del análisis es necesario reconocer que existe una diferencia apreciable entre lo que podría ser clasificado como agua satisfactoria en lo que respecta a su uso final y si es o no es corrosivo para el manejo de la bomba de agua. Los valores indicados en el análisis indican la magnitud aproximada en la que la corrosión notable y la erosión se pueden anticipar. La interpretación de los análisis de agua requiere un conocimiento de la química; sin embargo, hay unos pocos parámetros a tener en cuenta, incluyendo las siguientes:

Color

El color tiene poca importancia, salvo para indicar su fuente. Puede ser debido a mineral o materia orgánica en solución o como un coloi-de o en suspensión. Un tinte amarillo puede indicar un agua con hierro en la solución, ya sea por oxígeno o por medio de la liberación de dióxido de carbono. Las sales de hierro con frecuencia indican que las acumulaciones se pueden esperar en la tubería y en la flecha de la superficie.

Olores

Los olores y sabor en el agua pueden ser el resultado de cualquiera o una combinación de condiciones tales como la presencia de microorga-

nismos, ya sea vivos o muertos; gases disueltos, tales como hidrógeno suministrado, gas de los pantanos, dióxido de carbono, oxígeno o combinada con la materia orgánica; sustancia mineral, tal como cloruro de sodio, hierro, carbonatos y sulfatos; fenoles y otros alquitranadas o desechos de petróleo.

Nitrógeno

El nitrógeno en cualquiera de sus formas especificadas indica el grado en que la materia orgánica está presente.

Cloruros

Cualquier cantidad de cloruros nos advierte que la corrosión electroquímica se puede esperar. Los cloruros son algunos de los contaminantes más comunes en las aguas naturales. Se encuentran en el agua de mar, lagos naturales, y algunas fuentes de agua subterráneas. Los cloruros también

Alcalinidad

Alcalinidad existe como carbonato normal, tal como bicarbonato, y como hidroxilo o alcalinidad cáustica. El grado de alcalinidad se indica en la escala de pH cuando los valores son más de 7.0, con la concentración creciente la clasificación pH aumenta.

Acidez

El grado de acidez aumenta cuando el valor de pH disminuye por debajo de 7.0. Generalmente se requiere una construcción resistente a la acidez.

Sólidos

La cantidad de sólidos por unidad de volumen, el tamaño de los sólidos, y su dureza ayudará a guiar el proceso de selección de materiales, especialmente para los bujes de cojinetes y desgaste anillos.

3.9.2. RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Algunos de los principales tipos de revestimientos se enumeran a continuación:

- Asfalto y base de alquitrán de hulla
- Plásticos, poliéster, vinilo y epóxico (y muchos compuestos con rellenos)
- Goma (sintético y natural)
- Vidrio, cerámica de porcelana

La eficacia de cualquier de estos recubrimientos está condicionada con la preparación adecuada de la superficie de los metales como las suavidad de las esquinas en soldadura y en los detalles de diseño de área críticas del equipo.

3.9.3. MATERIALES PARA BOMBAS VERTICALES ROTODINÁMICAS

La corrosión puede ser minimizada y en muchos casos completamente prevenida por elección adecuada de los materiales. En diseño de estructuras o maquinas, el ingeniero químico o de materiales debe ser consistente no solo en el costo global del equipo, sino también para obtener la óptima resistencia para la corrosión, erosión, y resistencia al desgaste.

Los materiales típicos utilizados en aplicaciones de bombas verticales incluyen:

- Hierro fundido y hierro dúctil
- Bronces y latones
- Aceros inoxidable, Acero martensíticos
- Los aceros inoxidable austeníticos
- Aceros inoxidable súper dúplex y dúplex
- No metálicos y materiales compuestos

El ingeniero proyectista y el usuario deben seleccionar cuidadosamente los materiales de construcción que sean compatibles con los atributos corrosivos y erosivos del líquido bombeado. Para información adicional sobre materiales de las bombas consulte las normas ANSI/HI 9.1 a 9.5.

4

SELECCIÓN DE GRÚAS

4.1. INTRODUCCIÓN

Los diferentes arreglos, capacidades y dimensiones de las grúas que existen en el mercado son el resultado de los requerimientos observados en las diversas áreas de aplicación, como es el caso de plantas de bombeo y/o rebombeo, en las que se ha tipificado el uso de algunas de ellas, que por sus características físicas y formas de operación, cubren satisfactoriamente los requerimientos de manipulación de equipos en estas instalaciones.

Además de definir el tipo de grúa a utilizar, también es importante seleccionar adecuadamente su capacidad, evitando el sobredimensionamiento y la utilización de equipamiento auxiliar innecesario, que eleva los costos de adquisición y operación de la misma, esto es, saber identificar el rango de cargas (bomba, motor, columna de succión, accesorio, etc.), la carga máxima crítica y si los distintos movimientos de la grúa (izaje, traslación, giro) serán con accionamiento manual o motorizado. Se tratará todo lo anterior más adelante.

Es importante, antes de hacer cualquier selección, considerar que las grúas para plantas de bombeo y/o rebombeo son equipos que realmente sólo se utilizan en el montaje inicial y

arranque de la planta y después su uso es muy esporádico, por lo que no conviene tener tantos recursos económicos ociosos.

4.2. ALCANCES

En la actualidad el desarrollo de un proyecto de diseño o selección de grúas y polipastos se encuentra supeditado a las recomendaciones de los fabricantes, ya que no se cuenta con la información técnica necesaria, que permita evaluar si efectivamente el equipo recomendado por los mismos es el adecuado y más económico.

Por lo anteriormente mencionado, el objetivo de este capítulo es proporcionar a los proyectistas y profesionales de la ingeniería los criterios generales para seleccionar el tipo de grúa que se debe utilizar en plantas de bombeo y/o rebombeo de agua potable o aguas residuales (negras), para distintas aplicaciones, tales como pozos, cárcamos, acueductos y obras de toma, partiendo principalmente del arreglo de los equipos a manipular.

Es importante apuntar que las capacidades y arreglos de grúas y polipastos propuestos en este capítulo, están acotados según las capacidades recomendadas para plantas de bombeo y/o rebombeo, considerando las opciones más económicas y funcionales, ya que en el mercado existe

una gama de selección mucho mayor, pero que no son recomendables en este tipo de instalaciones, por su grado de complejidad y costo.

4.3. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

4.3.1. GRÚAS

La grúa es un equipo estructurado, formado por un conjunto de mecanismos, cuya función es la elevación y el transporte de cargas, que en plantas de bombeo y/o rebombeo se usan en las siguientes modalidades:

- a) Elevación y transporte de carga a lo largo de una línea de trabajo
- b) Elevación y transporte de carga a través de una superficie de trabajo

La primera modalidad comprende el levantar, desplazar, girar y depositar una carga. Para ello, son adecuados los sistemas monocarril (el polipasto de izaje se desplaza a lo largo de una viga carril fija situada sobre la línea de transporte) y las grúas giratorias (el polipasto de izaje se desplaza a lo largo de un brazo giratorio que traza un círculo o arco que constituye la línea de transporte) ver Ilustración 4.1a).

La segunda modalidad comprende el levantar, desplazar transversal y longitudinalmente, girar y depositar la carga. Para ello, son adecuadas las grúas viajeras y las grúas aporticadas, en donde el puente o pórtico, respectivamente, se desplaza longitudinalmente y el polipasto de izaje transversalmente, teniendo este último un aparejo inferior (mufla) que permite el giro del gancho y de la carga, ver Ilustración 4.1b).

Para cumplir satisfactoriamente con los requerimientos de manipulación de equipos y accesorios, tales como bombas, motores, válvulas, columnas de succión, etc. y trasladarlos a un área de maniobras para enviarlos a reparación y/o mantenimiento y que cubren las dos modalidades descritas. En general se utilizan los siguientes tipos de grúas:

- a) Grúa viajera
- b) Grúa aporticada
- c) Sistema monocarril
- d) Grúa giratoria

4.3.2. POLIPASTO

El polipasto es un dispositivo mecánico y/o eléctrico para elevación de carga, cuyos componentes (motor, tambor, reductor de velocidad, freno magnético, flecha, soporte, armazón estructural, interruptor límite, reductor de velocidad, etc.) pueden formar una unidad compacta o de malacate abierto, teniendo este último sus componentes distribuidos adecuadamente sobre una estructura que normalmente forma parte del bastidor de un carro portante.

Los polipastos compactos, principalmente, se clasifican de acuerdo a su mecanismo de accionamiento para el izaje, en:

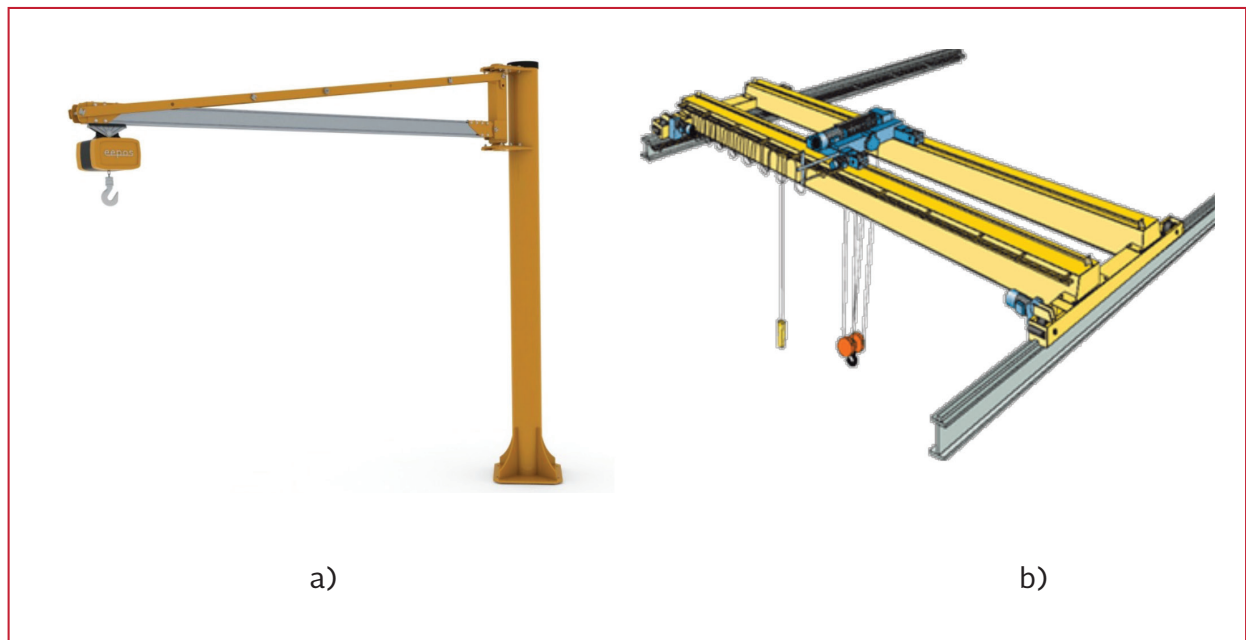
- a) Polipasto de trinquete
- b) Polipasto de torno
- c) Polipasto de mordaza
- d) Polipasto de motor

4.4. SELECCIÓN DE GRÚAS²⁵

Al seleccionar una grúa, siempre se buscará una cuyo diseño y construcción permita realizar el trabajo en forma segura y eficiente, con la

25 Fuente: CMAA-70

Ilustración 4.1 Ejemplo de Grúas



menor inversión inicial y el costo de operación y mantenimiento más bajo posible, por lo que se deben considerar los siguientes factores: a) tipo de grúa; b) capacidad, claro e izaje; c) clase de servicio; d) medio ambiente en el que va a operar; e) velocidades de operación y f) equipamiento.

4.4.1. CAPACIDAD, CLARO E IZAJE

Al determinar la capacidad de la grúa, se debe buscar el peso máximo crítico a manipular, pudiendo ser el motor, la bomba, columna de succión, tramo de tubería a la descarga, accesorio, etc. o alguna combinación de éstas, dependiendo del equipo de bombeo (centrífuga horizontal, vertical tipo turbina, pozo profundo, etc.). Se deberá seleccionar la capacidad nominal del polipasto comercial inmediato superior a la carga máxima crítica, cuyo exceso de carga, según prácticas de ingeniería, esté dentro del rango de 15 a 35 por ciento mínimo, o sea 25 por ciento promedio.

El claro de la grúa se determina en función de la posición y distribución de los equipos y/o accesorios que se desee estén dentro del alcance de la misma, según sea el arreglo y el tipo de planta de bombeo. Para grúas giratorias, el claro viene siendo el alcance del brazo.

La altura libre de izaje de la grúa, definida como la distancia entre el piso y el gancho en su posición vertical máxima, estará determinada por la altura de la carga crítica (motor, bomba, columna de succión, accesorio, etc.) multiplicada por dos, considerando además una distancia de libraje mínima de 50 cm. (CMAA No. 70), para poder evitar cualquier obstrucción en piso, de dimensiones similares a la carga manipulada.

4.4.2. CLASIFICACIÓN DE GRÚAS

Este factor se basa en el ciclo de operación que tiene que desarrollar la grúa, del que dependerá su tipo de construcción, la robustez con que haya que construirla y la determinación de sus velocidades

de operación (izaje y traslación). La CMAA (Crane Manufacturers Association of America) en su norma No. 70 describe hasta seis (6) clases de servicio, esto es: clase A (servicio de reserva o infrecuente), clase B (servicio ligero), clase C (servicio moderado), clase D (servicio pesado), clase E (servicio severo) y clase F (servicio severo continuo).

Clase A (servicio detenido o infrecuente): Esta clase de servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en instalaciones tales como centrales eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, salas de motores y estaciones transformadoras, donde se requiere de una manipulación precisa del equipo a bajas velocidades con largos períodos de ocio entre los levantes. Las cargas a capacidad pueden ser manipuladas por la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento infrecuente.

Clase B (servicio liviano): Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de reparación, operaciones de montaje liviano, servicio de edificios, bodega, etcétera, donde los requerimientos de servicio son livianos y la velocidad es lenta. Las cargas pueden variar desde sin carga a cargas nominales totales ocasionales, con dos a cinco levantes por hora, promediando 10 pies por levante.

Clase C (servicio moderado): Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de tornos o salas de máquinas de molinos de papel, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En este tipo de servicio la grúa puede manipular cargas que promedien un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 levantes por hora, promediando

Clase D (servicio pesado): Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de máquinas pesadas, fundiciones, plantas de fa-

bricación, bodegas de acero, patios de contenedores, molinos de madera, etc., y operaciones estándares de trabajo con canasta e imán donde se requiere una producción de trabajo pesado. En este tipo de servicio, las cargas que se aproximan al 50% de la capacidad nominal serán manipuladas en forma constante durante el período de trabajo. Altas velocidades son deseables para este tipo de servicio con 10 a 20 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 65% de los levantes a capacidad nominal.

Clase E (servicio severo): Este tipo de servicio requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal a través de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas con imán, canasta o una combinación de imán/canasta, para patios de desechos, molinos de cemento, molinos de madera, plantas fertilizantes, manipulación de contenedores, etc., con veinte o más levantes por hora a o alrededor de la capacidad nominal.

Clase F (servicio severo continuo): Este tipo de grúa requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal en forma continua bajo severas condiciones de servicio a lo largo de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas de especialidad diseñadas para el cliente, esenciales para efectuar las tareas de trabajo crítico que afectan la instalación de producción completa. Estas grúas pueden proveer la más alta confiabilidad con atención especial para facilitar las características de mantenimiento

Para plantas de bombeo, este factor ya está determinado y siempre se especificará como clase A, que tipifica a las grúas utilizadas para manipular cargas de mucho valor a bajas velocidades, esto es, instalación inicial de equipos y mantenimiento poco frecuente de los mismos.

4.4.3. VELOCIDADES DE OPERACIÓN

Las velocidades de operación de una grúa se aplican al izaje del gancho, al desplazamiento del carro portante (trole) del polipasto y al desplazamiento del puente.

Aquellas dependen de la clase de servicio de la grúa, su capacidad y forma de operación, donde esta última puede ser desde piso con una botonera de control colgante (estación de botones), o desde una cabina del conductor. Las velocidades recomendables para grúas, cuya aplicación es en plantas de bombeo, se presentan en la Tabla 4.1, que están catalogadas como lentas, pero son las adecuadas.

4.4.4. EQUIPAMIENTO

Se refiere a los distintos subsistemas que se utilizan como parte de la grúa, tales como: tipo de carro portante (trole) del polipasto y su accionamiento, tipo de polipasto y su accionamiento y tipo de sistema impulsor para el puente.

En plantas de bombeo es recomendable que el accionamiento del carro portante del polipasto sea manual hasta una capacidad de 3 ton, mientras la altura de izaje no exceda de 4 m. Asimismo, el accionamiento del polipasto para el izaje se recomienda sea manual hasta una capacidad de 5 ton, mientras la altura de izaje no exceda de

4 m. El movimiento del puente se recomienda en todos los casos sea motorizado, para capacidades mayores de 3 ton, así como para alturas de izaje mayores de 3 m y claros mayores de 3 m.

La CMAA (Crane Manufacturers Association of America), en su norma No. 70, describe hasta seis (6) arreglos más comúnmente usados en sistemas impulsores para puentes de grúas eléctricas viajeras; éstos son: L1, L2, L3, L4, que tienen una serie de ventajas y desventajas que no son motivo de discusión en este manual, pero para el caso de plantas de bombeo, por ser el arreglo más eficiente, se recomienda el L4, que es un sistema impulsor con motor y reductor de velocidad individual acoplado en el carro cabezal ubicado en cada extremo del puente. Cuando el sistema general de la grúa sea accionado eléctricamente (izaje, traslación del polipasto, traslación del puente), es recomendable equipar dicha grúa con otros dispositivos de seguridad, tales como: freno de retención, interruptor límite y freno de contramarcha, que se definen en el glosario, ver Tabla 4.2.

Nota Importante:

La especificación técnica de la grúa deberá cumplir con todos los requerimientos de la especificación CMAA 70.

4.5. SELECCIÓN DE POLIPASTOS²⁶

Los aspectos más importantes que hay que considerar para la selección de un polipasto son: capacidad, altura de izaje, montaje y control; además de algunos factores básicos de servicio, tales como: distribución de cargas, tiempo de operación, distribución del trabajo, arranques y paros, bajadas constantes y condiciones ambientales especiales, ver Ilustración 4.2.

4.5.1. CLASE

Utilizando todas las características anteriormente mencionadas, la norma mexicana (NOM-R-100) ha dividido a los polipastos por clase de servicio y áreas típicas de aplicación, para poder seleccionarlos rápidamente:

4.5.1.1. Tipo

- a) Tipo 1 Eléctricos
- b) Tipo 2 Manual
- c) Tipo 3 Neumáticos o hidráulicos

Ilustración 4.2 Polipasto



4.5.1.2. Subtipo

- a) Fijo
- b) Con gancho de suspensión
- c) De suspensión por medio de carro
- d) Apoyado
- e) Montaje de pared o techo

Nota Importante:

La especificación técnica del polipasto deberá cumplir con todos los requerimientos de la NOM R 100.

26 Fuente: NOM-R-100

4.6. SELECCIÓN DE ACCESORIOS²⁷

Además del equipamiento principal ya mencionado, hay otros accesorios cuya selección es también importante, tales como: aparejo inferior (mufla), gancho, cable, cadena, eslinga y estrobo, ver Ilustración 4.3.

4.6.1. APAREJO PARA TODOS LOS TIPOS

Los aparejos superior e inferior deben estar provistos de guardas protectoras con objeto de evitar que el cable o cadena se zafen de las poleas o nueces respectivamente bajo condiciones normales de operación. El diámetro de paso mínimo para poleas giratorias no debe ser menor de 16 veces el diámetro del cable y en caso de poleas igualadoras (no giratorias), esta relación no debe ser menor de 12 veces al diámetro del cable. El radio mínimo de la ranura debe ser de acuerdo con la relación siguiente y la profundidad 1.5 veces el diámetro del cable al fondo de la ranura.

r mínimo ranura = 0.53 (diámetro nominal del cable).

4.6.2. GANCHO

El gancho debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-R-172 y estar soportado por un dispositivo que le permita girar 360° bajo carga nominal, ver Ilustración 4.4.

27 Fuente: NOM-R-100

4.6.3. CABLE

Debe ser de acero y la carga mínima a la ruptura debe ser 5 veces mayor que la carga nominal entre el número de caída.

Las eslingas y los estrobos son elementos auxiliares para la sujeción de las cargas y también son fabricados con cable de acero de las características ya mencionadas, ver Ilustración 4.5

4.6.4. CADENA

Debe ser de acero y la carga mínima a la ruptura debe ser 5 veces mayor que la carga nominal entre el número de caída.

Para plantas de bombeo son recomendables las cadenas que se construyen en acero forjado, soldado, templado, galvanizado y en eslabones cortos ya que se adaptan mejor a los tambores de arrollamiento.

Ilustración 4.3 Accesorios polipasto

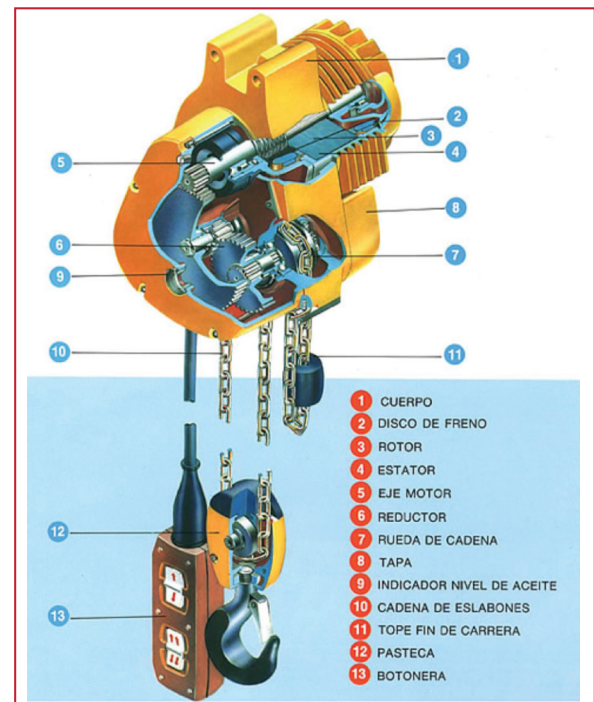


Ilustración 4.4 Gancho y sujeciones de la carga

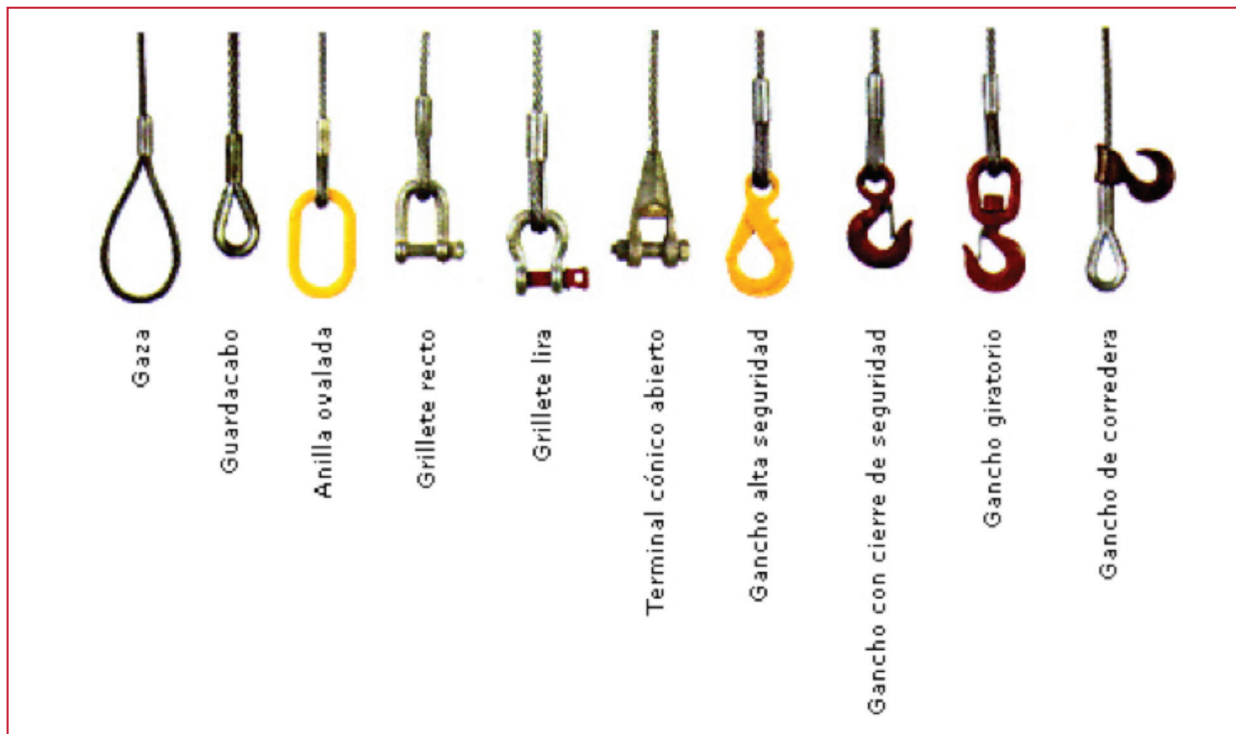


Ilustración 4.5 Eslingas tipo cable



Tabla 4.1 Velocidades de funcionamiento sugerida en (m/min) para grúas controladas desde el piso

Capacidad en (Ton)	Izaje			Carro			Puente		
	Lento	Medio	Rápido	Lento	Medio	Rápido	Lento	Medio	Rápido
3	4.27	10.67	13.72	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
5	4.27	8.23	12.19	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
7.5	3.96	8.23	11.58	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
10	3.96	6.40	10.67	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
15	3.96	5.79	9.45	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
20	3.05	5.18	9.14	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
25	2.44	4.27	8.84	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	53.34
30	2.13	4.27	8.53	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	45.72
35	2.13	3.66	7.62	15.24	24.38	38.10	15.24	35.05	45.72
40	2.13	3.66	7.62	12.19	21.34	30.48	12.19	30.48	45.72
50	1.52	3.35	6.10	12.19	21.34	30.48	12.19	30.48	45.72
60	1.52	2.74	5.49	12.19	21.34	30.48	12.19	22.86	38.10
75	1.22	2.74	4.57	12.19	21.34	30.48	9.14	22.86	38.10
100	1.22	2.44	3.96	9.14	18.29	24.38	7.62	15.24	30.48
150	0.91	1.83	3.35	7.62	18.29	24.38	7.62	15.24	30.48

Nota: Considerar que se deben debe dar a la longitud de la pista para la velocidad de puente, lapso de puente para la velocidad del carro, viajar distancia media, y las características manchas requerido

Tabla 4.2 Definición de CMAA para clase de servicio de grúas en términos de clase de carga y ciclos de carga

Clase se carga	Ciclos de carga				K= Factor de carga media efectiva
	N1	N2	N3	N4	
L1	A	B	C	D	0.35 - 0.53
L2	B	C	D	E	0.53 - 0.67
L3	C	D	E	F	0.671 - 0.85
L4	D	E	F	F	0.851 - 1
	Uso irregular, ocasional seguido por largos períodos de ciclo	Uso regular en operación intermitente	Uso regular en operación continua	Uso regular en operación severa continua	
Clases de carga:					
L1	Grúas que levantan la carga nominal en forma excepcional y, normalmente, cargas muy livianas				
L2	Grúas que raramente levantan la carga nominal, y las cargas normales son de alrededor de 1/3 de la carga nominal				
L3	Grúas que levantan la carga nominal con bastante frecuencia y en forma normal, las cargas son entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal				
L4	Grúas que regularmente son cargadas a cerca de la carga nominal				
Ciclos de carga/vida de la grúa:					
N1	20,000 a 100,000 ciclos				
N2	100,000 a 500,000 ciclos				
N3	500,000 a 2,000,000 ciclos				
N4	Sobre 2,000,000 de ciclos				

Fuente: CMAA-70



CONCLUSIONES

Con el presente documento se dan a los Organismos Operadores las recomendaciones para seleccionar los materiales y aplicar los procedimientos de selección para los componentes tanto eléctricos como mecánicos de los sistemas de bombeo.

El presente libro busca ser un instrumento de referencia y consulta de los proyectistas, constructores, dependencias, empresas y organismos operadores relacionados con el sector agua potable para la elaboración de los proyectos.

La comisión nacional del agua (CONAGUA) ha desarrollado este libro para proporcionar a los organismos operadores de estos sistemas un manejo más práctico e útil para hacer la selección más idónea de estos componentes.

Cabe mencionar que este libro es complementado por otras guías que proporcionan más información relacionada a los temas contenidos en este documento como el diseño e instalación de cada uno de los elementos.

Se han recopilado el material y las normas actualizadas, tanto nacionales como extranjeras, que rigen en la materia y que se consideran útiles para el diseño de redes de distribución, procurando reunirlos en una sola publicación, dando las recomendaciones que se consideran pertinentes para lograr un buen diseño y se incluyen tablas e ilustraciones como apoyo visual de diseño al proyectista, así mismo se incluyen las referencias de la literatura consultada y que puede resultar de ayuda al usuario para lograr una mayor profundidad en algún tema en específico al aplicar sus conocimientos.

Recuerde que los procedimientos, datos, modelos matemáticos y programas de cómputo, presentados en este libro, obedecen a la experiencia vertida a lo largo del tiempo por parte de los especialistas en la materia y de los proyectos en que se han trabajado. Sin embargo, en ningún caso debe considerarse esta información, como reglamento o norma oficial, más bien debe ser considerado una guía para el proceso de diseño de redes de distribución de agua potable. Considérese que ninguna red de distribución de agua potable es igual a otra; los procedimientos, datos y resultados obtenidos, no pueden exportarse de uno a otro.

A

PROBLEMAS

1. Indique tres consideraciones para seleccionar un motor.

2. Explique ¿Qué es el enclaustramiento de un motor?

3. ¿Qué es la velocidad síncrona en un motor y como se calcula?

4. ¿Por qué se consideran las condiciones atmosféricas en la selección de un motor?

5. ¿Cuál es la tensión de utilización de un motor de 1000 h.p.?

6. ¿Cuántos tipos de subestación conoce?

7. ¿Cuándo es recomendable utilizar una subestación blindada en gas SF₆?

8. ¿Cree usted que es necesario conocer las condiciones ambientales y el espacio donde se utilizará una subestación? (justificar respuesta).

9. Para seleccionar un transformador de distribución o de potencia ¿Es necesario conocer el nivel de aislamiento?

10. La capacidad de un transformador de distribución o de potencia depende de la carga a alimentar. (justificar respuesta).

11. ¿Qué clase de enfriamiento seleccionaría para un transformador de distribución de 300 KVA?

12. ¿Utilizaría un transformador de potencia para alimentar un tablero de alumbrado?

13. ¿Para seleccionar un transformador requiere conocer las características de operación?

14. Para seleccionar un interruptor se requiere:

15. ¿Cuáles son las tensiones máximas que deben soportar los equipos?

16. ¿Qué considerandos se deben tomar en cuenta en la selección de transformadores?

17. Para la selección de cuchillas desconectadoras se requiere conocer:

18. ¿Por qué es importante el nivel básico al impulso?

19. Para seleccionar los tableros se requiere de la tensión nominal, corriente y el grado de:

20. En la selección de equipos ¿para qué sirve conocer las condiciones atmosféricas?

21. Defina ¿Qué es la ampacidad de un conductor?

22. ¿Cree usted que es necesario realizar un proyecto eléctrico de acuerdo con la norma NOM-001-SEDE? (justifique su respuesta).

23. ¿Para seleccionar un conductor es necesario tomar en cuenta el aislamiento?

24. ¿Qué significa el calibre de un conductor?

25. ¿Usted cree que es necesario saber dónde se va a instalar un conductor?

26. ¿Cree usted que la temperatura influye en la selección de un conductor?

27. ¿Qué significa la clase de precisión?

28. ¿Para seleccionar un transformador que elementos requiere el factor de transformación?

29. Referente a transformadores de instrumentos ¿A qué se refiere la palabra carga y cuál es su unidad?

30. ¿Cuántas clases de precisión existen?

31. ¿A qué se refiere la palabra clase en la selección de un apartarrayo?

32. ¿Es necesario designar la tensión nominal en un apartarrayos?

33. ¿A qué se refiere la tensión de aguante?

34. ¿Cree que es necesario conocer el nivel de contaminación que se tiene en un sitio para seleccionar un apartarrayos?

35. Indique tres condiciones de operación en la selección de un apartarrayos.

36. ¿A qué se refiere la corriente de carga nominal?

37. Para seleccionar un corta-circuito fusible ¿Es necesario conocer la corriente interruptiva? (justifique su respuesta).

38. ¿En qué unidad se mide el nivel básico de aislamiento?

39. Un corta- circuito fusible instalado en el D.F ¿Puede ser utilizado para instalarse en Cabo San Lucas?

40. ¿Qué consideraciones se deben tomar en cuenta para la selección de Centro de Control de Motores (CCM) instalado en una planta desaladora?

41. ¿Para qué sirve un banco de baterías?

42. ¿Para qué sirve un cargador de baterías?

43. ¿Usted cree que los equipos auxiliares de control especificados para D.F., se puedan utilizar en Acapulco, Guerrero?

44. Para la correcta selección de los dispositivos de protección deben conocerse los valores que arroje un estudio de corto-circuito diga ¿Por qué?

45. Indique seis condiciones necesarias para seleccionar un arrancador.

B

LISTADO DE NORMAS PARA SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÑICOS

Normatividad Nacional	
NMX-J-075/1-ANCE	Aparatos eléctricos- máquinas rotatorias - parte 1: motores de inducción de corriente alterna del tipo de rotor en cortocircuito en potencias desde 0.062 a 373 kW- especificaciones
NMX-J-098-ANCE	Sistema eléctrico de potencia - suministro- tensión eléctrica normalizada
NMX-J-068-ANCE	Tableros de alta tensión
NMX-J-109-ANCE	Trasformador de corriente
NMX-J-116-ANCE	Transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación - especificaciones
NMX-J-118/1-ANCE	Productos eléctricos - tableros de alumbrado y distribución en baja tensión - especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-118/2-ANCE	Tableros - tableros de distribución de baja tensión - especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-136-ANCE	Abreviaturas y símbolos para diagramas ,planos y equipos eléctricos
NMX-J-142/1	Conductores - cables de energía con pantalla metálica, aislados con polietileno de cadena cruzada o a base de etileno - propileno para tensiones de 5 kv a 35 kv - especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-149-ANCE	Fusibles para media y alta tensión-parte 2: cortacircuitos fusible de expulsión-especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-150/1-ANCE	Coordinación de aislamiento – parte 1: definiciones, principios y reglas
NMX-J-150/2-ANCE	Coordinación de aislamiento - parte 2: guía de aplicación
NMX-J-168-ANCE	Trasformadores de potencial
NMX-J-245-ANCE	Aisladores tipo suspensión de porcelana o vidrio templado - especificaciones y métodos de prueba.
NMX-J-284-ANCE	Transformadores y autotransformadores de potencia – especificaciones
NMX-J-285-ANCE	Trasformador tipo pedestal monofásico trifásico para distribución subterránea – especificaciones
NMX-J-290-ANCE	Productos eléctrico- Arrancadores manuales magnéticos y contactores - especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-321-ANCE	Apartarrayos parte 4: Apartarrayos de óxidos metálicos sin electrodos de descarga (explosores), para sistemas de corriente alterna especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-323-ANCE	Cuchillas seccionadoras de operación con carga para media tensión - especificaciones y métodos de prueba
NMX-J-351-ANCE	Trasformadores de distribución y potencia
NMX-J-409-ANCE	Trasformadores –guía de carga de trasformadores de distribución y potencia sumergidos en aceite
NMX-J-515-ANCE	Equipos de control y distribución - requisitos generales de seguridad - especificaciones y métodos de prueba

Normatividad Nacional	
NMX-J-538/1-ANCE	Productos de distribución y de control de baja tensión - parte 1: reglas generales
NMX-J-538/2-ANCE	Productos de distribución y de control de baja tensión parte 2: interruptores automáticos (norma alternativa a la nmx-j-266-ance)
NMX-J-538/3-ANCE	Productos de distribución y de control de baja tensión - parte 3: desconectadores, seccionadores, desconectadores - seccionadores y unidades combinadas con fusibles (norma alternativa a la nmx-j-162-ance)
NMX-J-562/1-ANCE	Guía para la selección de aisladores con respecto a condiciones de contaminación - parte - 1: aisladores de vidrio y porcelana
NMX-J-580/1-ANCE	Ensamblados de tableros de baja tensión - parte 1: ensambles con pruebas tipo y ensambles con pruebas tipo parciales
NOM-001-SEDE	Instalaciones eléctricas (utilización)
NOM-002-STPS	Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo
NOM-003-SEGOB	Señales y avisos para protección civil.- colores, formas y símbolos a utilizar
NOM-016-ENER	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-017-ENER	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba
NOM-030-ENER	Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba

Normatividad Internacional	
IEEE Std 141	Práctica recomendada para la distribución de energía eléctrica para plantas industriales
ANSI C37.43	Especificaciones estándar para alto voltaje expulsión, distribución de limitadores de corriente, y combinación- tipo y el poder de clase fusibles externos, con tensiones nominales desde 1 kv a 38 kv, utilizado para la protección de derivación condensadores
ANSI/IEEE C57.13	Requerimientos estándar para transformadores de instrumentos
ANSI-C57-16	Reactores, requisitos, terminología y código de ensayo para limitador de corriente
NEMA ICS-2	Industrial control and systems controllers, contactors and overload relays rated 600 volts
IEEE 115	Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications
IEC 60071-1	Coordinación de aislamiento - parte 1: definiciones, principios y reglas
IEC 60071-2	Coordinación de aislamiento - parte 2: guía de aplicación
IEEE std C37.16	Standard for Preferred Ratings, Related Requirements, and Application Recommendations for Low-Voltage AC (635 V and below) and DC (3200 V and below) Power Circuit Breakers
IEEE Std 141	Práctica recomendada para la distribución de energía eléctrica para plantas industriales
IEEE Std 80	Guía para la seguridad
IEEE-STD-242	Práctica recomendada para la protección y coordinación de sistemas eléctricos industriales y comerciales
NEC	National Electric Code
NEMA MG1	Motores y generadores
CMAA-70	Crane Manufacturers Association of America
ASME B31.1	Power Piping

Normatividad ANSI/HI	
ANSI/HI 9.1-9.5	Reglas generales para tipos, definiciones , aplicación, medición y documentación para equipos de bombeo
ANSI/HI 9.6.2	Evaluación de cargas aplicadas en bombas rotodinámicas
ANSI/HI 9.6.4	Medición y parámetros permisibles de vibración en bombas rotodinámicas
ANSI/HI 9.6.5	Reglas generales para el monitoreo en bombas centrifugas y verticales
ANSI/HI 1.4.6	Pruebas de rendimiento hidráulico en bombas rotodinámicas
ANSI/HI 2.4	Manual de instalación , operación, mantenimiento para bombas verticales rotodinámicas
ANSI/HI 2.3	Diseño y aplicación para bombas verticales rotodinamicas de tipo de flujo radial, mixto y axial
ANSI/HI 9.6.3	Bombas rotodinámicas (centrifuga y vertical)- guía permitida para zona de operación
ANSI/HI 1.4	Manual de instalación , operación, mantenimiento para bombas centrifugas rotodinámicas
ANSI/HI 1.3	Diseño y aplicación para bombas centrifugas rotodinámicas
ANSI/HI 1.1-1.2	Nomenclatura y definiciones para bombas centrifugas rotodinámicas
ANSI/HI 2.1-2.2	Definiciones y nomenclatura para bombas verticales rotodinamicas de tipo de flujo radial, mixto y axial
ANSI/HI 9.6.1	Guía de margen de NPSH para bombas rotodinámicas



C

GLOSARIO

A la vista de: Donde se especifique que un equipo debe estar “A la vista de” otro equipo, significa que un equipo debe estar visible desde el otro equipo y que no están separados más de 15 metros uno del otro.

A prueba de intemperie: Construido o protegido de modo que su exposición o uso a la intemperie no impida el funcionamiento especificado. NOTA: Los equipos a pruebas de lluvia, herméticas a la lluvia o herméticas al agua pueden cumplir los requisitos de “a prueba de intemperie” cuando otras condiciones atmosféricas, diferentes a la humedad, no son un factor tales como la nieve, hielo, polvo o temperaturas extremas.

A prueba de lluvia: Construido, protegido o tratado de tal modo que prevenga que la lluvia interfiera con la operación satisfactoria de un aparato bajo condiciones de prueba especificadas.

A prueba de polvo: Construido de tal forma que el polvo no entrará dentro de la envolvente bajo condiciones de prueba especificadas.

A tierra: Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y

el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

Accesible (aplicado a los equipos): Permite acercarse; no resguardado por puertas con cerradura, ni por elevación, ni por otros medios.

Accesible (aplicado a los métodos de alambrado): Se puede quitar o exponer sin causar daño a la estructura o al acabado del edificio, o que no está permanentemente encerrado dentro de la estructura o del acabado del edificio.

Accesible, fácilmente: Es posible aproximarse rápidamente para la operación, reposición o inspecciones, sin que aquellos que requieran acceso tengan necesidad de escalar o quitar obstáculos, ni recurrir a escaleras portátiles, sillas o bancos.

Acometida aérea: Conductores en sistema aéreo, que van desde el poste más cercano u otro soporte aéreo del suministrador, hasta el punto de recepción del suministro.

Acometida subterránea: Conductores en sistema subterráneo que van desde el registro más cercano u otro soporte subterráneo del suministrador, hasta el punto de recepción del suministro.

Acometida: Conductores eléctricos que conectan la red de distribución del suministrador, al punto de recepción del suministro en la instalación del inmueble a servir.

Acuífero: Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas.

Ajustable: Calificativo que indica que el interruptor automático puede ajustarse para que dispare a varios valores de corriente, de tiempo o de ambos, dentro de un rango predeterminado.

Ajuste: El valor de corriente, de tiempo o de ambos, a los cuales se regula el disparo de un interruptor automático ajustable.

Alimentador: Todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado u otra fuente de alimentación y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.

Ampacidad: Corriente máxima que un conductor puede transportar continuamente, bajo las condiciones de uso, sin exceder su rango de temperatura.

Aparato a prueba de explosión: Aparato encerrado en una envolvente capaz de soportar la explosión de un gas o vapor específico que pueda ocurrir en su interior, y de prevenir la ignición de un gas o vapor específico que rodee la envolvente, por chispas, arcos o explosión del gas o vapor del interior de la envolvente y que opera con temperaturas externas tales que no puede provocar la ignición de una atmósfera inflamable que le rodee.

Aparato: Equipo de utilización, que usualmente se fabrica en tamaños y tipos normalizados y que se instala o conecta como una unidad para realizar una o más funciones, como lavar ropa, acondicionar aire, mezclar alimentos, freír, etcétera.

Automático: Realizar una función sin necesidad de intervención humana.

Balastro: Dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que por medio de inductancias, resistencias y/o elementos electrónicos (transistores, tiristores, etc.), solos o en combinación limitan la corriente de lámpara y cuando es necesario la tensión y corriente de encendido. Los balastos electromagnéticos e híbridos tienen una frecuencia de salida de 60 Hz. Los balastos electrónicos son aquellos que internamente tienen al menos un convertidor de frecuencia.

Base de la lámpara autobalastada: Base rosca tipo Edison o bayoneta que conecta al dispositivo a través del casquillo tipo Edison o bayoneta en luminarios para lámparas incandescentes o portalámparas

Bomba: Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

Cable de acometida: Conductores de acometida en forma de cable.

Caja de derivación: Parte de un sistema de canalización con tubería de cualquier tipo para proporcionar acceso al interior del sistema de alambrado por medio de una cubierta o tapa removible. Podrá estar instalada al final o entre partes del sistema de canalización.

Caja de desconexión (baja tensión): Envolverte diseñada para montaje superficial que tiene puertas abatibles o cubiertas superficiales sujetas en forma telescópica a las paredes de las cajas.

Caja de paso: Parte de un sistema de canalización con tubería de cualquier tipo para proporcionar acceso al interior del sistema de alambrado por medio de una cubierta o tapa removible. Podrá estar instalada al final o entre partes del sistema de canalización. NOTA: Las cajas comúnmente denominadas FS y FD o de dimensiones mayores, de metal fundido o cajas de lámina metálica, no se clasifican como cajas de paso.

Canalización: Canal cerrado de materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras, con funciones adicionales. Las canalizaciones incluyen, pero no están limitadas a, tubo conduit rígido metálico, tubo conduit rígido no metálico, tubo conduit metálico semipesado, tubo conduit flexible hermético a los líquidos, tuberías metálicas flexibles, tubo conduit metálico flexible, tuberías eléctricas no metálicas, tuberías eléctricas metálicas, canalizaciones subterráneas, canalizaciones en pisos celulares de concreto, canalizaciones en pisos celulares de metal, canaletas, ductos y electroductos.

Carga a la descarga: Es la distancia vertical entre el eje de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

Carga (eléctrica): Es la potencia instalada o demandada en un circuito eléctrico.

Carga continua: Carga cuya corriente máxima circula durante tres horas o más.

Carga de a la succión: Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba, se da en metros del líquido manejado, equivalente a presión, requeridos para forzar el líquido de la bomba.

Carga de fricción: Es la columna en metros del líquido que se maneja, equivalente y necesario para vencer la resistencia de las tuberías de succión y descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo con la velocidad del líquido, tamaño, tipo y condiciones interiores de las tuberías y naturaleza del líquido que se maneja.

Carga de velocidad: Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento.

Carga estática total: Es la distancia vertical entre los niveles de succión.

Carga estática: Es la altura, expresada en metros líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) o descarga (salida de una bomba).

Carga no lineal: Carga donde la forma de onda de la corriente en estado estable no sigue la forma de onda de la tensión aplicada. NOTA: Ejemplos de cargas que pueden ser no lineales: equipo electrónico, alumbrado de descarga eléctrica/electrónica, sistemas de velocidad variable, hornos de arco y similares.

Carga: Es el contenido de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final.

Centro de control de motores (CCM): Conjunto de una o más secciones encerradas, que

tienen barras conductoras comunes y que contienen principalmente unidades para el control de motores.

Circuito de control remoto: Cualquier circuito que controle a otro circuito a través de un relevarador o un dispositivo equivalente.

Circuito de señalización: Cualquier circuito que suministre energía eléctrica a equipos de señalización.

Circuito derivado de uso general: Circuito que alimenta a dos o más salidas para alumbrado y aparatos.

Circuito derivado individual: Circuito que alimenta a un solo equipo de utilización.

Circuito derivado multiconductor: Circuito que consta de dos o más conductores de fase con una diferencia de potencial entre ellos, y un conductor puesto a tierra que tiene la misma diferencia de potencial entre él y cada conductor de fase del circuito y que está conectado al neutro o al conductor puesto a tierra del sistema.

Circuito derivado para aparatos: Circuito derivado que suministra energía eléctrica a una o más salidas a las que se conectan aparatos; tales circuitos no deben contener elementos de alumbrado conectados permanentemente que no forman parte del aparato.

Circuito derivado: Conductor o conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobrecorriente que protege a ese circuito hasta la(s) salida(s).

Clavija: Dispositivo que por medio de su inserción en un contacto establece una conexión

entre los conductores del cordón flexible y los conductores permanentemente conectados al contacto.

Conductor con aislamiento: Conductor rodeado de un material de composición y espesor como aislamiento eléctrico.

Conductor cubierto: Conductor rodeado de un material de composición o espesor como aislamiento eléctrico.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: Trayectorias conductoras utilizadas para conectar las partes metálicas, que normalmente no conducen corriente, de todos los equipos y al conductor del sistema puesto a tierra o al conductor del electrodo de puesta a tierra o a ambos.

Conductor de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Conductor del electrodo de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar el conductor puesto a tierra del sistema o el equipo, al electrodo de puesta a tierra o a un punto en el sistema del electrodo de puesta a tierra.

Conductor desnudo: Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

Conductor neutro: Conductor conectado al punto neutro de un sistema que está destinado a transportar corriente en condiciones normales.

Conductor puesto a tierra: Conductor de un sistema o de un circuito, intencionadamente puesto a tierra.

Conductores de acometida, sistema aéreo: Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de acometida y un punto comúnmente fuera del edificio, y separado de sus paredes, donde se unen por derivación o empalme a la bajada de la acometida aérea.

Conductores de acometida, sistema subterráneo: Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de acometida y el punto de conexión con la acometida subterránea.

Conductores de acometida: Conductores comprendidos desde el punto de acometida hasta el medio de desconexión de la instalación.

Conector a presión (sin soldadura): Dispositivo para establecer una conexión entre dos o más conductores o entre uno o más conductores y una terminal por medio de presión mecánica, sin utilizar soldadura.

Contacto (Receptáculo): Dispositivo de conexión eléctrica instalado en una salida para la inserción de una clavija. Un contacto sencillo es un dispositivo de un solo juego de contactos. Un contacto múltiple es aquel que contiene dos o más dispositivos de contacto en el mismo chasis o yugo.

Controlador: Dispositivo o grupo de dispositivos para gobernar, de un modo determinado, la energía eléctrica suministrada al aparato al cual está conectado.

Coordinación (selectiva): Localización de una condición de sobrecorriente para restringir interrupciones del circuito o del equipo afectado, lo cual se logra con la selección de los dispositivos

de protección contra sobrecorriente y sus ajustes o valores nominales.

Corriente continua: Se denomina también corriente directa y ambos términos pueden emplearse para la identificación o marcado de equipos, aunque debe tenderse al empleo de corriente continua, que es el normalizado nacional e internacionalmente.

Corriente de arranque (rotor bloqueado): Es la corriente que demanda el motor al arrancar, y que corresponde a condiciones de rotor bloqueado o velocidad cero. Aplicando tensión y frecuencia eléctricas nominales.

Corriente de cortocircuito: Posible corriente de falla simétrica a la tensión nominal, a la cual un aparato o un sistema puede estar conectado sin sufrir daños que excedan los criterios de aceptación definidos.

Corriente de interrupción: Corriente máxima a la tensión que un dispositivo, es capaz de interrumpir bajo condiciones de prueba normalizadas. NOTA: Los dispositivos diseñados para interrumpir corriente de otros niveles distintos a los de falla, pueden tener su capacidad de interrupción expresada en otros parámetros como: kilovoltamperes, caballos de fuerza o corriente a rotor bloqueado.

Corriente eléctrica: Su unidad práctica es el ampere. Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia R y cuya diferencia de potencial entre sus extremos es V .

Cortocircuito en aceite: Dispositivo en el cual todo o parte de la base del fusible y su elemento fusible o cuchilla de desconexión están total-

mente sumergidos en aceite, los contactos y la parte fusible del elemento conductor (elemento fusible) de modo que la interrupción del arco, ya sea por la ruptura del elemento fusible o la apertura de los contactos ocurran dentro del aceite.

Cortacircuito: Conjunto formado por un soporte para fusible con portafusible o una cuchilla de desconexión. El portafusible puede incluir un elemento conductor (elemento fusible) o puede actuar como cuchilla de desconexión mediante la inclusión de un elemento conductor no fusible

Cuchilla desconectadora: Dispositivo capaz de cerrar, conducir e interrumpir corrientes especificadas.

De disparo instantáneo: Calificativo que indica que deliberadamente no se introduce un retardo en la acción de disparo del interruptor automático.

De tiempo inverso: Calificativo que indica que deliberadamente se introduce un retardo en la acción de disparo del interruptor automático, retardo que disminuye a medida que aumenta la magnitud de la corriente.

Desconectador de aislamiento en derivación: Dispositivo operado manualmente usado en conjunto con un interruptor de transferencia para constituir un medio para conectar directamente los conductores de carga a la fuente de alimentación y aislar el interruptor de transferencia

Desconectador de aislamiento: Dispositivo diseñado para aislar un circuito eléctrico de su fuente de alimentación. No tiene capacidad interruptiva y está diseñado para operar solamente después de que el circuito ha sido abierto por otro medio.

Desconectador de puenteo de regulador: Dispositivo específico o combinación de dispositivos diseñados para puentear un regulador de tensión.

Desconectador de transferencia: Dispositivo automático o no automático para transferir una o más conexiones de los conductores de carga de una fuente de alimentación a otra

Desconectador de uso general de acción rápida: Dispositivo de uso general construido de manera que pueda instalarse en cajas de dispositivos o sobre tapas de caja o utilizado junto con sistemas de alambreado reconocidos

Desconectador de uso general: Dispositivo para uso en circuitos de distribución general y circuitos derivados. Se denomina en amperes y es capaz de interrumpir su corriente nominal a su tensión nominal

Desconectador en aceite: Desconectador que tiene los contactos sumergidos en aceite o en cualquier otro líquido aislante adecuado.

Desconectador para circuito de motor: Dispositivo cuya potencia es expresada como capacidad en kilowatts o caballos de fuerza y que es capaz de interrumpir la máxima corriente de operación en sobrecarga de un motor a tensión nominal

Desconectador separador (de aislamiento): Dispositivo mecánico de desconexión que aísla un circuito o equipo de una fuente de energía.

Dispositivo de interrupción: Dispositivo diseñado para cerrar, abrir o ambos, uno o más circuitos eléctricos.

Dispositivo: Elemento de un sistema eléctrico que su principal función es conducir o controlar energía eléctrica.

Edificio o edificación: Estructura independiente o que está separada de otras estructuras adyacentes por medio de muros divisorios y que cuenta en todas sus aberturas con puertas.

Encerrado: Rodeado por una carcasa, caja, cerca o pared para prevenir que las personas tengan contacto accidental con partes energizadas.

Energizado(a): Es, o está conectado(a) a una fuente de tensión.

Ensamble de salidas múltiples: Canalización superficial, empotrada o autoportada diseñada para contener conductores y contactos, ensamblados ya sea en sitio o en fábrica.

Envolvente: Caja o chasis de un aparato o la cerca o paredes que rodean una instalación para prevenir que las personas tengan contacto accidental con partes energizadas o para protección de los equipos contra daño físico.

Equipo de acometida: Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconectador y fusibles, con sus accesorios, localizado cerca del punto de entrada de los conductores de suministro a un edificio u otra estructura o a un área definida.

Equipo de comunicaciones: Equipo electrónico que ejecuta las operaciones de telecomunicaciones para la transmisión de audio, video y datos, incluye equipo de potencia (por ejemplo conver-

tidores, inversores y baterías) y equipo de soporte técnico (como computadoras).

Equipo de recepción del suministro: Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconectador y fusibles, con sus accesorios, localizado al final de los conductores de recepción del suministro.

Equipo de utilización: Equipo que utiliza la energía eléctrica para propósitos de electrónica, electro-mecánicos, químicos, de calefacción, de alumbrado y otros similares.

Equipo sellable: Equipo con envolvente en forma de caja o gabinete provisto de medios de bloqueo o sello de manera que las partes energizadas no sean accesibles sin abrir la envolvente. El equipo puede o no ser accionable sin abrir la envolvente.

Equipo: Término general para referirse a: herrajes, dispositivos, aparatos, luminarias, aparatos y productos similares utilizados como partes de, o en conexión con, una instalación eléctrica.

Estructura: Aquello que se ha edificado o construido.

Etiquetado: Equipo o materiales que tienen adherida una etiqueta, símbolo u otra marca de identificación de un organismo acreditado o dependencia que mantiene un programa de inspecciones periódicas al equipo o material etiquetado, y que es aceptable para el organismo acreditado que se ocupa de la evaluación del producto. Con la etiqueta, símbolo u otra marca de identificación mencionada, el fabricante o

proveedor señala que el equipo o material cumple con las normas aplicables o señala el comportamiento con los requisitos especificados.

Expuesto (aplicado a métodos de alambrado): Colocado sobre o fijado a la superficie o detrás de tableros diseñados para permitir el acceso.

Expuesto (aplicado a partes vivas): Que una persona puede inadvertidamente tocarlo o acercarse a una distancia menor que la distancia de seguridad. Se aplica a las partes que no están adecuadamente resguardadas, separadas o aisladas.

Factor de demanda: Relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o la parte del sistema considerado.

Frecuencia de rotación: Es el número de revoluciones por unidad de tiempo a las que gira el conjunto bomba-motor, expresada en la práctica en r/min (revoluciones por minuto).

Frente muerto: Sin partes vivas expuestas a una persona en el lado de operación del equipo.

Fusible accionado electrónicamente: Dispositivo de protección contra sobrecorriente que consiste generalmente de un módulo de control el cual proporciona las características sensoras de corriente, características tiempo-corriente electrónicamente derivadas, energía para iniciar el disparo y un módulo de interrupción que interrumpe la corriente cuando se produce una sobrecorriente. Estos fusibles pueden operar o no como fusibles tipo limitador, dependiendo del tipo de control seleccionado.

Fusible de potencia con escape controlado: Fusible con medios para controlar la descarga generada por la interrupción del circuito de manera que no se puedan expulsar materias sólidas a la atmósfera que lo rodea.

Fusible de potencia no ventilado: Fusible que no tiene un medio intencional para el escape a la atmósfera de gases, líquidos o partículas sólidas producidos por el arco durante la interrupción del circuito.

Fusible de potencia ventilado: Fusible con medios para el escape a la atmósfera de gases, líquidos o partículas sólidas producidas por el arco durante la interrupción del circuito.

Fusible múltiple: Ensamble de dos o más fusibles unipolares.

Fusible: Dispositivo de protección contra sobrecorriente con una parte que se funde cuando se calienta por el paso de una sobrecorriente que circule a través de ella e interrumpe el paso de la corriente. NOTA: El fusible comprende todas las partes que forman una unidad capaz de efectuar las funciones descritas y puede ser o no el dispositivo completo requerido para conectarlo a un circuito eléctrico.

Gabinete: Envoltura diseñada para montaje superficial o empotrado, provista de un marco, montura o bastidor en el que se instalan o pueden instalarse una o varias puertas de bisagra.

Hermético a la lluvia: Construido o protegido de tal manera que la exposición a la lluvia batiente no dé como resultado la entrada de agua bajo condiciones de prueba especificadas.

Hermético al agua: Construido para que la humedad no entre en la envolvente, en condiciones específicas de prueba.

Hermético al polvo: Construido de modo que el polvo no entre en la envolvente en condiciones especificadas de prueba.

Herraje: Contratueras, pasacables (monitor) u otra parte de un sistema de alambrado, destinada principalmente para desempeñar una función más mecánica, que eléctrica.

Identificado (aplicado a los equipos): Reconocido como adecuado para un propósito, función, uso, entorno o aplicación, específicos, cuando se describe en un requisito particular. NOTA: La adecuación de un equipo para un propósito, uso, entorno o aplicación específicos puede ser determinada por un organismo acreditado para la evaluación de la conformidad del producto. La identificación puede evidenciarse por medio de una marca de conformidad.

Interruptor automático: Dispositivo diseñado para abrir o cerrar un circuito por medios no automáticos y para abrir el circuito automáticamente cuando se produzca una sobrecorriente predeterminada, sin dañarse a sí mismo, cuando se aplica correctamente dentro de su rango. NOTA: El medio de apertura automática puede ser integral, que actúa directamente sobre el interruptor automático, situado a distancia del mismo.

Interruptor de circuito por falla a tierra: Dispositivo diseñado para la protección de personas, que funciona para desenergizar un circuito o parte del mismo, dentro de un periodo determinado, cuando una corriente a tierra excede un

valor predeterminado, menor que al necesario para accionar el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito de alimentación.

Interruptor de potencia: Dispositivo de interrupción capaz de conectar, conducir e interrumpir corrientes bajo condiciones normales del circuito y conectar, conducir corrientes por un tiempo especificado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito, como las de cortocircuito.

Inversor interactivo con el suministrador: Inversor proyectado para su uso en paralelo con el suministrador, para alimentar cargas comunes y que puede entregar energía a la empresa suministradora.

Lámpara fluorescente compacta autobalastada (LFCA): Unidad en la que no se puede separar la lámpara del balastro sin ser dañada permanentemente, provista con una base y la incorporación de una lámpara fluorescente compacta y los elementos adicionales necesarios para su encendido y funcionamiento estable.

Lámpara fluorescente compacta: Lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio a baja presión en la cual la emisión principal de luz proviene de un recubrimiento de material fluorescente. Se caracteriza por presentar sus terminales eléctricas en un extremo de la lámpara y por incluir una o más zonas frías para controlar la presión del vapor de mercurio.

Lámpara fluorescente: Una lámpara de descarga eléctrica de vapor de mercurio a baja presión en la que un recubrimiento fluorescente transforma parte de la energía ultravioleta generada por la descarga, en luz visible.

Líquido volátil inflamable: Líquido con punto de ignición menor a 38 °C. Líquido cuya temperatura está por encima de su punto de ignición, o un combustible líquido con una presión de vapor no mayor que 276 kilopascales a 38 °C y cuya temperatura está por encima de su punto de ignición.

Lugar húmedo: Lugares protegidos de la intemperie y que no están sometidos a saturación con agua u otros líquidos pero están expuestos a grados moderados de humedad. Ejemplos de tales lugares incluyen sitios parcialmente protegidos bajo aleros, marquesinas, porches techados abiertos y lugares similares y lugares interiores sujetos a un grado moderado de humedad como algunos sótanos, graneros y almacenes refrigerados.

Lugar mojado: Instalación subterránea o de baldosas de concreto o mampostería, que está en contacto directo con el terreno o un lugar sometido a saturación con agua u otros líquidos, tal como área de lavado de vehículos o un lugar expuesto a la intemperie y no protegido.

Lugar seco: Lugar que normalmente no está húmedo o sujeto a ser mojado. Un local clasificado como seco puede estar temporalmente húmedo o sujeto a ser mojado, como en el caso de un edificio en construcción.

Luminaria: Unidad completa de iluminación que consiste en una fuente de luz, con una o varias lámparas, junto con las partes diseñadas para posicionar la fuente de luz y conectarla a la fuente de alimentación. También puede incluir las partes que protegen la fuente de luz o el balastro y aquellas para distribuir la luz. Un portalámpara por sí mismo no es una luminaria.

Marcado (aplicado a marca de conformidad): Equipo o materiales que tienen adherida una etiqueta, símbolo u otra marca de identificación de un organismo acreditado o dependencia que mantiene un programa de inspecciones periódicas al equipo o material etiquetado, y que es aceptable para el organismo que se ocupa de la evaluación de la conformidad del producto. Con la etiqueta, símbolo u otra marca de identificación mencionada, el fabricante o proveedor indica que el equipo o material cumple con las normas aplicables o su buen funcionamiento bajo requisitos específicos.

Medio de desconexión: Dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios por los cuales los conductores de un circuito pueden ser desconectados de su fuente de alimentación.

Medios de desconexión: Un dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios en los cuales los conductores del circuito pueden ser desconectados desde su fuente de alimentación.

Motor abierto: Es un motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través del embobinado del motor.

Motor cerrado: Es un motor cuya armazón impide el intercambio libre de aire entre el interior y el exterior de este, sin llegar a ser hermético. Dentro de esta clasificación se incluyen los motores a prueba de explosión.

Motor de inducción: Es un motor eléctrico en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

Motor eléctrico: Es una maquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica.

Motor eléctrico: Máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Motor tipo jaula de ardilla: Es un motor de inducción, en el cual los conductores del rotor son barras colocadas en las ranuras del núcleo secundario, que se conectan en circuito corto por medio de anillos en sus extremos semejando una jaula de ardilla.

Nivel de referencia: Es el plano inferior de la placa base y es la referencia para todas las mediciones hidráulicas.

Nivel dinámico: Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

Nivel freático: Nivel superior de la zona saturada, en el cual el agua, contenida en los pozos, se encuentra sometida a la presión atmosférica.

No accesible (aplicado a un lugar): Las personas no pueden tener acceso fácil, a menos que utilicen medios de acceso especiales.

No ajustable: Calificativo que indica que el interruptor automático no puede ajustarse para cambiar el valor de la corriente a la cual dispara o el tiempo requerido para su operación.

No automático: Requiere de intervención humana para realizar una función.

No puesto a tierra: No conectado a tierra ni a un cuerpo conductor que extienda la conexión a tierra.

Oculto: Que resulta inaccesible por la estructura o acabado del edificio. Los conductores en canalizaciones ocultas son considerados ocultos, aunque se hacen accesibles al sacarlos de las canalizaciones.

Operable desde el exterior: Capaz de ser operado sin que el operario esté expuesto al contacto con partes vivas.

Panel: Placa, entrepaño, tramo, segmento, cuadro o compartimento.

Partes vivas: Componentes conductores energizados.

Permeabilidad: Capacidad de un material para transmitir un fluido.

Persona calificada: Persona con habilidades y conocimientos relacionados con la construcción y el funcionamiento de las instalaciones y los equipos eléctricos y que ha recibido capacitación en seguridad para reconocer y evitar los peligros implicados.

Plenum: Compartimento o plenum a la que están conectados uno o más ductos de aire y que forma parte del sistema de distribución de aire.

Portalámparas: Portalámparas de base tipo Edison de un luminario para lámparas incandescentes o lámparas eléctricas portátiles que puede acoplarse para alimentar a una lámpara autobalastada o a un adaptador de lámpara.

Potencia de entrada al motor: Es la potencia, en watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal.

Pozo de absorción: Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; esta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

Protección de falla a tierra de equipos: Sistema diseñado para proteger a los equipos contra daños por corrientes de falla entre línea y tierra, que hacen funcionar un medio de desconexión que desconecta los conductores no puestos a tierra del circuito con falla. Esta protección es activada a niveles de corriente menores a los necesarios para proteger a los conductores contra daños mediante la operación de un dispositivo de protección contra sobre corriente del circuito de alimentación.

Protector térmico (aplicado a motores): Dispositivo de protección, que se monta como parte integral de un motor o motor-compresor y el cual, cuando se utiliza de manera apropiada, protege al motor contra sobrecalentamientos peligrosos debido a sobrecargas o fallas de arranque. NOTA: El protector térmico puede consistir de uno o más elementos sensores integrados al motor o motor-compresor y un dispositivo externo de control.

Protegido térmicamente (aplicado a motores): Las palabras “protegido térmicamente”, en la placa de datos del motor o motor-compresor, indican que el motor tiene un protector térmico incorporado.

Puente de unión, circuito: Conexión entre partes de un conductor en un circuito para mantener la ampacidad requerida por el circuito.

Puente de unión, equipo: Conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión, principal: **Conexión en la acometida** entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión, sistema: Conexión entre el conductor puesto a tierra del circuito y el conductor de puesta a tierra del lado del suministrador, o el conductor puesto a tierra del equipo, o ambos, a un sistema derivado separado.

Puente de unión: Conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que deben estar conectadas eléctricamente.

Puesto a tierra eficazmente: Conectado (conexión) a tierra intencionalmente a través de una conexión o conexiones a tierra que tengan una impedancia suficientemente baja y ampacidad, que prevengan la formación de tensiones peligrosas para las personas o para los equipos conectados.

Puesto a tierra sólidamente: Conectado a tierra sin insertar ningún dispositivo de resistencia o de impedancia.

Puesto a tierra: Conectado (conexión) a tierra o a algún cuerpo conductor que extienda la conexión a tierra.

Punto de acometida: Punto de conexión entre las instalaciones del suministrador y las del usuario, el cual se localiza en el equipo de medición cuando éste se encuentra en el inmueble, y en caso de que el medidor se encuentre en la red del suministrador, el punto de recepción del suministro es en el medio de desconexión.

Punto neutro: Punto común en una conexión en estrella en un sistema polifásico, o punto medio en un sistema monofásico de 3 hilos, o punto medio de una porción monofásica de un sistema trifásico en delta, o punto medio de un sistema de corriente continua de 3 hilos. **NOTA:** En el punto neutro del sistema, la suma vectorial de las tensiones de todas las otras fases dentro del sistema que utiliza el neutro, con respecto al punto neutro, es cero.

Registro: Envolvente para uso en sistemas subterráneos que tienen un fondo abierto o cerrado, dimensionado de tal forma que permite al personal alcanzar lo que hay dentro, pero no ingresar en él, con el propósito de instalar, operar o mantener el equipo o el alambrado, o ambos.

Rejilla; cedazo: Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciado diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

Resguardado: Cubierto, blindado, cercado, encerrado, o protegido de otra manera por medio de cubiertas o tapas adecuadas, barreras, rieles, pantallas, placas o plataformas para evitar la posibilidad de acercamiento o contacto de personas u objetos a un punto peligroso.

Retardante de flama: Característica de un material con aditivo, formulación o mezclas de

compuestos químicos incorporados para reducir la inflamabilidad de un material o para demorar la combustión del mismo.

Salida de fuerza: Conjunto con envolvente que puede incluir contactos, interruptores automáticos, portafusibles, desconectores con fusibles, barras conductoras de conexión común y bases para montaje de medidores de energía; diseñado para suministrar y controlar el suministro de energía a casas móviles, paraderos para remolques, vehículos de recreo, remolques o embarcaciones; o para servir como medio de distribución de la energía necesaria para operar equipo móvil o instalado temporalmente.

Salida para alumbrado: Salida diseñada para la conexión de un portalámparas, una luminaria.

Salida para contactos: Salida en la que están instalados uno o más contactos.

Salida: Punto en un sistema de alambrado en donde se toma corriente para alimentar a un equipo de utilización.

Servicio continuo: Operación a una carga prácticamente constante durante un tiempo indefinidamente largo.

Servicio intermitente: Operación por intervalos que alternan de: con carga y sin carga; con carga y en reposo, con carga, sin carga y en reposo

Servicio periódico: Operación intermitente en el que las condiciones de carga son regularmente recurrentes.

Servicio por tiempo corto: Operación a una carga prácticamente constante durante un tiempo especificado, corto y definido

Servicio variable: Funcionamiento a cargas e intervalos de tiempo, donde ambos pueden variar dentro de una amplia gama.

Sistema de alambrado de usuarios: Alambrado interior y exterior incluyendo circuitos de fuerza, alumbrado, control y señalización con todos sus herrajes, accesorios y dispositivos de alambrado asociados, ya sean permanentes o temporalmente instalados, que parten desde el punto de acometida de los conductores del suministrador o fuente de un sistema derivado separado hasta las salidas. Dicho alambrado no incluye el alambrado interno de aparatos, luminarias, motores, controladores, centros de control de motores y equipos similares.

Sistema de bombeo: Es el conjunto motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

Sistema derivado separado: Sistema de alambrado de una propiedad, cuya alimentación procede de una fuente de energía o equipo diferente a la alimentación del suministrador. Tales sistemas no tienen conexión eléctrica entre los conductores de un circuito de un sistema a los conductores de un circuito de otro sistema, exceptuando las conexiones a través de la tierra, cubiertas de metal, canalizaciones metálicas, o conductores de puesta a tierra de equipo.

Sistema interactivo: Sistema de generación de energía eléctrica que está operando en paralelo con y que puede suministrar energía al sistema de la fuente primaria de alimentación.

Sistema solar fotovoltaico: El total de componentes y subsistemas que, combinados, convier-

ten la energía solar en energía eléctrica apropiada para conectar una carga de utilización.

Sobrecarga: Operación de un equipo por encima de su capacidad normal, a plena carga, o de un conductor por encima de su capacidad que, cuando persiste durante un tiempo suficientemente largo, podría causar daños o un calentamiento peligroso. Una falla, como un cortocircuito o una falla a tierra, no es una sobrecarga.

Sobrecorriente: Cualquier corriente que supere la corriente nominal de los equipos o la capacidad de un conductor. La sobrecorriente puede provocarse por una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra. NOTA: Una corriente en exceso de la nominal puede ser absorbida por determinados equipos y conductores para un conjunto de condiciones dadas. Por eso, las reglas para protección contra sobrecorriente son específicas para cada situación particular.

Sólidamente puesto a tierra: Significa que el conductor puesto a tierra (neutro) lo está sin necesidad de intercalar ninguna resistencia o dispositivo de impedancia.

Suministrador: Compañía de servicio público (CFE) o autorizada por la LSPEE, encargada del abastecimiento de energía eléctrica para su utilización.

Suministro ininterrumpido de energía: Un suministro de energía que se utiliza para proporcionar una fuente alterna de alimentación por algún período de tiempo en el caso de una interrupción del suministro normal. NOTA: Además, puede proporcionar una alimentación de tensión y frecuencia más constante, reduciendo los efectos de variaciones de tensión y frecuencia.

Tablero de alumbrado y control: Panel sencillo o grupo de paneles unitarios diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel, accesible únicamente desde el frente, que incluye barras conductoras de conexión común y dispositivos automáticos de protección contra sobrecorriente y otros dispositivos de protección, y está equipado con o sin desconectores para el control de circuitos de alumbrado, calefacción o fuerza; diseñado para instalarlo dentro de un gabinete o caja de cortacircuitos ubicada dentro o sobre un muro o pared divisora y accesible únicamente desde el frente (véase Tablero de distribución).

Tablero de distribución: Panel grande sencillo, estructura o conjunto de paneles, donde se montan, por el frente o por la parte posterior o por ambos lados: desconectores, dispositivos de protección contra sobrecorriente y otras protecciones, barras conductoras de conexión común y usualmente instrumentos. Los tableros de distribución son accesibles generalmente por la parte frontal y la posterior, y no están destinados para ser instalados dentro de gabinetes.

Tablero de potencia con envolvente metálico: Tablero totalmente cerrado por todos los lados y la parte superior con láminas metálicas (excepto por las aberturas de ventilación y las ventanas de inspección) y que contiene principalmente dispositivos de desconexión o de interrupción de potencia, con barras conductoras y conexiones. El ensamble puede incluir dispositivos de control y auxiliares. El acceso al interior del envolvente es por puertas, cubiertas removibles, o ambas. Los tableros de potencia con envolvente metálico se pueden conseguir en construcciones resistentes o no resistentes al arco.

Tensión (de un circuito): La mayor diferencia de potencial (tensión rms) entre dos conductores cualesquiera de un circuito considerado.

Tensión a tierra: En los circuitos puestos a tierra, es la tensión entre un conductor dado y el punto o conductor del circuito que está puesto a tierra; en circuitos no puestos a tierra es la mayor diferencia de potencial entre un conductor dado y cualquier otro conductor del circuito. NOTA: Algunos sistemas, como los de 3 fases 4 hilos, de 1 fase 3 hilos y de corriente continua de 3 hilos, pueden tener varios circuitos a diferentes tensiones.

Tensión nominal: Valor nominal asignado a un circuito o sistema para designar convenientemente su clase de tensión. La tensión a la cual un circuito opera puede variar de la nominal, dentro de un margen que permite el funcionamiento satisfactorio de los equipos.

Transformador de distribución tipo pedestal: Conjunto formado por un transformador de distribución con un gabinete integrado en el cual se incluyen accesorios para conectarse en sistemas de distribución subterránea, este conjunto está destinado para instalarse en un pedestal y para servicio en intemperie.

Transformador de distribución tipo poste: Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para sujetarse o instalarse en un poste o en alguna estructura similar.

Transformador de distribución tipo subestación: Es aquel transformador de distribución

que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en una plataforma, cimentación o estructura similar y su acceso está limitado por un área restrictiva.

Transformador de distribución tipo sumergible: Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en un pozo o bóveda y que está expuesto a sufrir inundaciones.

Transformador de distribución: Es aquel transformador que tiene una capacidad nominal desde 5 hasta 500 kVA y una tensión eléctrica nominal de hasta 34 500 V en el lado primario y hasta 15 000 V nominales en el lado secundario.

Transformador: Dispositivo eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, usualmente aumentado o disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctricas.

Tubo conduit: Sistema de canalización diseñado y construido para alojar conductores en instalaciones eléctricas, de forma tubular, sección circular.

Unidad fusible de expulsión: Fusible ventilado en el cual el efecto de expulsión de los gases producidos por el arco y el revestimiento del portafusible, solo o con la ayuda de un resorte, extingue el arco.

Unidad fusible de potencia: Unidad fusible ventilada, no ventilada o de ventilación controlada en la cual el arco se extingue a través de un material sólido, granular o líquido, con o sin la ayuda de resorte.

Viscosidad: La viscosidad es aquella propiedad del fluido mediante la cual este ofrece resistencia al esfuerzo cortante. La viscosidad de un gas se incrementa con la temperatura, mientras que la de un líquido disminuye. Estas variaciones causadas por la temperatura pueden explicarse examinando las causas de la viscosidad. Por consiguiente la cohesión parece ser la causa predominante de la viscosidad en un líquido y puesto que disminuye con la temperatura, la viscosidad también lo hace. La viscosidad es prácticamente independiente de la presión y depende únicamente de la presión y depende únicamente de la temperatura. La viscosidad cinemática de los líquidos y de los gases a una presión dada es sustancialmente una función de la temperatura.

NOTA IMPORTANTE:

Para abundamiento consulte los glosarios de las normas NOM, NMX, IEEE, IES y las indicadas en este libro.

D

NOTAS ACLARATORIAS

Además de los temas presentados, existen otros parámetros y consideraciones que involucran la instalación y montaje de equipo electromecánico que no se indican en este libro. Sin embargo esto no significa que no sean importantes o imprescindibles en la selección de equipos.

Para garantizar el éxito de la instalación, montaje y funcionamiento de los equipos electromecánicos, la metodología a utilizar para la selección de estos debe estar fundamentada y apegada a las especificaciones de diseño y las condiciones del sitio de donde se instalará el equipo. En todo caso deberá atenderse la normatividad vigente, nacional e internacional; y debe tenerse en cuenta que la normatividad presentada en este libro solo representa una pequeña porción del total de normas existentes y disponibles para la selección de equipo electromecánico.

NOTA IMPORTANTE:

Este libro, así como el MAPAS en su conjunto, debe tomarse como una introducción a los criterios de selección de equipos electromecánicos en los sistemas de agua potable y debe tenerse muy en cuenta que la información presentada no es de ninguna forma absoluta y no debe tomarse como ley o norma obligatoria que deba cumplirse o limitarse a lo expuesto en este documento.



Deshidratación de lodos
Sus objetivos son: observar el proceso de
dehidratación de los lodos y
cómo se realiza el proceso de
deshidratación.

E

BIBLIOGRAFÍA

- CFE V4200-25. (2006). Cuchillas Desconectadoras de 15 kV a 145 kV con Accionamiento Manual.
- AWWA E 101. (n.d.). Vertical turbine pumps-line shafts and sumersibles types.
- AWWA, E101-88 ANSI . (n.d.). Standard for Vertical Turbine Pumps - Line Shaft and Submersible Types.
- CFE 08-00-00. (n.d.). Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión equipo eléctrico.
- CFE 08-00-01. (n.d.). Generalidades.
- CFE K0000-07. (2007). Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión equipo eléctrico. Especificación.
- CFE V4200-12. (2003). Cuchillas desconectadoras de aire 72.5 A 420 KV con accionamiento controlado.
- CFE V6700-62. (2006). Tableros de protección, control y medición para subestaciones eléctricas.
- CFE V7200-48. (2008). Cargador de baterías-especificaciones.
- CFE-K0000. (2013). Transformadores y auto-transformadores de potencia.
- CMAA. (n.d.). Crane Manufacturers Association of America en su norma No. 70.
- DCDSET01, CFE. (2014). Diseño de subestaciones de transmisión especificación.
- Hoist Manufacturers Institute. (n.d.). Standard Specifications for Electric Chain Hoists, HMI 100. Pensilvania 15238, Pittsburg.
- Hoist Manufacturers Institute. (n.d.). Standard Specifications for Electric Wire Rope Hoists, HMI 100. Pennsylvania, Pittsburg.
- IACS. (n.d.). International Annealed Copper Standard.
- Igor J., K. (n.d.). Centrifugal pump clinic.
- Ion, I, I. (n.d.). Pump and puping.
- IUSA. (n.d.). Línea de equipos de protección y desconexión para alta y media tensión y transformadores.
- Jhon L. Dicmas. (n.d.). Vertical turbine, Mixed flow and Propeller pumps.
- KSB. (2010). Centrifugal pumps.
- Mueller, J. (n.d.). Lessons from Crane Runways. AISC Engineering Journal. Jan.
- NRF-026-C.F.E. (2004). Transformador de potencial.
- NRF-026-C.F.E. (2004). Transformador de corriente
- NRF-004-C.F.E. (2007). Apartarrayos. Transformadores de distribución.
- NRF-003-CFE. (2000). Apartarrayos de óxido metálico para subestación.

NRF-006-CFE. (2002). Aisladores de Suspensión Sintéticos para Tensiones de 13,8 a 138 kV.

NRF-029-CFE. (2006). Corta fusible de distribución.

NRF-196-PEMEX. (2013). Cargador de batería.

Mott- (2006). Mecánica de fluidos

Organización panamericana de la salud. (2005) Guía para el diseño de estaciones de

bombeo de agua potable, proyecto (OPS/CEPIS/05.161 UNATSABAR).

Otto J. H. Verne H. , S., & Joseph C., S. (n.d.). Improving well and pump efficiency. American water works association.

Robert L. Sanks. (n.d.). Pumping station design.

Seale. (n.d.). Filler or Warrington Cable acerado.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 Sección de motor eléctrico	6
Ilustración 2.2 Motores verticales	7
Ilustración 2.3 Diseño NEMAS alto par de rotor y baja corriente a) Nema A, b) Nema B, c) Nema C y d) Nema D	9
Ilustración 2.4 Seccionador fusible trifásico y su presentación	11
Ilustración 2.5 Disyuntor magnético trifásico y su presentación	11
Ilustración 2.6 Distintos modelos de disyuntores magnetotérmicos trifásicos y su representación	11
Ilustración 2.7 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético trifásico y seccionador fusible	13
Ilustración 2.8 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disy untor magnético térmico	13
Ilustración 2.9 Vida promedio aproximada de los devanados de un motor en función de la clase de aislamiento y la temperatura de operación	15
Ilustración 2.10 Temperatura para las distintas clases de aislamiento	16
Ilustración 2.11 Resistencia anti-condensación	19
Ilustración 2.12 Chumacera y rodamiento	20
Ilustración 2.13 Subestación	57
Ilustración 2.14 Cuarto de control eléctrico en un nivel	59
Ilustración 2.15 Cuarto de control eléctrico en dos nivel	59
Ilustración 2.16 Subestación SF ₆	61
Ilustración 2.17 Transformador de distribución y transformador de potencia resistencia anti-condensación	81
Ilustración 2.18 Transformador de distribución	82
Ilustración 2.19 Transformador de potencia	82
Ilustración 2.20 Interruptor	96
Ilustración 2.21 Aislador tipo suspensión con acoplamiento de horquilla - ojo	114
Ilustración 2.22 Aislador con acoplamiento calavera y bola (perfil normal y anticontaminación)	114
Ilustración 2.23 Cuchillas de CFE	117
Ilustración 2.24 Cuchilla tripolar	119
Ilustración 2.25 Cuchilla unipolar o monopolar	119
Ilustración 2.26 Cuchilla de apertura vertical (TTR6) para distribución y transmisión	119
Ilustración 2.27 Cuchilla de apertura lateral central (DRV) para distribución y transmisión	119
Ilustración 2.28 Cuchilla de doble apertura lateral central	119

Ilustración 2.29 Cuchilla COGC	119
Ilustración 2.30 Tableros de media y baja tensión	131
Ilustración 2.31 Tableros de media tensión	131
Ilustración 2.32 Variador de velocidad	144
Ilustración 2.33 Características constructivas de un cable de media tensión	159
Ilustración 2.34 Conductores de interruptor principal	159
Ilustración 2.35 Transformador de instrumentos TC	189
Ilustración 2.36 Límite de factor de corrección de la relación FCR y del error de fase. a) Clase 0.3 b) Clase 0.6 c) Clase 1.2 d) Clase de precisión nominales para transformadores de potencial utilizados en medición	196
Ilustración 2.37 Apartarrayos	209
Ilustración 2.38 Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica	211
Ilustración 2.39 Apartarrayos polimérico	211
Ilustración 2.40 Cortacircuito fusible de potencia	217
Ilustración 2.41 Componentes de un cortacircuitos fusible	218
Ilustración 2.42 Cargador de baterías	228
Ilustración 2.43 Banco de baterías	230
Ilustración 2.44 Arrancador	247
Ilustración 2.45 Arrancadores de motores trifásicos	252
Ilustración 2.46 Lámparas fluorescentes	258
Ilustración 2.47 Lámparas de LED	258
Ilustración 2.48 Luminarias	259
Ilustración 2.49 Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso	260
Ilustración 2.50 Ejemplos de curvas fotométricas con su clasificación	262
Ilustración 2.51 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance	262
Ilustración 2.52 Diagrama isocandela para el sistema C- γ	263
Ilustración 2.53 Diagrama polar en el sistema B- β	264
Ilustración 3.1 Tipos de bombas verticales - Rotor suspendido - simple y multietápas	268
Ilustración 3.2 Configuración general de los impulsores de bombas verticales y su velocidad específica	269
Ilustración 3.3 Tipos típicos de impulsores con anillos para bombas verticales	271
Ilustración 3.4 Tipos de bombas de impulsor suspendido	273
Ilustración 3.5 Clasificación de bombas rotodinámicas entre rodamientos	274
Ilustración 3.6 Clasificación de bombas tipo turbina regenerativa	274
Ilustración 3.7 Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)	276
Ilustración 3.8 Terminal de potencia (ensamble de bastidor)	276
Ilustración 3.9 Conjunto extraíble	277
Ilustración 3.10 Posición de carcasa y eje de rotación	278
Ilustración 3.11 Bombas vertical, rotación de la flecha (CW)	278
Ilustración 3.12 Bomba horizontal Rotación de la flecha (CW)	279

Ilustración 3.13 Elevación DATUM para varios tipos de impulsores en su primera etapa	280
Ilustración 3.14 Curva típica de operación para una bomba rotodinámica con baja velocidad específica de diseño	281
Ilustración 3.15 Curva de la bomba contra la curva del sistema	286
Ilustración 3.16 Curva de velocidad - par (en sistema internacional)	290
Ilustración 3.17 Curva de velocidad - par (en sistema ingles)	291
Ilustración 3.18 Salida del impulsor angulada	293
Ilustración 3.19 Bomba sumergible de pozo profundo (VS0)	296
Ilustración 3.20 Bomba vertical de pozo profundo (VS1)	297
Ilustración 3.21 Bomba vertical de una sola etapa o multietapa, conjunto corto de flecha de línea abierta (VS1)	298
Ilustración 3.22 Bomba vertical de flujo mixto de flecha de línea abierta (VS1)	299
Ilustración 3.23 Bomba vertical de doble succión tamaño corto de flecha abierta (VS2)	300
Ilustración 3.24 Bomba vertical con impulsor de flujo axial (propela), flecha cubierta, configuración de descarga debajo de piso (VS3)	301
Ilustración 3.25 Bombas verticales de una etapa o multietapas de difusor tipo bote o barril (VS6)	302
Ilustración 3.26 Bomba doble succión de una etapa o multietapas tipo barril (VS7)	303
Ilustración 3.27 Bomba vertical de multietapas de voluta o espiral (doble carcasa) tipo barril (VS7a)	304
Ilustración 3.28 Bomba vertical de difusor de carcasa en línea (VS8)	305
Ilustración 3.29 Impulsor suspendido - Acople flexible - Montada sobre marco - Etapa simple (OH0)	306
Ilustración 3.30 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre marco - Etapa simple - Bomba alineada (OH0)	306
Ilustración 3.31 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple (OH1)	307
Ilustración 3.32 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple (OH1)	307
Ilustración 3.33 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple - ASME B73.1 (OH1)	308
Ilustración 3.34 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - autocebante - Etapa simple (OH1A)	308
Ilustración 3.35 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre pedestal - Etapa simple - API 610 (OH2)	309
Ilustración 3.36 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - en línea - Etapa simple (OH3)	309
Ilustración 3.37 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - succión inferior - Etapa simple (OH3A)	309
Ilustración 3.38 Impulsor suspendido - Acople rígido - Vertical - en línea - Etapa simple (OH4)	310
Ilustración 3.39 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - en línea - Etapa simple (se muestra sello y enclaustramiento) (OH5)	310
Ilustración 3.40 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Succión inferior - Etapa simple - Montaje vertical (OH5A)	310

Ilustración 3.41 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Alta velocidad	
- Etapa simple (OH6)	310
Ilustración 3.42 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Horizontal - Succión inferior	
- Etapa simple (OH7)	311
Ilustración 3.43 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Difusor - Succión inferior	
- Etapa simple (OH8A)	311
Ilustración 3.44 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Voluta - Succión inferior	
- Etapa simple (OH8B)	311
Ilustración 3.45 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal -Flujo axial	
- Etapa simple (OH00)	312
Ilustración 3.46 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Axial (BB1)	313
Ilustración 3.47 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Radial (BB2)	313
Ilustración 3.48 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Axial (BB3)	314
Ilustración 3.49 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa simple (BB4)	314
Ilustración 3.50 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa doble (BB5)	315
Ilustración 3.51 Turbina regenerativa - Canal lateral suspendido (RT1)	315
Ilustración 3.52 Turbina regenerativa - Canal periférico (RT2)	316
Ilustración 3.53 Turbina regenerativa - Entre rodamientos - Canal periférico (RT4)	316
Ilustración 3.54 Bomba tubo pitot	317
Ilustración 3.55 Válvulas	324
Ilustración 4.1 Ejemplo de Grúas	331
Ilustración 4.2 Polipasto	334
Ilustración 4.3 Accesorios polipasto	335
Ilustración 4.4 Gancho y sujeciones de la carga	336
Ilustración 4.5 Eslingas tipo cable	336

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Letras de código de indicación para rotor bloqueado	20
Tabla 2.2 Tensiones eléctricas normalizadas	21
Tabla 2.3 Conductor del secundario	22
Tabla 2.4 Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños “a” y “b”, 60 Hz en porciento del par a carga plena	22
Tabla 2.5 Valores mínimos de par de arranque (a rotor bloqueado) para motores; diseños “A” y “B” a 60 Hz en por ciento del par a plena carga	23
Tabla 2.6 Valores máximos de la corriente de arranque en amperes, a 220 volts y 60 Hz	24
Tabla 2.7 Par de rotor bloqueado de motores monofásicos	25
Tabla 2.8 Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna	25
Tabla 2.9 Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos)	26
Tabla 2.10 Selección de medios de protección y control para motores monofásicos sumergibles	27
Tabla 2.11 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador	28
Tabla 2.12 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador	29
Tabla 2.13 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna	30
Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles. Tipo 4	31
Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6)	33
Tabla 2.16 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 8)	35
Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador	36
Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros	44
Tabla 2.19 Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento de motores de corriente alterna, trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373 kW	51
Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales	51
Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados	52
Tabla 2.22 Clasificación del tipo de aislamiento de motores	54
Tabla 2.23 Clasificación de los materiales de aislamiento por su temperatura	54

Tabla 2.24 Velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos, fraccionarios e integrales	55
Tabla 2.25 Velocidades síncronas en r/min para motores	55
Tabla 2.26 Servicio por régimen de tiempo	55
Tabla 2.27 Condiciones de servicio	77
Tabla 2.28 Valores de pruebas dieléctricas y características nominales	77
Tabla 2.29 Corrientes de operación y de interrupción	78
Tabla 2.30 Tensiones para las funciones de control	79
Tabla 2.31 Tensiones para alimentación de motores	79
Tabla 2.32 Tensiones para resistencias calefactoras	79
Tabla 2.33 Eficiencias mínimas en porcentaje, permitidas en transformadores de distribución	88
Tabla 2.34 Impedancia referida al devanado primario del transformador de potencia	88
Tabla 2.35 Valores límites de impedancia	88
Tabla 2.36 Valores límites de impedancia monofásicos	89
Tabla 2.37 Niveles de aislamiento para transformadores de potencia clase II	90
Tabla 2.38 Niveles de aislamiento dieléctrico para transformador tipo seco utilizados en sistemas (60Hz) con NBAI de 200kV y menores	91
Tabla 2.39 Capacidades normalizadas para transformadores de potencia	91
Tabla 2.40 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 metros sobre el nivel del mar	91
Tabla 2.41 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m, para transformadores sumergidos en líquido aislante	92
Tabla 2.42 Factores de corrección de los kVA para altitudes mayores de 1 000 m	92
Tabla 2.43 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m	92
Tabla 2.44 Límites de elevación de temperatura	92
Tabla 2.45 Factores de corrección para la rigidez dieléctrica	93
Tabla 2.46 Distancia de fuga para boquillas de transformadores de distribución y potencia	93
Tabla 2.47 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores monofásicos	93
Tabla 2.48 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores trifásicos mayores de 150 kVA tipo subestación	94
Tabla 2.49 Características de interruptores en baja tensión con dispositivo de activación (disparo) instantáneo	104
Tabla 2.50 Características de interruptores en baja tensión, sin dispositivo de activación (disparo) instantáneo	105
Tabla 2.51 Límites de temperatura y elevación para partes, materiales y dieléctricos en interruptores de baja tensión en aire	106
Tabla 2.52 Factor de corrección de tensión	106
Tabla 2.53 Factor de corrección de corriente	106
Tabla 2.54 Factores de corrección de tensión	106
Tabla 2.55 Factores de corrección de corriente	107

Tabla 2.56 Clase y forma de onda de sobretensión, formas de tensiones normalizadas y pruebas de tensión de aguante normalizada	109
Tabla 2.57 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 254 \text{ kV}$)	110
Tabla 2.58 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría II ($U_m > 254 \text{ kV}$)	111
Tabla 2.59 Características eléctricas, mecánicas y dimensionales	115
Tabla 2.60 Componentes de Ilustración 2.20	122
Tabla 2.61 Capacidades eléctricas (corrientes nominales y momentáneas)	122
Tabla 2.62 Corrientes nominales y momentáneas	123
Tabla 2.63 Corrientes nominales y de corta duración de 1 segundo, para servicio interior y exterior	123
Tabla 2.64 Factor de corrección por altitud	123
Tabla 2.65 Especificación de cuchillas unipolar y monopolar CFE	124
Tabla 2.66 Especificación de cuchillas tripolar CFE	125
Tabla 2.67 Cuchilla TTR6 para distribución hasta 25.8 kV	126
Tabla 2.68 Cuchilla TTR6 para sistema de transmisión	127
Tabla 2.69 Cuchillas DRV para distribución	128
Tabla 2.70 Cuchilla COGC	129
Tabla 2.71 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica americana	145
Tabla 2.72 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica europea	145
Tabla 2.73 Tensiones nominales, niveles de aislamiento y valores de prueba dieléctrica para tableros de 15 kV a 38 kV	146
Tabla 2.74 Valores nominales de corriente en barras colectoras y alimentadores	146
Tabla 2.75 Grados de protección	146
Tabla 2.76 Características de selección de cortocircuitos en aire para tableros en media tensión	147
Tabla 2.77 Componentes normales y opcionales de una subestación compacta	148
Tabla 2.78 Dimensiones de los gabinetes y transformadores	148
Tabla 2.79 Características eléctricas principales de las subestaciones compactas	149
Tabla 2.80 Espacios mínimos necesarios ocupados por diferentes combinaciones de equipo en cm	150
Tabla 2.81 Corrientes y capacidades máximas para arrancadores utilizados en cm, según designación NEMA	150
Tabla 2.82 Tamaños combinados de interruptores y arrancadores para motores trifásicos, empleados	151
Tabla 2.83 Datos de aplicación de interruptores electromagnéticos	152
Tabla 2.84 Características de interruptores para tableros de alumbrado y distribución	153
Tabla 2.85 Tensiones de operación	154
Tabla 2.86 Identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores	154
Tabla 2.87 Identificación por Arreglo de Barras	154
Tabla 2.88 Identificación por equipo de Monitoreo y Medición	154
Tabla 2.89 Identificación por tipo de construcción	154
Tabla 2.90 Límites de elevación de temperatura	155
Tabla 2.91 Factores de corrección por altitud	155
Tabla 2.92 Descripción de diferentes tipos de cajas y gabinetes designación NOM	156
Tabla 2.93 Equivalencias entre gabinetes	157

Tabla 2.94 Aislamientos y usos, para cables de energía	166
Tabla 2.95 Capacidad de conducción de corrientes en amperes de conductores aislados de 0 a 2 000 V, 60°C a 90°C en canalización o directamente enterrados para una temperatura ambiente de 30°C	167
Tabla 2.96 Factores de corrección basados en temperatura ambiente 30°C	168
Tabla 2.97 Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C	169
Tabla 2.98 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 ° C	170
Tabla 2.99 Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C.	170
Tabla 2.100 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 °C	171
Tabla 2.101 Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C	171
Tabla 2.102 Factores de corrección para conductores aislados al aire libre	172
Tabla 2.103 Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración tríplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C.	172
Tabla 2.104 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado mono conductor, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C	173
Tabla 2.105 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado, conductor de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C	173
Tabla 2.106 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de cobre, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C	173
Tabla 2.107 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C	174
Tabla 2.108 Capacidad de conducción de corriente de un cable triplex o de tres cables cobre, en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°	174
Tabla 2.109 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de cobre en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 150°C y para temperatura ambiente de 40°C	175
Tabla 2.110 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de aluminio en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C	175

Tabla 2.111 Capacidad de conducción de corriente de tres cables aislados mono conductores de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres cables por ducto), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C	176
Tabla 2.112 Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperatura del conductor de 90 °C	177
Tabla 2.113 Ampacidad de tres conductores de aluminio, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	178
Tabla 2.114 Ampacidad de tres conductores de cobre aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	179
Tabla 2.115 Ampacidad de tres conductores de aluminio aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	180
Tabla 2.116 Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C	181
Tabla 2.117 Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	182
Tabla 2.118 Ampacidad de tres conductores de cobre, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	183
Tabla 2.119 Ampacidad de tres conductores de aluminio, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C	184
Tabla 2.120 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos	185
Tabla 2.121 Comparación de características entre cobre y aluminio	185
Tabla 2.122 Pantalla de cintas vs pantalla de alambres	185
Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts	186
Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)	187

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)	188
Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial	200
Tabla 2. 124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)	201
Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)	202
Tabla 2.125 Transformadores de corriente relaciones de transformación	203
Tabla 2.126 Cargas nominales de precisión usuales para transformadores de potencial	204
Tabla 2.127 Clase de precisión para protección, en transformadores de corriente	204
Tabla 2.128 Cargas nominales para transformadores tipo boquilla, ventana para protección y medición con corriente nominal secundaria de 5 amps	205
Tabla 2.129 Consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente	206
Tabla 2.130 Datos de ejemplo de medición	206
Tabla 2.131 Datos de ejemplo de relevador	206
Tabla 2.132 Datos de fabricante	207
Tabla 2.133 Límite del incremento de temperatura en los devanados, según su clase de aislamiento, referidos a una altura de 1000 m.s.n.m., en transformadores de corriente	207
Tabla 2.134 Factores de corrección para altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m.	207
Tabla 2.135 Factores de corrección para las elevaciones de temperatura en altitudes superiores a 1 000 m. sobre el nivel del mar, en transformadores de corriente	208
Tabla 2.136 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 m sobre el nivel del mar (transformadores de potencial)	208
Tabla 2.137 Tensiones para apartarrayos	213
Tabla 2.138 Características eléctricas del apartarrayos	213
Tabla 2.139 Tensión de aguante al aislamiento	214
Tabla 2.140 Descarga de línea en apartarrayos de 20 000 A y 10 000A	215
Tabla 2.141 Impulso de corriente de larga duración en apartarrayos de 5 000 A y 2 500 A	215
Tabla 2.142 Distancias de fugas recomendados	216
Tabla 2.143 Características de operación de los cortacircuitos fusible	221
Tabla 2.144 Factores de corrección por altitud	222
Tabla 2.145 Capacidad para protección de corto circuito de transformadores, capacidades mínimas recomendadas	223
Tabla 2.146 Elevación de temperatura para componentes y materiales	224
Tabla 2.147 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)	225

Tabla 2.148 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)	226
Tabla 2.149 Tensiones nominales de salida para baterías de níquel-cadmio	234
Tabla 2.150 Tensiones nominales de alimentación de cargadores de baterías	234
Tabla 2.151 Eficiencia de cargadores de batería	234
Tabla 2.152 Clases de ciclos de operación	236
Tabla 2.153 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo (de acuerdo con la norma IEC 60099-1)	244
Tabla 2.154 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo que tiene una relación de la tensión de chispeo a la tensión asignada menor que la indicada en la norma IEC 60099-1	245
Tabla 2.155 Tamaño de terminales	253
Tabla 2.156 Arrancadores para motores jaula de ardilla	254
Tabla 2.157 Tipos de envolvente	255
Tabla 2.158 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores monofásicos	256
Tabla 2.159 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores trifásicos	256
Tabla 2.160 Clasificación por tipo de las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas (LFCA)	265
Tabla 2.161 Relación de temperatura de la envolvente del balastro versus tiempo	265
Tabla 2.162 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra)	266
Tabla 2.163 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra)	266
Tabla 2.164 Clasificación EN-60598 contra impactos mecánicos	266
Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrifugas en orden alfabético	318
Tabla 3.2 Equivalencia entre Normas DIN y ANSI	325
Tabla 4.1 Velocidades de funcionamiento sugerida en (m/min) para grúas controladas desde el piso	337
Tabla 4.2 Definición de CMAA para clase de servicio de grúas en términos de clase de carga y ciclos de carga	337

ÍNDICE ALFABÉTICO

- Aguante al impulso de corriente de larga duración 210
- Aguante del aislamiento 210
- Aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado 112
- Aislamientos 164
- Análisis de puesta en marcha y apagado 287
- Aparejo para todos los tipos 335
- Apartarrays de óxido metálico 209
- Banco de baterías 230
- Bancos y cargadores de baterías 227
- Banda de tiempo 98
- Bombas dimensionalmente intercambiables 275
- Bombas rotodinámicas centrifugas 272
- Bomba vertical rotodinámica 267
- Capacidad, claro e izaje 331
- Capacidad interruptiva 246
- Cargadores de baterías 227
- Clase de aislamiento 15
- Clase de enfriamiento 83
- Clase de Precisión 192
- Clasificación de grúas 331
- Consideraciones para el NPSH marginal 293
- Coordinación de aislamiento 107
- Corriente de descarga nominal 210
- Corriente interruptiva 218
- Corriente nominal 95
- Corrientes interruptivas de corto circuito 97
- Corrosión y erosión en bombas de turbina vertical 325
- Cortacircuitos fusible 217
- Cuchilla de doble apertura lateral central (TTT-7) 121
- Cuchillas seccionadoras en aire 116
- Curvas del sistema contra curva de bomba 285
- Curva velocidad - par de bomba y motor 288
- Definición de bomba rotodinámica centrifuga 272
- Definición de bomba vertical rotodinámica 267
- Eficiencia de motores de corriente alterna trifásicos de inducción 12
- Enclaustramiento 13
- Equipos auxiliares de control 235
- Factor de servicio 16
- Flujo Axial 267
- Flujo Mixto 267
- Flujo radial 267
- Grados de protección 132
- Grúas 330
- Instrumentos de gestión 1
- Interruptores 95
- Introducción a la clasificación de bombas 285
- Lámparas de alta eficiencia 257
- Lámparas de diodo emisor de luz (led) 257
- Lámparas fluorescentes 257
- Listado de normas para selección de equipo y materiales electromecánicos 347
- Luminarias 258
- Materiales para bombas verticales rotodinámicas 328
- Motores 5
- Nivel básico al impulso 117
- Nivel de contaminación 210
- Niveles de Ruido 293
- Nomenclatura de bombas centrifugas 317
- Polipasto 330
- Posición de la carcasa 277
- Presiones de bombeo 283
- Punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP) 281
- Recubrimientos protectores 328
- Relación de transformación 191
- Rendimiento de la bomba, criterios de selección 285
- Requisitos del sistema de bombeo 285
- Resistencia eléctrica 161
- Rotación de la flecha 278

Rotor descubierto y conjunto rotatorio 275
 Secuencias de operación 99
 Selección de accesorios 335
 Selección de arrancadores 246
 Selección de Conductores 143
 Selección de grúas 329
 Selección de Polipastos 334
 Selección de tableros 122
 Subestación blindada en gas SF₆ 60
 Subestaciones abiertas 58
 Subestaciones compactas 60
 Subestaciones unitarias 76
 Subestación intemperie en cuadro de estructura metálica 60
 Subestación intemperie en marco de estructura metálica 60
 Subestación intemperie en poste o marco de postes 58
 Tableros de transferencia 142
 Tamaño de una bomba rotodinámica centrífuga 275
 Tensión y sobretensiones 107
 Tipo de alambrado 250
 Tipo de alimentación 80
 Tipo de arranque 248
 Tipo de bloqueo 250
 Tipo de subestación 56
 Tipos de bombas centrifugas 272
 Tipos de cuchillas 120
 Tipos de envolvente 251
 Tipos de equipos o dispositivos 235
 Transformadores de distribución y potencia 80
 Transformadores de instrumentos 189
 Transitorios hidráulicos 286
 Tubería 324
 Tubería de acero 324
 Tubería plástica 325
 Válvulas 323
 Variadores e inversores 143
 Velocidad 279
 Velocidades de operación 333
 Velocidad específica 284
 Velocidad específica de succión 284
 Velocidad específica y velocidad específica de succión 284
 Velocidad síncrona 16



