



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación**

"CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN MOTOR Y CONTROLES  
ELECTRICOS COMO PREVENCION DE RIESGOS EN LA INDUSTRIA"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACION

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION POTENCIA

Presentado por:

MIGUEL GEOVANNY QUIÑONEZ ESPAÑA

Guayaquil - Ecuador

2010

## **DEDICATORIA**

*A Dios por ser la fortaleza y la compañía que  
necesité todos los momentos a lo largo de mis  
años de estudio.*

*A mis Padres por brindarme la confianza y  
tener la paciencia necesaria a lo largo de toda  
mi vida, por ser esos seres ejemplares y  
símbolos de mi inspiración cada día.*

*A mis hermanos por brindarme ese apoyo que  
necesité en momentos de flaqueza.*

*A las familias Camacho y Mosquera Ruiz por  
abrirme las puertas para realizar mis estudios  
en esta prestigiosa Institución.*

*A todos mis amigos que a lo largo de mi  
carrera conocí y que de una u otra manera me  
ayudaron para poder culminarla con éxito.*

*A esas personas que a lo largo de mi vida  
universitaria fueron obstáculos que gracias a la  
ayuda de Dios y mis seres queridos los pude  
superar con inteligencia y fortaleza.*

**Miguel Quiñónez España**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por darme el privilegio de vivir y la fortaleza necesaria para poder culminar mi carrera con mucho esfuerzo y paciencia, a El por estar siempre a mi lado.*

*A mis Padres por brindarme el apoyo y la paciencia durante todos estos años de estudio.*

*A mis hermanos por la confianza que me brindaron día a día.*

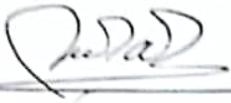
*A mi director de Tesis Ing. Juan Gallo Galarza por el apoyo brindado, por sus conocimientos enseñados para la correcta elaboración de el presente trabajo.*

*A los ingenieros Jorge Flores y Washington Medina por la confianza y consejos que me brindaron desde el primer día que ingresé a la institución.*

*A todos aquellos que de una u otra manera pusieron un granito de arena para llegar a la meta anhelada.*

**Miguel Quiñónez España**

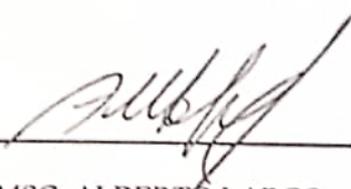
**TRIBUNAL DE SUSTENTACION**



---

**ING. JUAN GALLO GALARZA**

**PROFESOR DE LA MATERIA**



---

**MSC. ALBERTO LARCO**

**DELEGADO DEL DECANO**

## DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad del contenido e ideas de este proyecto corresponde exclusivamente a la autora; y el patrimonio intelectual del mismo a la "Escuela Superior Politécnica del Litoral" (Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



---

MIGUEL GEOVANNY QUIÑONEZ ESPAÑA

# INDICE GENERAL

	<b>PG</b>
<b>1. NORMAS DE APLICACIÓN</b>	<b>19</b>
1.1. Normas referentes a motores eléctricos	19
1.2. Normas referentes a dispositivos de control y protección para motores eléctricos	23
<b>2. METODOLOGIAS DE APLICACIÓN</b>	<b>28</b>
2.1. Factores externos eléctricos directos e indirectos que intervienen en el funcionamiento del motor	29
2.1.1. La corriente como factor externo eléctrico del motor	30
2.1.2. El voltaje como factor externo eléctrico del motor	30
2.1.3. El número de fases como factor externo eléctrico del motor	30
2.1.4. La frecuencia como factor externo eléctrico del motor	32
2.1.5. La potencia eléctrica como factor externo eléctrico del motor	33
2.1.6. Efectos de posibles variaciones en los factores externos para el funcionamiento del motor eléctrico fuera de sus valores nominales o de seguridad	34
2.1.6.1. Variaciones de corriente	34
2.1.6.2. Variaciones de tensión	35
2.1.6.3. Variaciones de frecuencia	36
2.1.6.4. Variaciones de potencia eléctrica de entrada	37
2.2. Factores internos directos e indirectos que intervienen en el funcionamiento del motor	37
2.2.1. Factor de potencia como factor interno eléctrico que interviene	

en el funcionamiento del motor	38
2.2.2. Temperatura como factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor	40
2.2.2.1. Alambres como elemento que intervienen directa e indirectamente e la temperatura del motor	42
2.2.2.2. Materiales de impregnación como elemento que intervienen directa e indirectamente en la temperatura del motor	44
2.2.2.3. Materiales de aislamiento como elemento que interviene directa e indirectamente en la temperatura del motor	46
2.2.3. Efectos de las variaciones en los factores internos para el funcionamiento del motor eléctrico fuera de sus valores nominales o de seguridad	48
2.2.3.1. Variaciones en el factor de potencia	48
2.2.3.2. Variaciones en la temperatura	49
2.2.3.3. Variaciones en los alambres	50
2.2.3.4. Variaciones en los materiales de impregnación	51
2.2.3.5. Variaciones en los materiales de aislamiento	51
2.3. Otros factores directos e indirectos que intervienen en el funcionamiento del motor	52
2.3.1. Los transientes eléctricos	52
2.3.2. Las condiciones del ambiente	53
2.3.3. La alineación del eje	56
2.3.4. El desbalance de voltajes y corrientes	56

2.3.5. La carga a moverse	61
2.4. Importancia y características de la clasificación NEMA de motores eléctricos para la industria	62
<b>3. PELIGROS Y RIESGOS ELECTRICOS</b>	<b>65</b>
3.1. Aparición de chispas en el motor eléctrico	67
3.1.1. Causas de chispas en el arranque del motor	67
3.1.2. Causas de chispas durante el funcionamiento estable del motor	68
3.2. Calentamiento en el motor	71
3.2.1. Causas de calentamiento en el arranque del motor	71
3.2.2. Causas de calentamiento durante el funcionamiento estable del motor	71
3.3. Criterios para la selección de un motor como prevención de riesgos eléctricos	74
3.3.1. Tipo de sistema con el que cuenta la empresa	74
3.3.2. Voltaje dentro de las instalaciones de la empresa	75
3.3.3. Frecuencia	75
3.3.4. Condiciones del ambiente de trabajo del motor	76
3.3.5. Carga a mover por el motor	76
3.3.6. Tipo de arranque del motor	77
3.3.7. Velocidad de trabajo del motor	77
3.4. Posibles consecuencias y problemas en el elección errónea de un criterio de la selección de un motor eléctrico	78
3.4.1. Selección errónea del número de fases	78
3.4.2. Selección errónea de la tensión	78
3.4.3. Selección errónea de la frecuencia	79
3.4.4. Selección errónea acorde a las condiciones ambientales de la	

zona de trabajo de la máquina	79
3.4.5. Selección errónea de la potencia	81
3.4.6. Selección errónea de la velocidad	81
3.5. Otro tipo de averías de motores	83
3.5.1. Servicio de corta duración	83
3.5.2. Servicio intermitente	83
3.5.3. Protección contra averías	83
3.5.4. El motor funciona en forma irregular	84
3.5.5. El motor no arranca	85
3.5.6. Motor trifásico arranca con dificultad y disminución de velocidad al ser cargado	85
3.5.7. Motor trifásico o lo hace con dificultad en la conexión estrella	85
3.5.8. Motor trifásico se calienta rápidamente	85
3.5.9. El estator se calienta y aumenta la corriente	86
3.5.10. Motor se calienta excesivamente pero en proceso lento	86
<b>4. MECANISMOS DE PROTECCION Y CONTROL DE SEGURIDAD</b>	<b>87</b>
4.1. Selección de dispositivos de protección y control para motores eléctricos	87
4.1.1. Protección contra el bajo voltaje	89
4.1.2. Protección contra la reconexión automática del sistema de distribución	91
4.1.3. Protección contra desbalances de voltaje	92
4.1.4. Protección contra la pérdida de una fase	92
4.1.5. Protección contra la inversión de fase	93
4.1.6. Protección contra sobrecorriente	94

4.1.7. Protección contra sobrecarga	95
4.2. Criterios de selección de controles y protecciones para motores eléctricos	98
4.2.1. Tipo de corriente, tensión de alimentación y la frecuencia	98
4.2.2. Potencia nominal de la carga	99
4.2.3. Condiciones de servicio	99
4.2.4. Tipo de circuito	100
4.2.5. Categoría de empleo	100
4.3. Posibles consecuencias y problemas en la selección errónea de un dispositivo de protección o control	101
4.3.1. Selección errónea del tipo de corriente, tensión de alimentación o frecuencia	101
4.3.2. Selección errónea la potencia nominal de la carga	102
4.3.3. Selección errónea de la condición de servicio	102
4.3.4. Selección errónea del tipo de circuito	102
4.3.5. Selección errónea de la categoría de empleo	103
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>104</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>119</b>

## INDICE DE ANEXOS

		<b>PG</b>
ANEXO N° 1	Etapas de la falla en una bobina	108
ANEXO N° 2	Diferentes tipos de fallas y sus posibles causas	110
ANEXO N° 3	Tropicalización	114
ANEXO N°4	Cuadro resumen de las condiciones adversas que afectan los motores	118

## INDICE DE FIGURAS

		<b>PG</b>
Figura 2.1	Motores eléctricos	28
Figura 2.2	Triángulo de potencia	38
Figura 2.3	Fotografía Termográfica de un motor eléctrico	40
Figura 2.4	Rollo de alambre de cobre	42
Figura 2.5	Barniz eléctrico	44
Figura 2.6	Materiales de aislamiento como elemento que interviene directa e indirectamente en la temperatura del motor	46
Figura 2.7	Varias Carcasas de motores eléctricos	55
Figura 4.1	Relé térmico de bajo voltaje	90
Figura 4.2	Protector contra la reconexión automática del sistema de distribución	91
Figura 4.3	Relé de pérdida de fase	93

Figura 4.4	Relé de inversión de fase	94
Figura 4.5	Relé de sobrecorriente	95
Figura 4.6	Relé de sobrecarga	96
Figura 4.7	Contactador eléctrico	98

## INDICE DE TABLAS

		<b>PG</b>
Tabla 1.1	Conversión de corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado para motores polifásicos	26
Tabla 2.1	Efectos de la variación del voltaje en motores eléctricos	36
Tabla 2.2	Características del cobre a las temperaturas admisibles en diferentes clases de aislamiento	43
Tabla 2.3	Clasificación de los materiales aislantes por su temperatura	47
Tabla 2.4	Clasificación IP	54
Tabla 2.5	Variación de temperatura debido al desbalance de voltaje	60
Tabla 2.6	Otras consecuencia del desbalance de voltaje	61
Tabla 2.7	Clasificación NEMA de los motores por su diseño y par de arranque	63
Tabla 3.1	Principales fuentes de chispas y calentamientos en motores eléctricos	66

# INTRODUCCION

Los motores eléctricos son una de las bases más importantes de la industria de hoy en día, en casi todos los procesos industriales los motores forman parte importante y sin ellos estos procesos serían imposibles de operar o se realizarían de manera lenta el proceso de toda la industria. De aquí radica la importancia al momento de elegir un motor eléctrico de manera adecuada tomando en cuenta los criterios adecuados.

Este trabajo ha sido realizado para tomar en cuenta ciertos detalles o datos que no son incluidos al momento de realizar el dimensionamiento de un motor ya sea para una instalación nueva como para una instalación antigua. El proyecto se basa en normas eléctricas como las normas NEC<sup>1</sup>, NEMA<sup>2</sup>, EN<sup>3</sup> y NFPA<sup>4</sup> todas ellas provienen de las normas de seguridad industrial, para evitar de esta manera problemas de índole eléctrico y realizar nuestra selección dentro de los parámetros de seguridad industrial adecuados y así poder evitar ciertos incidentes dentro del área de trabajo y de la industria en general. Dichas normas son las que rigen tanto en el diseño como en la construcción de motores, pero principalmente en la instalación y selección de los motores eléctricos e indican su adecuada utilización y protección.

NEMA es el organismo responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad a nivel de los Estados Unidos para fabricantes de equipos eléctricos, y en nuestro caso de los motores eléctricos.

---

<sup>1</sup> NEC: National Electrical Code

<sup>2</sup> NEMA: National Electrical Manufacturer Association

<sup>3</sup> EN: EUROPEAN NORMS

<sup>4</sup> NFPA: National Fire Protection Association

NEC es un estándar estadounidense para la instalación segura de alumbrado y equipos eléctricos, este organismo no sólo se preocupa por maximizar la seguridad pública, la prevención de emergencias sino también la protección de los trabajadores eléctricos.

EN es un conjunto de normas que rigen principalmente en el continente europeo , NFPA es una organización creada en Estados Unidos, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados tanto por bomberos, como por personal el encargado de la seguridad.

Los factores considerados en la selección de los motores no han sido únicamente eléctricos sino también aquellos relacionados con el ambiente de trabajo y ciertas partes mecánicas, incluidas en este trabajo. Este trabajo tiene como objetivo de relacionar los requisitos de seguridad industrial con los eléctricos pero no tan sólo como en ciertos textos se encuentran que únicamente abarcan los factores eléctricos sino otros factores como el ambiente de trabajo, altura de ubicación del motor, vibraciones, entre otros. Actualmente con el avance de la tecnología, los ingenieros han ido descubriendo estos factores y su importancia para la vida útil del motor.

A lo largo de este trabajo se obtendrá la información base necesaria para determinar de manera correcta los criterios tanto para motores eléctricos, así como también para controles y protecciones de los motores.

Iremos avanzando desde las normas en las que se basa el presente trabajo, donde mostraremos una breve explicación de cada una de las normas. Posteriormente procederemos a estudiar los diferentes factores que afectan a los motores y sus respectivas consecuencias a corto, mediano y largo plazo. A continuación revisaremos los peligros y riesgos de diferente índole que se pueden presentar en los motores, y dentro del mismo capítulo procederemos a indicar los criterios para la selección de un motor, así como también las posibles consecuencias que se presentarán al realizar la elección errónea de uno de los criterios. Al final de este capítulo podremos una guía base para diferentes problemas que pueden presentarse en los motores eléctricos con sus posibles causas más comunes.

Este trabajo finaliza con los principales tipos de fallas que se pueden presentar en los motores eléctricos y mecanismos de protección y control. En el mismo capítulo se encuentran incluidos los criterios para selección de los controles eléctricos para motores trifásicos.

La importancia de este trabajo radica en la inclusión de los factores eléctricos que afectan a un motor y sus controles debido a las repercusiones de los nuevos factores que se han presentado ya sea por nuevos equipos que se han añadido a los sistemas, al igual que las diferentes áreas de utilización donde hoy en día se instalan motores eléctricos, la ubicación del motor, el tipo de carga que va a mover el motor y el control a proteger, entre otros. También dentro de cada uno de los factores se indican las relaciones entre uno y otro así como lo que puede ocurrir en el caso que exista algún error o falla de algún tipo dentro de la máquina e incluso en el sistema que lo

alimenta. Sin enfocarnos simplemente en el problema directo que ocasionaría tanto al motor o control sino también en otros elementos, como por ejemplo hacia los conductores, personal, sistema, etc.

# CAPITULO 1

## 1. NORMAS DE APLICACIÓN

Las normas que son utilizadas como bases para el siguiente trabajo han sido divididas en dos partes, la primera trata sobre las normas que se aplican directamente a motores eléctricos trifásicos, la segunda parte son las normas que se han aplicado en cuanto a lo referente a controles y protecciones para motores eléctricos.

### 1.1. NORMAS REFERENTES A MOTORES ELÉCTRICOS

En primer lugar los motores de los cuales haremos uso como referente o base en este trabajo son los motores trifásicos jaula de ardilla, porque es el tipo de motor de uso común en la industria ecuatoriana.

**Identificación de motores:** todo motor eléctrico debe poseer una placa donde posea los datos de diseño y funcionamiento del mismo, el mismo que es proporcionado por el fabricante, comúnmente vienen impresos en placas metálicas de fácil acceso visual para el operario. Dentro de esta placa los datos según la norma NEC 430 inciso 7 que

tienen que estar presente son: nombre del fabricante, voltaje, corriente de operación, revoluciones por minuto de la máquina, temperatura máxima de operación o en su caso clase de aislamiento de diseño del motor, frecuencia, potencia máxima (para motores mayores a 1/8HP debe ser expresada en KW), para motores mayores de 1/2HP el código de rotor bloqueado, letra de diseño de la máquina, entre otros datos.

**Letra de diseño de la máquina:** es un dato proporcionado por el fabricante, que se encuentra impreso como referente importante en la placa del motor. Todo diseño y construcción de un motor eléctrico se rige a especificaciones que fueron determinadas por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, conocido por sus siglas en inglés como NEMA, organismo que se han encargado de definir en 4 diseños estándares especificados por las letras A, B, C, y D. Clasificación extraída de la norma NEMA MG inciso 6 tabla 3 del año 2001 revisión del año 2007, las misma que trata todo sobre lo referente a motores y generadores, en nuestro caso en particular se refiere al diseño de motores basado en la relación entre la velocidad y el par motor desarrollado.

Cada uno de los diseños de estos motores posee características particulares que difieren uno de otro. A continuación procederemos a dar un pequeño resumen sobre las características de cada diseño determinado por el NEMA.

El motor clase A es un motor de jaula de ardilla normal o estándar, fabricado para uso a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para una muy buena

disipación de calor. El par de arranque<sup>5</sup> es relativamente alto, y la baja resistencia del rotor produce una aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.

Este diseño posee la mejor regulación de velocidad, pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces en la corriente nominal normal, haciéndolo menos deseable para arranque con línea, en especial en los tamaños grandes de corriente que sean indeseables.

A los motores de clase B a veces se les llama motores de propósito general; es muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par. Este aumento reduce un poco el par y la corriente de arranque.

Las corrientes de arranque varían entre 4 y 5 veces la corriente nominal, en los tamaños mayores de 5 HP se sigue usando arranque a voltaje reducido, los métodos para disminuir la corriente de arranque se los explicará en el subcapítulo 4.2. Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores.

Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

Los motores de clase C tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque. Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

---

<sup>5</sup> Par motor: Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobre calentarse, este se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de tipo de baja inercia.

Las aplicaciones de los motores de clase C se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque, como en bombas y compresores de pistón.

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla clase D se conocen también como de alto par y alta resistencia. Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro. La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores.

El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, encuentra su mayor aplicación con cargas como cizallas o troqueles, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina, la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor. A estos motores también se los conoce como motores de doble jaula y bajo par.

Otra clasificación según norma NEC inciso 430 tabla 7B en conjunto con la norma NEMA MG2 tabla 5 es la que ha sido realizada partir de los diferentes valores de la potencia de rotor bloqueado que también ha sido identificado mediante letras A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, P, R, S, T U, y V. Este tipo dato también se encuentra en las especificaciones de la placa del motor, para motores mayores a ½ HP.

**Corrientes nominales y de fallas:** dependiendo del diseño de cada tipo de máquina y gracias a las normas NEC 430 incisos 150 y 151B, podremos tener un conocimiento

de las corrientes que van a tener los motores eléctricos durante su normal funcionamiento, corriente nominal, y las corriente de rotor bloqueado que serán utilizadas para determinar posteriormente las capacidades de los dispositivos de control y protección. En el inciso 150 encontraremos la tabla de corriente nominal de los motores trifásicos, en cambio el inciso 151B obtendremos las tablas con el valor de corriente de rotor bloqueado dividida por su diseño y su potencia.

**Ubicación de los motores eléctricos:** La ubicación de los motores se encuentra regida por las normas NEC 430 incisos 14 y 16. En donde se indican la importancia y las precauciones al ubicar motores en diferentes zonas, tomando en cuenta si estos pueden ocasionar chispas dentro de ambientes explosivos, con cercanías a líquidos inflamables y a zonas con acumulaciones de polvo como lo especifica la norma NEC 430 inciso 16 *“En lugares donde el polvo o material que flote en el ambiente pueda depositarse sobre el motor o dentro del mismo en cantidades tales que afecten su ventilación o enfriamiento y, por consiguiente, puedan originar temperaturas peligrosas, se deben emplear motores tipo cerrados que no se sobrecalienten al trabajar en esas condiciones”*.

## **1.2. NORMAS REFERENTES A DISPOSITIVOS DE CONTROL Y PROTECCION PARA MOTORES ELECTRICOS**

**Equipos eléctricos y electrónicos para protección y control de los motores eléctricos:** Las normas que se han utilizado como base para este subtema han sido las EN 602040-1 y la NFPA 79. La primera se encarga de describirlos requisitos para el

equipo eléctrico de máquinas e instalaciones. La descripción abarca tanto medidas contra el contacto directo e indirecto de partes bajo tensión como códigos de colores de los conductores y elementos de manejo.

También se aplican normas de construcción del equipo y de los sistemas eléctricos y electrónicos de las máquinas fijas o móviles durante el funcionamiento, incluyendo un grupo de máquinas que trabajan conjuntamente de forma coordinada. La norma que rige estos aspectos es la EN 60204-1.

La segunda norma nos proporciona los requisitos mínimos para todos los componentes electrónicos que se utilizan especialmente en el control y protección de los motores eléctricos de diferentes ámbitos como son la protección contra contactos directos e indirectos, protección contra sobreintensidad, sistemas de puesta a tierra entre otros.

Está regida en sí por la Norma NFPA 79, que se podría decir es una norma equivalente a la EN 60204-1 para el ámbito de los Estados Unidos.

**Identificación de controles y protecciones:** Todo dispositivo de control y protección debe poseer datos específicos que identifique al equipo que se encuentra protegiendo así como también las especificaciones propias del dispositivo según la norma NEC 430 inciso 8 los datos deberán ser: el nombre del fabricante, tensión, corriente, capacidad nominal en KW o en HP, en caso de ser un dispositivo de protección de sobrecorriente deberá especificar las indicaciones completas de protección de

sobrecarga, máxima corriente de cortocircuito, lo mismo se solicita para protecciones de fallas a tierra.

**Tipo de carga a controlar o proteger:** Los dispositivos de control han sido divididos de acuerdo al tipo de carga que van a proteger o controlar, la norma IEC en su inciso 947, dispone de todo lo referente a este tipo de dispositivos y su clasificación de acuerdo al tipo de carga a proteger.

**Capacidades nominales para controles y protecciones:** Estos valores nominales según la norma NEC 430 las ha dividido en dos, dependiendo del tipo de falla que se presente, en sus incisos 31, 32, 35, 39, y 43 trata sobre las disposiciones generales, ubicación y tipo de protecciones que se deben ubicar para diferentes casos para las fallas de sobrecarga para motores eléctricos, en cambio en sus incisos 51 y 52 trata sobre las disposiciones generales, ubicación y ajustes para los dispositivos de protección para cortocircuito en los devanados del motor y para fallas a tierra para uno o varios motores conectados a una misma red.

Para los sistemas de control y sus circuitos las normas NEC en sus incisos 81, 83 y 85, obtendremos todo sobre sus disposiciones generales, capacidades nominales, número máximo de motores que pueden ser controlados por un mismo controlador e incluso el esquema entre un desconectador y portafusible utilizado como controlador del motor. Es decir, todo lo referente a los sistemas de control y sus diferentes ajustes y esquemas.

**Corrientes para ajustes de protecciones:** La norma NEC 430 inciso 151B encontraremos los valores de corriente de rotor bloqueado que toman diferentes clases de motores trifásicos eléctricos como la B, C, D y E en diferentes potencias, las mismas que nos ayudarán a determinar los niveles de ajustes de protección para la máquina. La tabla 151B se presenta a continuación:

TABLA 1.1: Conversión de corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado para motores polifásicos

KW	CP	Corriente eléctrica máxima a rotor bloqueado (2 y 3 fases y diseños B, C, D y E)											
		115V		200V		208V		230V		460V		575V	
		B,C,D	E	B,C,D	E	B,C,D	E	B,C,D	E	B,C,D	E	B,C,D	E
0.37	1/2	40	40	23	23	22.1	22.1	20	20	10	10	8	8
0.56	3/4	50	50	28.8	28.8	27.6	27.6	25	25	12.5	12.5	10	10
0.75	1	60	60	34.5	34.5	33	33	30	30	15	15	12	12
1,12	1-½	80	80	46	46	44	44	40	40	20	20	16	16
1,50	2	100	100	57.5	57.5	55	55	50	50	25	25	20	20
2,25	3			73.6	84	71	81	64	73	32	36.6	25,6	29.2
3,75	5			105.8	140	102	135	92	122	46	61	36,8	48.8
5,60	7-½			146	210	140	202	127	183	63.5	91.5	50,8	73.2
7,50	10			186.3	259	179	249	162	225	81	113	64,8	90
11,2	15			268	388	257	373	232	337	116	169	93	135
14,92	20			334	516	321	497	290	449	145	225	116	180
18,65	25			420	646	404	621	365	562	183	281	146	225
22,4	30			500	775	481	745	435	674	218	337	174	270
29,84	40			667	948	641	911	580	824	290	412	232	330
37,3	50			834	1185	802	1139	725	1030	363	515	290	412
44,8	60			1001	1421	962	1367	870	1236	435	618	348	494
55,95	75			1248	1777	1200	1708	1085	1545	543	773	434	618
74,60	100			1668	2154	1603	2071	1450	1873	725	937	580	749
93,0	120			2087	2692	2007	2589	1815	2341	908	1171	726	936
119,9	150			2496	3230	2400	3106	2170	2809	1085	1405	868	1124
150	200			3335	4307	3207	4141	2900	3745	1450	1873	1 160	1498
187	250									1825	2344	1 460	1875
224	300									2200	2809	1 760	2247
261	350									2550	3277	2 040	2622
298	400									2900	3745	2 320	2996
336	450									3250	4214	2 600	3371
373	500									3625	4882	2 900	3746

Fuente: NEC 430.151B

**Tableros de control:** Podremos encontrar todo lo referente a los diferentes materiales y cómo deben ser construidos los tableros de control, dependiendo del área donde va

a ser empleado, esta disposición se aplica principalmente en áreas peligrosas o especiales tales como refinerías, gasolineras, etc.

## CAPITULO 2

### 2. METODOLOGIAS DE APLICACIÓN

**GRAFICO 2.1: MOTORES ELECTRICOS**



FUENTE: <http://motoreselectricos.wordpress.com>

La fuerza motriz eléctrica es el sistema más práctico y sencillo para el accionamiento dentro de toda planta industrial, debido a ello la industria eléctrica se esfuerza cada vez más en satisfacer la creciente demanda eléctrica, tratando de darle solución a los numerosos problemas técnicos que día a día se presentan en la práctica, diseñando y construyendo motores eléctricos de tipos y características muy variados, con el afán de proveer equipos cada vez más eficientes para cada tipo de trabajo industrial.

El motor eléctrico depende de factores externos que provienen tanto de la red eléctrica principal a la cual va a estar conectado y de la carga o esfuerzo mecánico al cual va a ser sometido, también posee factores internos como la temperatura tanto interna debido a la corriente que por los alambres circulará, tipo de aislamiento y materiales de impregnación así como los materiales ferromagnéticos que constituyen, tipo de ventilación y enfriamiento, entre otros; estos últimos no serán estudiados en el presente trabajo al ser ya estudios específicos de la marca constructora del motor.

## **2.1. FACTORES EXTERNOS ELECTRICOS QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR**

Los factores externos se dividirán en mecánicos y eléctricos. Los factores mecánicos dependerán de la carga a ser movilizada, transportada, agitada, etc. Los eléctricos externos son aquellos que provienen de la red eléctrica externa a la empresa, estos factores están a cargo principalmente de la Empresa Eléctrica de la región y en ciertos aspectos del tipo de cargas que se encuentren dentro del mismo ramal del motor eléctrico; este tipo de cargas en ciertas ocasiones pueden ocasionar ciertas fluctuaciones o interferencias conocidas comúnmente como transientes eléctricos.

Los principales factores eléctricos externos son Corriente, Voltaje, Número de Fases, Frecuencia y por ende Potencia eléctrica.

La mayoría de estos datos están indicados en las fichas técnicas del motor y en su placa, los datos que deben estar dentro de la placa están normalizados según norma NEC 430.7 (a).

### **2.1.1. La Corriente como factor externo eléctrico del motor**

La corriente es la representación del flujo de electricidad desde la fuente hacia el motor eléctrico. La corriente demandada dependerá del tamaño del motor eléctrico, capacidad especificada en la placa del motor, en ciertos casos puede ser mayor o menor a la especificada debido a la carga o voltaje, en ambos casos es cuando están fuera de los parámetros de construcción del motor.

### **2.1.2. El Voltaje como factor externo eléctrico del motor**

El voltaje es el impulso que necesita una carga eléctrica para que puedan fluir por los conductores dentro del motor. El voltaje se encuentra también especificado para cada motor. Debido a este detalle de gran importancia se deberá conectar el motor al nivel de voltaje especificado para no forzar innecesariamente los devanados internos del motor. En el caso de ser conectado en un valor menor, al motor no ingresará la corriente necesaria por lo tanto no podrá realizar el trabajo de manera satisfactoria. En caso de ser conectado a un valor mayor, la corriente que circulará por los devanados será excesiva, también hasta el punto de poder romper el nivel de aislamiento, tanto de los materiales de impregnación como de los aislamientos, ocasionando la inmediata destrucción del mismo dejando fuera de servicio a la unidad.

### **2.1.3. El Número de fases como factor externo eléctrico del motor**

En la industria los sistemas industriales de distribución empleados son el monofásico y el trifásico.

El sistema monofásico normalmente es empleado principalmente en cargas de alumbrado o en fuerzas motrices pero de pequeña potencia para realizar trabajos livianos como por ejemplo, taladros, esmeriles, sierras, etc. En el sistema monofásico, la tensión tiene una sola fase de variación cuyos valores instantáneos sucesivos se pueden representar mediante una sola onda senoidal, siendo su equivalencia gráfica un vector tal, que medido a escala representa el valor eficaz de la tensión. La intensidad de corriente en el circuito se representa por otro vector cuyas características dependerá del circuito, pudiendo estar en fase o no con el vector de tensión.

El sistema trifásico consta de 3 tensiones o corrientes alternas senoidales pero desfasadas entre sí  $120^\circ$ . En lo que respecta a motores trifásicos, éstos están constituidos por tres grupos iguales, cada uno con una o más bobinas que pueden ser conectadas en estrella o en triángulo, espaciadas simétricamente unas de otras alrededor del estator.

El desfaseamiento entre las corrientes trifásicas ocurre durante todo el tiempo que dura su circulación y se denomina, desfaseamiento en el tiempo. A su vez el espaciamiento simétrico de las bobinas en el estator constituye entre sí un desfaseamiento en el espacio de estas bobinas. Por lo tanto al circular las corrientes trifásicas por dichas bobinas, quedarán sometidas a un doble desfaseamiento.

Este doble desfase produce un campo magnético giratorio arrastrando al rotor en la misma dirección, y cuyo sentido de rotación depende de la posición de las bobinas con respecto a las corrientes.

El motor monofásico no puede crear campos giratorios, por lo tanto se recurrió a ciertos artificios eléctricos como, condensadores o reactancias especialmente diseñadas, logrando de esta manera un doble desfase de la corriente monofásica en el tiempo y el espacio.

Un motor trifásico no arranca con corriente monofásica, y si se las dejan las bobinas conectadas por un prolongado tiempo, éstas se calentarán en su afán de mover el rotor ocasionando que la corriente aumente dentro de los bobinados haciendo que estos se quemen.

#### **2.1.4. La frecuencia como factor externo eléctrico del motor**

La frecuencia es la cantidad de ciclos que realiza la señal en un segundo. La frecuencia se mide en Hertzios (Hz). Siendo un ciclo el período después del cual la señal (de corriente o tensión, por ejemplo) vuelve a tener el mismo valor y sentido. Este factor viene determinado por el sistema eléctrico principal (Empresa Eléctrica).

En nuestro país la frecuencia de nuestro sistema es de 60Hz; es decir, 60 ciclos por segundo.

### **2.1.5. La Potencia Eléctrica como factor externo eléctrico del motor**

La potencia eléctrica de manera general es la cantidad de energía eléctrica o trabajo, que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo. Esta potencia en sí incluye tanto la potencia mecánica, como las pérdidas que en este se presenten internamente y que normalmente se reflejan por medio del calor.

La potencia eléctrica es el consumo total del motor para poder realizar su trabajo. Este es el valor que la empresa eléctrica utiliza para conocer el consumo eléctrico del motor y en sí de todos los equipos eléctricos.

La unidad empleada para su representación es el vatio, o sus múltiplos, y se representa por la letra P. Siendo un vatio la potencia que corresponde a un circuito eléctrico en cuyos extremos existe una diferencia de potencial (tensión) de un voltio y es recorrido por una corriente de un amperio de intensidad (estando tensión y corriente en fase). Normalmente la potencia en los motores viene indicada en KW o en HP. Un HP equivale a 0.747 KW o su equivalente a 747W.

### **2.1.6. Efectos de las variaciones en los factores externos para el funcionamiento del motor eléctrico fuera de sus valores nominales o de seguridad.**

Al ser los factores externos antes mencionados de mucha importancia en el funcionamiento idóneo del motor eléctrico, todo valor fuera de sus parámetros, normalmente +/- 10% repercutirán en el trabajo a realizar y vida útil del motor.

Los factores externos antes mencionados fueron la corriente, tensión, frecuencia, potencia y número de fases. La mayoría de las variaciones de estos factores repercuten en la temperatura interna del motor eléctrico deteriorando partes internas y aminorando la eficiencia y potencia del mismo, este tema se lo trata posteriormente en los subcapítulos 2.2.2 y 2.2.3.2 que son referentes a la temperatura y sus variaciones.

#### **2.1.6.1. Variaciones de corriente**

Las variaciones de corriente repercutirán en la potencia misma del motor, aparte de su calentamiento por su estrecha relación con los elementos que la producen, como son los alambres. Todo motor eléctrico puede soportar una variación de alrededor del +/- 10% con respecto al valor de placa, sin que afecte de manera significativa a su potencia. Las variaciones de corriente pueden realizarse dentro de ciertos márgenes propios de cada máquina para fines controlados industriales. Normalmente las variaciones de corriente dentro del sistema eléctrico son provocadas por la aparición de transientes eléctricos. Para poder proteger al motor de corrientes dañinas; es decir,

que se encuentren fuera de los márgenes de seguridad se recomienda la utilización de relés térmicos, creados con este objetivo.

#### **2.1.6.2. Variaciones de tensión**

El comportamiento de un motor se ve afectado cuando el voltaje de alimentación varía con respecto al voltaje nominal. Un motor puede operar satisfactoriamente con una variación de voltaje de +/- 10% con respecto al valor de placa. En caso de que en un motor trifásico por defecto del sistema una fase sea eliminada, el motor seguirá trabajando de manera insuficiente llegando a aumentar su temperatura, corriente y otras características pudiendo ocasionar que el motor se quemara u ocasione un incendio. El mejor control como protección de tensión es un supervisor de fase. Gracias a la tabla 2.1 podremos observar los porcentajes a los cuales pueden verse afectadas otras características del motor debido a la variación de la tensión soportada por el motor.

TABLA 2.1: Efectos en la variación del voltaje en motores eléctricos

<b>EFFECTO EN LAS CARACTERISTICAS CON LAS VARIACIONES DE VOLTAJE</b>		
<b>Características de comportamiento</b>	10% arriba del voltaje nominal	10% abajo del voltaje nominal
<b>Corriente de arranque</b>	+10% a 12%	-10% a 12%
<b>Corriente a plena carga</b>	-7%	+11%
<b>Par del motor</b>	+20% a 25%	-20% a 25%
<b>Eficiencia del motor</b>	Poco cambio	Poco cambio
<b>Velocidad</b>	+1%	-1.5%
<b>Elevación de temperatura</b>	-3°C a 4°C	+6°C a 7°C

FUENTE: Enciclopedia CEAC de electricidad

### **2.1.6.3. Variaciones de frecuencia**

Los motores de corriente alterna se especifican para operar a una velocidad específica, de modo que, su comportamiento se ve afectado cuando la frecuencia varía con respecto al valor nominal. Un motor opera en forma satisfactoria con una variación de frecuencia de +/- 5% con respecto al valor de placa. La mejor manera de

controlar la frecuencia es mediante un variador de frecuencia para poder variar dicha frecuencia y por lo tanto su velocidad.

#### **2.1.6.4. Variaciones de potencia eléctrica de entrada**

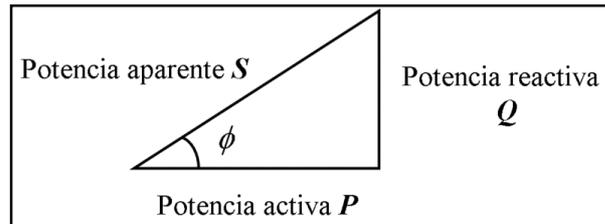
Esta es una consecuencia directa de las variaciones de voltaje y corriente porque la potencia eléctrica depende de estos parámetros.

### **2.2. FACTORES INTERNOS DIRECTOS E INDIRECTOS QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR**

Los factores internos que se han considerado en el presente trabajo son aquellos factores que estando dentro del motor afectan en la vida útil o funcionamiento del mismo. Los principales factores internos del motor son: el factor de potencia y la temperatura. Mientras que los elementos que pueden influir en el factor temperatura son los alambres, materiales de impregnación y materiales de aislamiento.

**2.2.1. Factor de potencia como factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor**

**GRAFICO 2.2: TRIÁNGULO DE POTENCIA**



FUENTE:<http://www.eltec.cl>

Los factores de potencia de plantas industriales generalmente son atrasados a causa de la corriente de excitación requerida por los motores de inducción, transformadores, alumbrado fluorescente, hornos de calefacción por inducción, etc., el mejoramiento del factor de potencia se puede conseguir con el uso de motores sincrónicos o capacitores en los lugares apropiados.

El factor de potencia indica qué tanto por ciento de la potencia total es efectivamente utilizado para realizar trabajo. En otras palabras, el factor de potencia constituye un índice de la utilización cualitativa y cuantitativa de la energía, que se expresa por el coseno del ángulo entre la potencia activa y la potencia total.

De manera general, un equipo consumidor de energía eléctrica como el motor eléctrico demanda energía activa como reactiva, por lo tanto la potencia total demandada tiene una componente activa (que realiza trabajo útil) y otra componente

reactiva (creación del campo magnético), por lo que analíticamente se puede formular la siguiente ecuación:

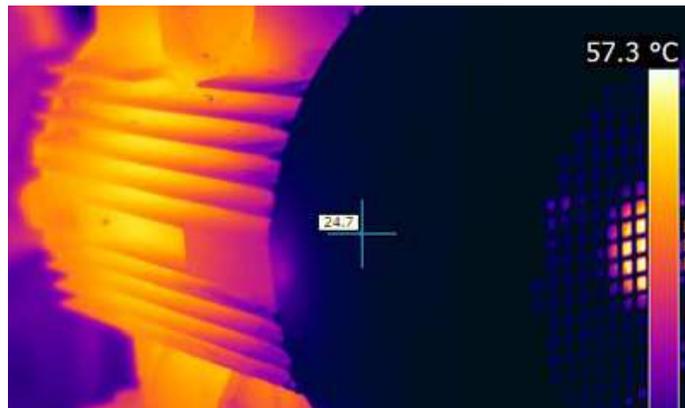
$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Donde, S es la potencia total; P, la componente activa; y Q, la componente reactiva. La relación que existe entre la potencia activa y la potencia total se denomina factor de potencia:  $\cos \varphi = P/S$ .

El factor de potencia bajo tiene un efecto adverso sobre la operación del sistema. Este hecho se aplica tanto a sistemas de potencia industriales como a sistemas de potencia para servicios. Por esta razón, los contratos para muchas instalaciones tienen cláusulas de factor de potencia que penalizan a los consumidores que tengan cargas con bajo factor de potencia. El ahorro debido al mejoramiento del factor de potencia se puede calcular con la gráfica de carga diaria de la planta y del contrato particular de que se trate. No es poco frecuente que los capacitores se paguen en un período de unos cuantos años.

**2.2.2. Temperatura como factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor:**

**GRAFICO 2.3: FOTOGRAFÍA TERMOGRÁFICA DE UN MOTOR ELÉCTRICO**



FUENTE: <http://electromntto.blogspot.com>

En los motores, como en toda máquina eléctrica, se producen pérdidas por efecto joule y otro tipo de pérdidas que se traducen en aumento en la temperatura de la máquina sobre la temperatura ambiente. Otra fuente de calor la constituye también los rozamientos mecánicos del eje con las chumaceras de apoyo.

El aumento de temperatura por efecto de las pérdidas eléctricas está prácticamente ligado de las condiciones de servicio del motor. Bajo condiciones normales el motor puede sobrecalentarse al funcionar seguido, hasta alcanzar 40°C en algunos tipos, mientras que en otros puede alcanzar 50°C. Estas temperaturas son consideradas como normales, operando el motor a plena carga. El sistema de ventilación forzada en los motores de tipo abierto, y la radiación de la carcasa metálica en los de tipo cerrado, eliminan el exceso de calor y temperatura se mantiene así dentro de los

límites fijados. Las variaciones de temperatura ambiente influyen directamente sobre la temperatura de funcionamiento del motor. La altura a la cual será sometido el motor sobre el nivel del mar influye también sobre la temperatura, pero esto se hace sentir más en los motores de tipo abierto que en los de tipo cerrado.

Los materiales aislantes modernos y los nuevos métodos de construcción permiten que la temperatura del motor pueda llegar en condiciones normales de funcionamiento hasta 90°C.

### **2.2.2.1. Alambres como elementos que intervienen directa e indirectamente en la temperatura del motor**

**GRAFICO 2.4: ROLLO DE ALAMBRE DE COBRE**



FUENTE: <http://us.123rf.com>

Quizás es el más importante de las partes o factores que intervienen en el funcionamiento de un motor eléctrico, debido a que por medio de estos se transporta la corriente eléctrica y que en conjunto forman las bobinas, y por consiguiente los grupos de bobinas los que determinarán el número de polos del mismo, dándole de esta manera una velocidad definida al motor en cuestión.

Los alambres son conductores que pueden ser de cualquier material con buena conducción eléctrica. El material más utilizado para este propósito es el cobre, debido a la cantidad existente a nivel mundial y sus diferentes propiedades tanto eléctricas; como son la conducción y resistencia eléctrica, y mecánicas; como son su dureza y maleabilidad.

Todos los alambres están recubiertos con una fina capa de un barniz eléctrico para evitar cortocircuitos entre ellos. Los materiales de impregnación vienen definidos por la temperatura a la cuál van a estar sometidos debido a la corriente que por los alambres circularán.

En la tabla 2.2, se expresan los valores característicos del cobre a las temperaturas admitidas según las distintas clases de materiales aislantes.

TABLA 2.2: CARACTERISTICAS DEL COBRE A LAS TEMPERATURAS ADMISIBLES  
EN DIFERENTES CLASES DE AISLAMIENTO

Clase de aislamiento	Aumento de temperatura media admisible °C	Temperatura media límite °C	Resistividad $\rho$ $\frac{\Omega \times m}{mm^2}$	Conductividad $X$ $\frac{S \times m}{mm^2}$	Pérdidas Específicas $\frac{P_j}{W}$ $\frac{kg}{kg}$
-	-	20	0.0179	56	2.01 d <sup>2</sup>
-	-	75	0.0217	46	2.44 d <sup>2</sup>
Y	45	85	0.0224	44.6	2.48 d <sup>2</sup>
A	60	100	0.0234	42.6	2.64 d <sup>2</sup>
E	75	115	0.0245	40.8	2.75 d <sup>2</sup>
B	80	120	0.0248	40.2	2.80 d <sup>2</sup>
F	100	140	0.0262	38.1	2.95 d <sup>2</sup>
H	125	165	0.0280	35.7	3.15 d <sup>2</sup>

d= densidad de corriente en  $\frac{A}{mm^2}$

FUENTE: Enciclopedia CEAC de electricidad

Tomando en cuenta la tabla 2.2 podemos observar cómo las características del cobre utilizado en los alambres que forman parte de las bobinas del motor van cambiando conforme su temperatura varía. Tomando muy en cuenta cómo la resistividad

aumenta conforme la temperatura aumenta al igual que sus pérdidas, lo que no ocurre con su conductividad que disminuye de manera proporcional.

#### **2.2.2.2. Materiales de impregnación como elemento que interviene directa e indirectamente en la temperatura del motor**

GRAFICO 2.5: BARNIZ ELECTRICO



FUENTE: <http://pdf.directindustry.es>

Comúnmente conocidos como barnices eléctricos, es un tipo de material líquido que ayuda a mantener las bobinas en su lugar logrando soportar el esfuerzo mejorando su resistencia mecánica que recibirán los alambres debido al número de revoluciones al cual el rotor llegará a girar. También ayudan al mejoramiento de las propiedades dieléctricas, para conglomerar los aislamientos sólidos y de esta manera protegerlos

de la humedad del ambiente. Y como último propósito el de proteger tanto al aislamiento como a los alambres de agentes externos como vapores ácidos o básicos.

Los barnices se dividen en dos tipos de impregnación y de recubrimiento. Los de impregnación son aquellos que deben penetrar bien en el interior de los bobinados mientras que los de recubrimiento proporcionan una película que constituya una superficie homogénea, libre de poros y elástica que impida la sedimentación o adhesión de partículas transportadas por el aire de refrigeración de la máquina (por ejemplo, depósitos de polvo), sobre la superficie de los devanados.

Los materiales de impregnación debido a sus características vienen en diferentes valores de temperatura a la cual pueden ser sometidos. Es decir, dependiendo de la temperatura que circulará por los bobinados y ambiente de trabajo el cuál rodeará al motor se deberá utilizar el barniz para el recubrimiento de los devanados.

**2.2.2.3. Materiales de aislamiento como elemento que interviene directa e indirectamente en la temperatura del motor**

**GRAFICO 2.6 : VARIOS AISLANTES ELECTRICOS**



FUENTE:<http://www.tromag.es>

Comúnmente conocidos como aislantes eléctricos, son una parte primordial en la formación del campo que circulará por las chapas magnéticas debido a que estos aíslan tanto las bobinas de la parte metálica como son las ranuras, también ayudan gracias a su característica dieléctrica a mantener separado el efecto de campo que se producirán entre los grupos de bobinas permitiendo que de esta manera queden definidos el número de polos y el campo siga el sentido predeterminado.

Debido a que su principal problema radica en la temperatura que deberán soportar los materiales aislantes han sido clasificados de acuerdo a su temperatura soporte, ésta ha sido realizada en base a normas NEMA, NEC e IEC, y esto permite también la determinación del tipo de materiales aislantes a utilizar dependiendo de la clase y tipo de motor según la tabla NEC 430-151 B. Para una mejor comprensión de la

clasificación la tabla 2.3 mostrará la clasificación de materiales aislantes y una pequeña descripción.

**TABLA 2.3: CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES DE AISLAMIENTO POR SU TEMPERATURA**

<i>CLASE DE MATERIAL AISLANTE</i>	<i>TEMPERATURA MAXIMA A SOPORTAR</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
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 el aire 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 la 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 la 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 la 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: Enciclopedia CEAC de electricidad

### **2.2.3. Efectos de las variaciones internas para el funcionamiento del motor eléctrico fuera de sus valores nominales o de seguridad**

Las variaciones en los factores internos tienden a ser casi nulas en ciertos casos como lo son en los alambres, materiales aislantes y de impregnación, porque ya son propios de la máquina pero igual los revisaremos ciertas características aparte de las ya mencionadas. En cambio el factor de potencia, la temperatura y la lubricación si son factores que pueden llegar a poseer variaciones las cuales indicaremos en este subtema.

#### **2.2.3.1. Variaciones en el factor de potencia**

El factor de potencia bajo debe evitarse por tres razones. Primera, puesto que los circuitos y los elementos de éstos tienden a ser más reactivos que resistivos, las componentes reactivas de la corriente producen mayores caídas de voltaje que una componente resistiva igual. La regulación de voltaje del sistema sale afectada y se puede necesitar equipo regulador de voltaje adicional para una operación satisfactoria.

La segunda desventaja del bajo factor de potencia es la utilización ineficiente del equipo del sistema debido al mayor flujo de corriente por unidad de potencia real transmitida. Esta magnitud mayor de la corriente produce un calentamiento adicional en el equipo del sistema y, de hecho, deteriora esos componentes. La corrección del factor de potencia liberará esta capacidad del sistema y permitirá mayor carga sin la instalación de equipo de distribución adicional.

Una tercera desventaja es el costo de las mayores pérdidas a través del sistema. Estas pérdidas varían en forma proporcional al cuadrado de la corriente y también inversamente al cuadrado del factor de potencia. La reducción en las pérdidas del sistema puede producir una recuperación anual bruta de hasta el 15% de la inversión en equipo para el mejoramiento del factor de potencia.

### **2.2.3.2. Variaciones en la temperatura**

La temperatura dentro del motor eléctrico tendrá variaciones dependiendo de la temperatura ambiente, de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentre ubicado el motor, del esfuerzo mecánico al que sea sometido el motor, a las variaciones de voltaje y corriente y del tipo de ventilación que posea el mismo. Todos estos están ligados con la temperatura de los bobinados y las pérdidas del motor.

En cuanto a la temperatura ambiente, dependerá mucho de qué tan ventilado y protegido se encuentre el motor, así como también del tipo de protección IP con el que fue construido y del tipo de la clase NEMA del mismo, especialmente de este último el cual permitirá que el motor llegue a soportar temperaturas extremas. Esto también se encuentra asociado con la ubicación o altura sobre el nivel del mar del motor. Ciertos ingenieros en ciertas ocasiones para mayor protección de los bobinados y del motor en sí a la tropicalización del mismo, este tema es tratado en el anexo 3.

El esfuerzo mecánico dependerá mucho de los cálculos realizados por el ingeniero. Si estos fueron erróneos llevará a que el motor trabaje de manera forzada, elevando la

corriente que circula por los alambres de los bobinados y por lo tanto su temperatura, pudiendo en primera instancia deteriorar los aislamientos tanto del alambre como de los materiales de impregnación así como del los de aislamiento propio de la máquina. Posteriormente si el problema persiste y no es detectado a tiempo el motor no resistirá y se producirá un cortocircuito dentro de las bobinas dejando al motor fuera de funcionamiento.

En cuanto al desbalance de corriente y voltaje serán explicados a profundidad en el siguiente subtema, pero se podría adelantar que están íntimamente ligados con la temperatura de las bobinas.

Con respecto al tipo de ventilación, de nada servirá que sea un motor abierto y que se encuentre en un ambiente sin las debidas entradas de aire o con exceso de humedad. Esto debe ser prevenido por el ingeniero para la selección correcta del tipo de motor a utilizar.

#### **2.2.3.3. Variaciones en los alambres**

Los alambres dentro del motor no poseen variación alguna porque ya vienen determinados por la compañía constructora, pero en el caso que hablemos de una reparación completa o parcial de los bobinados del motor se solicitará al taller de reparación que utilice el mismo calibre y clase del original. El primer dato se lo determina directamente del alambre retirado pero el segundo viene dado en la placa por la clase del motor que está impreso en la placa del mismo.

#### **2.2.3.4. Variaciones en los materiales de impregnación**

Los materiales de impregnación no poseen variaciones debido a su construcción. Sus características ya fueron determinadas por el constructor. En el caso de la reparación de los bobinados se debe tener la precaución de utilizar barnices con el nivel de temperatura propio para la clase del motor.

En la actualidad se posee la ventaja que las compañías de barnices han creado un tipo de barniz que puede ser utilizado tanto para impregnación como para recubrimiento, esto normalmente es utilizado al momento de una reparación, dando la facilidad de utilizar un mismo barniz para todo el trabajo.

#### **2.2.3.5. Variaciones en los materiales de aislamiento**

Los materiales de aislamiento al igual que los alambres y los de impregnación no pueden darnos alguna variación, estos ya vienen determinados por las características propias del constructor. Pero como en el caso anterior al ser reparados el taller de reparación deberá tener cuidado del grosor y de la temperatura que va a soportar el mismo. El primer dato normalmente queda a libre percepción del reparador, en cambio la temperatura viene dada por la clase del motor que está impresa en la placa del mismo.

## **2.3. OTROS FACTORES DIRECTOS E INDIRECTOS QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR**

Los siguientes factores son aquellos que ajenos a la red eléctrica o a la constitución interna del motor repercutirán en el funcionamiento idóneo del motor eléctrico.

Los factores a tomarse en cuenta serán los transientes eléctricos, las condiciones del ambiente, la alineación del eje con el rotor en movimiento, desbalance de voltaje y la carga a moverse.

### **2.3.1. Los transientes eléctricos**

Un transiente es un incremento del Voltaje de muy alta magnitud y muy corta duración (inferior 1/2 ciclo), es uno de los problemas eléctricos que se presenta con mayor frecuencia en las redes eléctrica.

A diferencia de un pico de voltaje el cual su magnitud puede llegar al doble de la nominal un transiente puede llegar a exceder los miles de voltios en cuestión de microsegundos

Un transiente eléctrico puede ser provocado por diferentes razones tales como:

- Descargas eléctricas atmosféricas
- Encendido/Apagado de equipo y/o maquinaria pesada (grandes motores eléctricos, sistemas de aire acondicionado, máquinas de soldar, elevadores, etc.)
- Accidentes en la red de transmisión/distribución eléctrica.

- Entre otros.

### **2.3.2. Las condiciones del ambiente**

Es necesario tener en cuenta que las condiciones del medio ambiente en que opera el motor, como atmósferas cargadas de humedad, polvo, gases explosivos o inflamables, partículas abrasivas o gases corrosivos, influyen no sólo en el aumento tolerable de la temperatura del motor, sino que también atacan a los barnices y demás cuerpos aislantes o humedecen las bobinas, y en lo que respecta a la lubricación, contaminan o alteran los lubricantes.

Las industrias modernas, sobre todo la industria química, hace cada vez más demanda de motores de tipo especial preparados para operar en tales atmósferas, por esto los fabricantes de motores eléctricos se han esforzado también para lograr la construcción de variados tipos de motores protegidos, adecuados para funcionar eficazmente bajo cada condición especial ambiente, cosa que no se podría conseguir en los motores con aislamiento o carcasa de tipo común.

El estándar que nos especifica el tipo de protección posee nuestro motor o qué tipo de ambientes puede soportar dicho motor es el IP.

El valor IP se encuentra impreso en la placa del motor, según norma NEC 430.7(a).

Es representado mediante las siglas IP seguido de dos a tres números, el primero refiere al tipo de protección de sólidos, el segundo la protección contra líquidos y el tercero es el correspondiente contra impactos mecánicos. En muchas ocasiones

encontraremos que el tercer número ha sido omitido no indica un valor exacto que podrá soportar pero tampoco es nulo.

La tabla 2.4 nos da un conocimiento de los diferentes valores de la clasificación IP de las máquinas y su respectivo significado.

**TABLA 2.4: Tabla de clasificación IP**

	<b>Primer Número Protección contra sólidos</b>	<b>Segundo Número Protección contra líquidos</b>	<b>Tercer Número Protección contra impactos mecánicos</b>
<b>0</b>	Sin protección	Sin protección	Sin protección
<b>1</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	Protegido contra impactos de 0.225 Joules
<b>2</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.375 Joules
<b>3</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical	Protegido contra impactos de 0.5 Joules
<b>4</b>	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	Protegido contra rocíos de todas las direcciones, entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 2.0 Joules
<b>5</b>	Protegido contra polvo, entrada limitada permitida	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones, entrada limitada permitida	Protegido contra impactos de 6.0 Joules
<b>6</b>	Totalmente protegido contra polvo	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	Protegido contra impactos de 20.0 Joules
<b>7</b>		Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm a 1m	
<b>8</b>		Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	

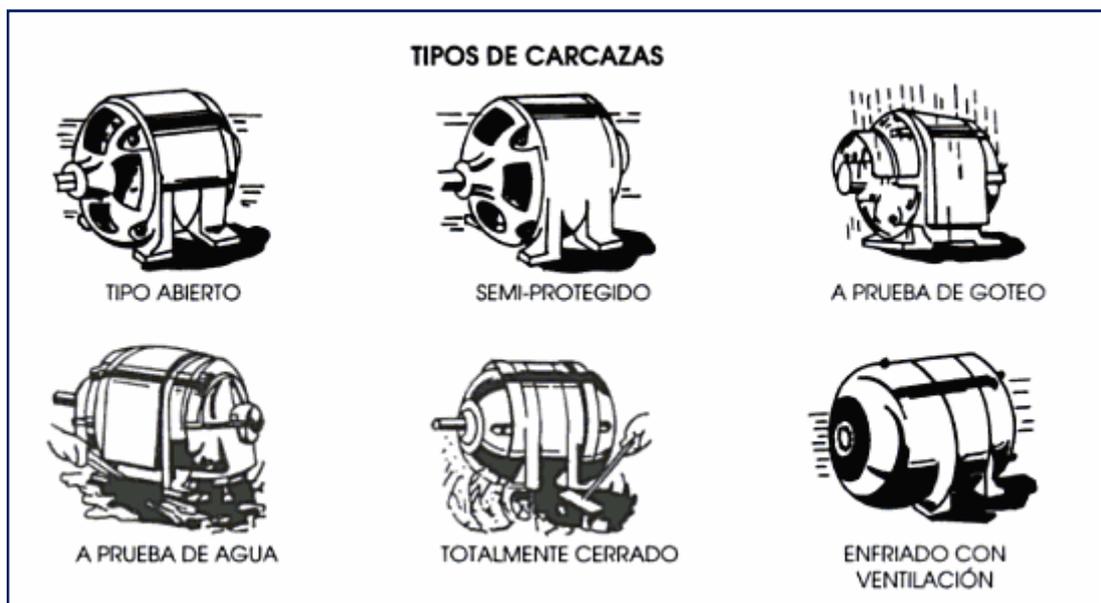
FUENTE:<http://www.ffii.nova.es>

Así, por ejemplo, una terminal con IP-64 está totalmente protegida contra la entrada de polvo y contra rocíos directos de agua de todas las direcciones.

Este es quizás uno de los principales factores que se omite al momento de realizar la adquisición de un motor eléctrico, y de hecho debe ser tomado muy en cuenta especialmente en ambientes especiales.

La norma NEC 430.14 es la que nos dará ciertos parámetros sobre los cuidados que se deben tener con respecto a este parámetro. En cambio la norma NEC 430.16 refiere a ubicación y tipo de motor a utilizar en diferentes tipos de ambiente de acuerdo al ambiente de trabajo.

**GRAFICO 2.7: VARIAS CARCASAS DE MOTORES ELECTRICOS**



FUENTE: <http://coriolisblog.wordpress.com/>

### **2.3.3. La alineación del eje**

Este factor afecta desde el momento que el motor ya está instalado en su lugar de trabajo y comience su funcionamiento dentro de la labor para la cual fue diseñado.

La parte del motor que comúnmente sufre las consecuencias de un mal alineamiento es el rodamiento y de no ser detectado a tiempo puede conllevar consigo el alineamiento del rotor, pudiendo llegar a provocar un roce entre el rotor y las delgas del estator.

### **2.3.4. El desbalance de voltaje y corriente**

El desbalance de voltaje es la alteración del suministro eléctrico más dañina a la que puede estar sometido un motor eléctrico. Aparece con la incorporación desbalanceada de cargas monofásicas a las líneas, provocando que unas tengan más o menos carga que otras. Esta incorporación asimétrica de cargas monofásicas, provocará valores de voltaje distintos entre las fases.

El principal problema que provocará el desbalance de voltaje (VUB) a un motor eléctrico en marcha, es el aumento de la temperatura del motor. Esto, debido a la aparición de corrientes de secuencia negativa en sus arrollados. Estas corrientes, producirán un campo electromagnético contrario al que impulsa el sentido de giro que posee el motor. Este campo electromagnético contrario, provocará una pérdida de la potencia relativa del motor y dicha pérdida se convertirá en más calor para los arrollados.

Las causas subyacentes de desequilibrio de voltaje son numerosas, y pueden incluir:

- Falta de simetría en las líneas de transmisión
- Grandes cargas monofásicas-(por ejemplo, hornos de arco, soldadores, etc.)
- Factor de corrección de potencia de condensadores defectuosos de los bancos de triángulo abierto o transformadores estrella.

Condiciones de la planta que pueden causar o contribuir a la tensión de desequilibrio son desequilibrados o transformadores sobrecargados, mal funcionamiento de los dispositivos de factor de corrección de potencia, cíclico los controles, y los reactores desafinadas. Incluso lo que está sucediendo en la planta de al lado o más lejos el poder, la línea podría afectar el desbalance de voltaje en sus instalaciones.

Un motor debe poseer una tensión de alimentación dentro del 10% de la tensión nominal, los tres voltajes de la fase 3 deberán estar cerca de la misma tensión en cada línea. Cuando hay desigualdad de voltajes de entrada entre las tres líneas de alimentación del motor se calentará más y está sujeta a una vida más corta.

Hay dos pasos necesarios para solucionar los problemas de desequilibrio de voltaje. En primer lugar, el porcentaje de desequilibrio se calcula, en segundo lugar la causa debe ser determinada y la solución aplicada.

El máximo permitido desequilibrio es de 2%, medido en los terminales del motor o lo más cerca del motor como se puede hacer de manera segura. La siguiente fórmula se utiliza para determinar el porcentaje de desequilibrio de voltaje:

$$\% \text{ dedesbalancedevoltaje} = \frac{100 \times \text{Máximadiferenciadevoltaje}}{\text{Promediodevoltaje}}$$

#### VOLTAJES MEDIDOS ENTRE FASES

A a B      230V

B a C      236V

A a C      237V

PROMEDIO= 234.33V    MAX DIFERENCIA= 7V

Las fórmulas anteriores ayudarán a determinar el desbalance de voltaje, en primer lugar las tres diferencias de tensión entre fases o líneas están determinadas. En este caso los tres voltajes son 230, 236, y 237 voltios. Entonces, la tensión media de los tres se encuentra sumando hacia arriba y dividir por tres. El resultado en este caso es 234,33 voltios promedio. A continuación, la máxima diferencia o desviación entre las tensiones se encuentra, en este caso 7 voltios entre los 230 y 237 voltios.

Entonces, estos números se colocan en la fórmula de la siguiente manera:

$$\% \text{ dedesbalancedevoltaje} = \frac{100 \times \text{Máximadiferenciadevoltaje}}{\text{Promediodevoltaje}}$$

$$\% \text{ dedesbalancedevoltaje} = \frac{100 \times 7}{234.33}$$

$$\% \text{ dedesbalancedevoltaje} = 2.987\%$$

El desequilibrio por ciento es más que el límite del 2% y no es aceptable. Las bobinas del motor funcionarán muy calientes y la vida del motor se reducirá. ¿Cuán importante es este desequilibrio en la vida del motor? Echa un vistazo a cuánto más las bobinas del motor estará por encima de lo normal. Esto se puede calcular muy fácilmente y no debe causar un técnico para detenerse y pensar que todo desequilibrio de voltaje de tiempo puede ser un problema.

A medida que la tensión está fuera de equilibrio las corrientes del bobinado también son afectadas. Un desequilibrio pequeño de voltaje causa un desequilibrio de corriente más grande, que a su vez hace que las bobinas del motor eleven su temperatura. El devanado con mayor corriente será el más caliente y será el devanado que se quemará primero, un segundo devanado puede arder poco después del primero y después el motor se detendrá.

El bobinado del motor el calor se eleva en función de la tensión y corrientes desequilibradas. El porcentaje de calor en los devanados aumenta debido a un desequilibrio exponencial de voltaje. Para su mejor comprensión continuaremos con el ejemplo anterior determinando el aumento de calor de las bobinas en donde el desequilibrio de voltaje es 2,987%. Se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ aumentodetemperaturaenbobinados} = 2 \times (\% \text{ desbalancedevoltaje})^2$$

$$\% \text{ aumentodetemperaturaenbobinados} = 2 \times (2.987)^2$$

$$\% \text{ aumentodetemperaturaenbobinados} = 17.84\%$$

El resultado del desequilibrio de voltaje de 2,987% es un aumento en la temperatura del bobinado del motor funcionando en un 17,84% más caliente de lo normal.

La tabla 2.5 da el porcentaje de aumento de la temperatura ,más de lo normal de los desequilibrios de tensión de un mismo por ciento de incremento. Observe cómo el aumento de la temperatura sube de manera exponencial a medida que aumenta el desequilibrio.

**TABLA 2.5: VARIACION DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL DESBALANCE DE VOLTAJE**

<b>% Desbalance de Voltaje</b>	<b>% Aumento de Temperatura</b>
2%	8%
3%	18%
4%	32%
5%	50%

FUENTE:<http://www.bacharach-training.com/norm/protecting.htm>

Los efectos más evidentes de desequilibrio de tensión son la reducción de la eficiencia del motor y el rendimiento, los cuales afectan a la rentabilidad de su empresa. La eficiencia de un determinado motor puede variar, dependiendo de factores tales como el tipo de la aplicación, la carga y la tensión de alimentación.

Cuando la fuente de alimentación posee un mayor desequilibrio de tensión al permitido, las pérdidas aumentarán en el rotor y el estator, lo que significa más de la energía suministrada se convierte en calor y menos al trabajo. Por lo tanto el motor se calentará más y, en consecuencia, menos eficiente.

Aumento de las pérdidas del rotor también aumentará el deslizamiento, de modo que el motor a su vez, un poco más despacio y hacer menos trabajo en un momento dado.

La tabla 2.6 muestra el desbalance de voltaje y cómo afecta al aumento de las pérdidas, la eficiencia, y la esperanza de vida de un típico motor de 3 fases funcionando con carga nominal.

**TABLA 2.6: OTRAS CONSECUENCIAS DEL DESBALANCE DE VOLTAJE**

% Desbalance de voltaje	% Pérdidas $I^2R$	% Reducción de eficiencia	Expectativa de vida (años)
0	30%	-	20
1	33%	Superior al 0.5%	10
2	35%	1 – 2%	5
3	38%	2 – 3%	2.5
4	40%	3 – 4%	1.25
5	45%	5% o más	Menor a 1

FUENTE: [www.quality-energy.com](http://www.quality-energy.com)

### **2.3.5. La carga a moverse**

La carga a moverse nos servirá para determinar el trabajo a realizar y por ende la potencia del motor en sí. Pero no es simplemente de manera nominal sino también desde el momento de su arranque, esto se debe a que en ciertos trabajos el motor va a poseer carga al momento de su arranque, por lo que necesitará que el motor en dicho momento pueda vencer el torque al cual la carga lo someta.

Por lo que en este trabajo los tipos de arranques y sus características serán motivo de nuestro estudio por seguridad industrial tanto del sistema, del motor y de la industria en sí. Debemos tomar en muy en cuenta las variaciones en fuerza tanto en torque y potencia de acuerdo al tipo de arranque seleccionado y analizarlo con respecto a la carga.

Partiendo de este último factor procederemos a revisar la clasificación de los motores de acuerdo a su torque.

#### **2.4. IMPORTANCIA Y CARACTERISTICAS DE LA CLASIFICACION NEMA DE MOTORES ELECTRICOS PARA LA INDUSTRIA**

Esta clasificación fue creada por los constructores y diseñadores de motores eléctricos para regirse a nivel mundial mediante normas adecuadas y gracias a un estudio previo y exhaustivo.

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA) desarrolló un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica el rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la tabla 2.7 a continuación detallada:

**TABLA 2.7 : CLASIFICACION NEMA DE LOS MOTORES DEBIDO A SU DISEÑO Y PAR DE ARRANQUE**

<b>Clase NEMA</b>	<b>Par de arranque (# de veces el nominal)</b>	<b>Corriente de Arranque</b>	<b>Regulación de Velocidad (%)</b>	<b>Nombre de clase Del motor</b>
<b>A</b>	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
<b>B</b>	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general
<b>C</b>	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
<b>D</b>	2.5-3.0	3-8	5-8 , 8-13	De alto par alta resistencia
<b>F</b>	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

FUENTE: <http://www.monografias.com/trabajos10/motore/motore.shtml>

En esta tabla también se ha incluido los valores tabulados tanto de corriente como de regulación de velocidad al cual pueden ser expuestos los motores eléctricos dependiendo de su clase NEMA. Estos son valores aproximados dependerán del sistema eléctrico al que se encuentran conectado y del torque a vencer.

El tipo de motor más utilizado o vendido comercialmente es el de tipo B el cual es de propósito general, por lo tanto en caso de necesitar un tipo de motor diferente o con otra característica NEMA debemos especificar a nuestro proveedor o en la hoja de solicitud.

Esta clasificación viene de la mano con la clasificación de aislantes y materiales de impregnación según su temperatura porque de acuerdo a la clase del motor y trabajo a realizar, cada motor poseerá un valor diferente de temperatura al cual viene estructura para poder soportar en cuanto a los esfuerzos eléctricos internos y temperaturas externas al motor.

El artículo NEC 430.151 (b) posee la clasificación de los motores según acuerdos tanto con las normas NEMA y NEC juntas.

Uno de los principales recursos con los que podemos contar en la actualidad gracias a la electrónica de potencia es la capacidad de poder manipular los diferentes parámetros que intervienen de manera controlada, para realizar de esta manera cambios a favor nuestro dentro de la industria y de la vida útil del motor. Esto es muy importante porque ayuda en cuanto a la seguridad del motor al encontrarse en parámetros controlados y sin riesgos de ningún tipo para el personal, siempre y cuando se sigan las condiciones que cada uno de estos controladores contienen.

## **CAPITULO 3**

### **3.-PELIGROS Y RIESGOS ELECTRICOS**

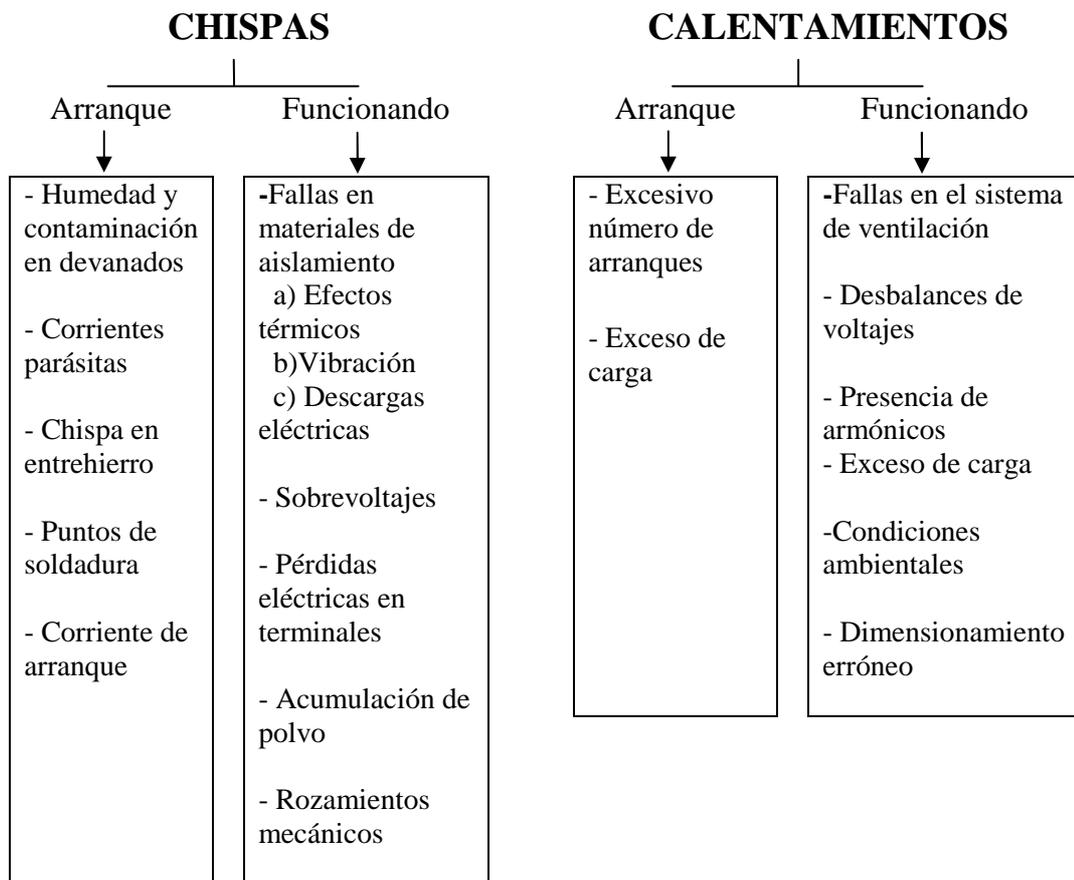
Los principales peligros y riesgos dentro de la selección de un motor que se nos pueden presentar se pueden dividir en 2 tipos, ya sea la existencia de chispas en el motor o calentamiento del mismo. En cualquiera de los casos, es un indicador del mal funcionamiento del motor o en su sistema control.

La aparición de chispas puede llegar a ocasionar un incendio si el motor se encuentra dentro de un ambiente explosivo o en condiciones particulares que conlleven al mismo hecho. En cambio con respecto al calentamiento, éste puede ir deteriorando poco a poco el aislamiento y las diferentes partes constitutivas del motor reduciendo la vida útil del mismo.

Ambos casos pueden producirse tanto en el arranque como en el funcionamiento normal del motor; por lo que a continuación detallaremos las posibles causas de cada uno de los casos.

En la tabla 3.1 observamos las principales fuentes de aparición de chispas y calentamientos en motores eléctricos que pueden presentarse en el arranque de los motores así como también durante el funcionamiento estable del motor.

**TABLA 3.1: PRINCIPALES FUENTES DE CHISPAS Y CALENTAMIENTOS EN MOTORES ELÉCTRICOS**



FUENTE: Design of increased safety electrical machine: Development activities and certification testing

### 3.1. APARICION DE CHISPAS EN EL MOTOR ELECTRICO

#### 3.1.1. Causas de chispas en el arranque del motor

- ***Humedad y contaminación en devanados:*** Otra causa de chispas en el momento del arranque es la presencia de humedad o contaminación de otro tipo en los devanados del motor, haciendo que los materiales de impregnación vayan perdiendo de a poco o por completo el grado de protección para el cual fueron diseñados. Esto se puede prevenir con un adecuado y oportuno mantenimiento del motor, teniendo la precaución de utilizar líquidos adecuados para no deteriorar los materiales aislantes y de impregnación.
- ***Corrientes parásitas:*** La presencia de corrientes parásitas puede ser una causa de la aparición de chispas dentro del motor, a pesar que tenemos conocimiento de corrientes parasitas en el estator en especial en sus chapas magnéticas, y son de valores mínimos, esto puede ser un problema y llegar a ser de mayor escala con la presencia de agentes extraños o suciedad dentro del motor. Por lo tanto a pesar que es un problema que viene determinado por el diseño propio de la máquina, se puede evitar un problema mayor con un debido y adecuado mantenimiento de toda la unidad.
- ***Chispa en el entrehierro:*** Desde el diseño de la máquina puede llegar a existir la presencia de una pequeña chispa en el entrehierro del motor (es la parte que queda entre el rotor y el estator, es aire). Esto puede ser de mayores proporciones si se presenta bajo condiciones adecuadas. Esto se debe a la inducción del campo del estator hacia el rotor y como las corrientes son

elevados puede ocurrir en ciertas ocasiones que el aire se ionice provocando este tipo de chispas. Esto es propio del diseño con el que viene fabricado el motor.

- ***Puntos de soldadura:*** Debido al valor de la corriente que circulará al momento del arranque del motor puede ocurrir presencia de chispas en los devanados en especial en las uniones o soldaduras en especial en los puntos de contacto entre los bornes y los bobinados. Esto se puede prevenir con la revisión oportuna de estas partes del motor.
- ***Corriente de arranque:*** Al momento del arranque del motor la corriente que circulará por los devanados del mismo es la más alta esto depende de la clase del motor y la carga que se encuentre moviendo. Es decir, las corrientes vendrán determinadas desde el diseño del motor y vienen especificadas por el fabricante.

### **3.1.2. Causas de chispas en funcionamiento estable del motor**

- ***Fallas en materiales de aislamiento:*** La falla de los materiales aislantes es la primera causa de la aparición de chispas cuando el motor ya está en funcionamiento estable. Este tipo de falla ocurre por diferentes causas las que se detallan a continuación:
  - Las temperaturas que soportarán los aislamientos tanto por esfuerzos eléctricos como mecánicos e inclusive influye la temperatura externa y

la altura sobre el nivel del mar en la cual se encuentra instalado el motor.

- Las vibraciones de los soportes pueden hacer que se vayan desgastando de a poco los aislantes del motor disminuyendo sus características dieléctricas propias de los aislantes lo que posteriormente provocará chispas dentro del motor.
- La constante presencia de descargas o esfuerzos eléctricos mayores a los nominales o normales desgastarán las características dieléctricas de los aislantes.
- Y por último la edad que posean los aislantes puede ser también motivo de que por medio de estos se provoquen chispas en ciertas partes del motor eléctrico. Haciendo que con el paso del tiempo pierda sus características dieléctricas.

El común de estas causas es que no se presentarán en primera instancia sino que con el pasar del tiempo, y en ciertas ocasiones frente a combinaciones de varias de ellas. Pero a pesar de ello esto dependerá del diseño de la máquina y por lo tanto de la clase de aislamiento que se utilice (temperatura, flexibilidad, etc.)

- **Sobrevoltajes:** La presencia repentina de Sobrevoltajes puede ser otra causa de chispas pero el evitar este tipo de problemas dependerá de los sistemas de protección que tienen que estar conectados y calibrados de manera exacta al motor. Según normas NEC 430-52 y 430-53.

- ***Pérdidas eléctricas en terminales:*** El movimiento en los terminales de alimentación del motor es otro motivo de causas de chispas en los motores esto provocará un mal contacto de los cables. Este puede problema puede provenir porque los pernos de sujeción no están dimensionados para soportar el movimiento propio de la máquina, y la manera de precautelar esta causa es mediante el mantenimiento de los terminales; ajustándolos de manera oportuna.
- ***Acumulación de polvo:*** La acumulación de polvo en las partes internas del motor como en la caja de conexiones pueden ser dos causas por un mismo motivo de chispas en el motor eléctrico. La primera causa ya se explicó cuando se trató el ocasionado por los aislamientos. El segundo es porque la presencia de polvo hará que no exista un buen contacto entre los cables y los terminales haciendo que exista chispa en búsqueda del flujo normal de corriente. Esto se puede prevenir mediante el debido mantenimiento preventivo.
- ***Rozamientos mecánicos:*** Al poseer partes metálicas, el motor puede ocasionar una chispa de cualquier índole debido a los rozamientos entre sus partes mecánicas. En primera instancia dependerá del diseño de la máquina pero se podrán evitar mediante la revisión y ajustes de estas partes.

## **3.2. CALENTAMIENTO EN EL MOTOR**

### **3.2.1. Causas de calentamiento en el arranque del motor**

- ***Excesivo número de arranques:*** El número excesivo de arranques del motor provocará que éste tienda a calentarse, recordemos que la corriente al momento del arranque es mucho mayor a la nominal, por lo tanto al estar expuesto de manera repetitiva a dichos valores de corriente el motor expresará dicho esfuerzo mediante la temperatura. Esto se puede prevenir mediante un correcto proceso de control en el cual se permita que el motor disipe el calor durante un intervalo de tiempo antes de su próximo encendido.
- ***Exceso de carga:*** Un excesivo valor de carga a mover por parte del motor hará que exista un torque elevado a vencer haciendo que las corrientes internas sean mayores para poder obtener la potencia para dicho propósito, estas corrientes mayores a las nominales harán que el motor se caliente fuera de sus especificaciones. Esto se evitará con un buen dimensionamiento del trabajo al cual será expuesto el motor.

### **3.2.2. Causas de calentamiento en funcionamiento estable del motor**

- ***Fallas en el sistema de ventilación:*** Una ventilación inadecuada es la principal causa de calentamiento de los motores al momento de encontrarse funcionando dentro de las condiciones normales. Esto se debe a la acumulación de polvo y otros elementos en el sistema de ventilación del

mismo. La solución es práctica mediante el mantenimiento preventivo y de manera oportuna para evitar dichas acumulaciones.

- ***Desbalances de voltajes:*** Cuando los voltajes de línea aplicados a un motor, no son equilibrados, se desarrollan corrientes desbalanceadas en los devanados del estator, a estas se les conoce como corrientes de secuencia negativa y reducen el torque del motor. Se producen dos efectos importantes, aumenta la temperatura en el motor y aumenta su vibración. Un aumento de la temperatura sobre su valor permitido, provocará daños al aislamiento, y el aumento en los niveles de vibración provocará en algún grado solturas mecánicas, rodamientos y aflojamientos de las bobinas.
- ***Presencia de armónicos:*** La presencia de armónicos es otra razón de aumento de temperatura, éstas son señales que distorsionan a la onda fundamental, tienen una forma sinusoidal y están presentes en múltiplos de la fundamental. Las armónicas son generadas por cargas no lineales tales como convertidores de potencia electrónicos (rectificadores y variadores de frecuencia), fluorescentes, hornos de arco, ups, etc. El efecto de las armónicas que más afecta en el caso de los motores eléctricos es el excesivo calor que se produce por las demandas de corrientes anormales. Por ejemplo un motor diseñado para consumir a plena carga 150A, podría llegar a consumir 180A. Este aumento de corriente puede ser tolerado por el motor pero al mismo tiempo provoca severos daños al aislamiento hasta llegar al punto de su colapso.

- **Exceso de carga:** Una carga excesiva puede llevar rápidamente a un fallo en el motor. Es posible que se seleccione correctamente el motor para su carga inicial; sin embargo, un cambio en su carga o en el acoplamiento de accionamiento, se manifestará como una sobrecarga en el motor. Los rodamientos o baleros comenzarán a fallar, los engranes están expuestos a presentar follas en los dientes, o bien se presentará algún otro tipo de fricción que se manifieste como sobrecarga. Cuando se presenta una sobrecarga, el motor demanda más corriente, lo cual incrementa la temperatura del mismo, reduciendo la vida del aislamiento. Este es el tipo más común de causa de falla en el motor (aproximadamente el 30%).
- **Condiciones ambientales:** Otra causa de calentamiento de los motores son las condiciones del ambiente. En primer lugar desde la temperatura externa, las normas se basan a una temperatura aproximada de 40°C, por lo tanto si la temperatura es mayor a esta los primeros en sufrir de esta variación son los aislamientos porque vienen fabricados a una temperatura fija. También depende del lugar donde va a trabajar el motor, por ejemplo un motor que trabaje a la intemperie tendrá un aislamiento diferente a aquel que opere en pozos sumergidos en agua como es el caso de las bombas sumergibles. Si el ambiente se encuentran partículas sobrecargadas de algún tipo y no se tienen las precauciones del caso, el motor se irá llenando de dichas partículas, como por ejemplo polvo, haciendo que los devanados no sean apropiados de manera adecuada y por ende la temperatura del motor aumentará.

- **Dimensionamiento erróneo:** Cuando un motor es utilizado de manera inapropiada es otra causa de calentamiento al momento de su funcionamiento estable. Por ejemplo en el caso de un motor.

Una vez ya conocidos los factores que afectan de manera directa e indirecta a los motores y las causas más comunes y representativas de fallas de los mismos procederemos a considerar todas estas características para indicar los criterios para la selección de un motor como prevención de riesgos eléctricos.

En el anexo 1 se detalla lo que ocurre dentro de una bobina al momento de una falla y en el anexo 2 se podrá observar fotos de diferentes tipos de fallas y sus diferencias.

### **3.3. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN MOTOR COMO PREVENCIÓN DE RIESGOS ELECTRICOS**

La principal razón para la selección correcta de un motor dentro de una industria es el de que realice un trabajo de manera óptima sin que nos presente problemas en su funcionamiento en poco tiempo. Para lo cual vamos a considerar los siguientes criterios para su selección:

#### **3.3.1. Tipo de sistema con el que cuenta la empresa**

En casi todas las empresas industriales poseen sistemas trifásicos, normalmente utilizados para la conexión de los motores eléctricos, también existen ciertas áreas en las cuales tenemos únicamente sistemas monofásicos. Por lo que, se recomienda el

tener un conocimiento de si en la zona donde va a ser instalado el motor poseemos sistema trifásico o monofásico, y en caso de necesitar trifásico considerar el punto más cercano de sistema trifásico. Con una correcta distribución de las cargas con el objetivo de poseer un sistema balanceado o lo más cercano al balance posible.

### **3.3.2. Voltaje dentro de las instalaciones de la empresa**

Debemos de tomar en cuenta el nivel del voltaje con el que se trabaja en la empresa para poder solicitar uno de las características exactas. Y de esta manera que la potencia del motor al momento de realizar su trabajo sea la correcta, para no esforzar la máquina y sus componentes internos.

En el caso de la presencia de desbalances de voltajes y corrientes, se deberá tomar en cuenta el porcentaje de elevación de temperatura que ocasionan dichos desbalances.

Este desbalance será determinado por las fórmulas proporcionadas en el subcapítulo 2.3.4. En este caso podemos recurrir a utilizar motores con un sistema de aislamiento que soporte mayores niveles de temperatura en lugar de los motores de uso general, los tipos de aislantes y temperaturas que soportan están especificados en la tabla 2.7.

También puede ocurrir el caso que el motor vaya a ser reparado en su totalidad, si se determina que el sistema posee un desbalance considerable que conllevó a que el motor se quemara, se puede sugerir el cambio de los materiales tanto de aislamiento, de impregnación y alambres que soporten un mayor nivel de temperatura.

### **3.3.3. Frecuencia**

La frecuencia se considera especialmente para poder obtener un valor correcto en la velocidad del motor. La frecuencia en Ecuador es de 60Hz. Cabe recalcar que los

sistemas electrónicos ocasionan ciertos desbalances en la frecuencia por lo que se recomienda que los ramales de los motores sean independientes a los de las computadoras y otros equipos electrónicos de este tipo, causantes de este problema.

#### **3.3.4. Condiciones del ambiente de trabajo del motor**

El ambiente donde el motor va a ser ubicado debe estar especificado en los criterios tomando en cuenta la altura sobre el nivel del mar al cual se encontrará, esto se aplica para alturas mayores a los 1000m sobre el nivel del mar, temperatura de su entorno o ambiente donde va a estar ubicado el motor, de esto dependerá la clase NEMA con el que contará el motor por lo tanto sus materiales aislantes y de conducción, presencia de agentes extraños tales como líquidos, sólidos e impactos mecánicos al que se verá expuesto el motor, nos indicará el tipo de carcasa con la que contará el motor y esto vendrá representado con el valor IP del motor.

#### **3.3.5. Carga a mover por el motor**

Se debe realizar un correcto dimensionamiento de la carga que el motor va a mover para poder solicitar uno con la potencia necesaria para dicho trabajo. En el caso de una sobrecarga en el motor se debe considerar la temperatura que va a llegar a soportar los conductores en especial si estos se encuentran dentro de canaletas con un agrupamiento determinado. Para este caso el NEC en la sección 310 trata todo lo concerniente a los conductores y su ubicación dentro de las canaletas, además de la temperatura interna que pueden soportar dependiendo del número de conductores dentro de la canaleta así como también del número de hilos utilizados.

### **3.3.6. Tipo de arranque del motor**

Deberemos tomar en cuenta el tipo de arranque que seleccionaremos para el motor considerando que los diferentes arranques poseen una disminución en el torque de arranque y repercutirá en la potencia de arranque. Este ítem debe ser considerado al momento de dimensionar la potencia del motor tomando en cuenta la carga a moverse porque puede ser que sea el caso en que el motor arranque cargado, entonces el tipo de arranque no deberá afectar y en cualquier tipo de arranque seleccionado se necesitará vencer el torque de la carga; es decir, la curva de carga siempre deberá ser menor a la curva de torque del motor.

### **3.3.7. Velocidad de trabajo del motor**

La velocidad dependerá de las necesidades de la empresa y del trabajo que el motor realizará. En el caso de estar en una cadena de trabajo deberá ser considerado en igual proporción con los otros ya instalados o diseñados, en caso de ser toda una instalación nueva. Si por otro lado se necesita valores fuera de los estándares, el ingeniero deberá recurrir a diferentes métodos mecánicos para disminuir o aumentar la velocidad de final ya sea mediante engranes, banda, etc. En el caso de desear disminuir la velocidad mediante métodos eléctricos también poseemos variadores de velocidad, los cuales trataremos posteriormente.

### **3.4. POSIBLES CONSECUENCIAS Y PROBLEMAS EN LA ELECCION ERRONEA DE UN CRITERIO EN LA SELECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO**

Al momento de instalar un motor dentro de una industria de cualquier tipo debemos realizar diferente clase de cálculos y determinar las condiciones necesarias para el trabajo a realizar por dicho motor por lo que trataremos los posibles problemas que se pueden presentar al momento de elegir de manera errónea cada uno de los criterios para la selección correcta de un motor eléctrico.

#### **3.4.1. Selección errónea del número de fases**

Para el número de fases debemos tener en cuenta con el número de fases o el sistema eléctrico que recibe la industria antes de seleccionar el motor. En vista que no nos serviría un motor trifásico cuando en nuestra industria poseemos sólo sistema monofásico. Cada motor es creado de manera única y exclusiva tanto para monofásicos como trifásicos por lo que resulta imposible hacer trabajar un motor trifásico en un sistema monofásico. En el caso de instalar un motor monofásico si puede ser utilizado dentro de un sistema trifásico porque solo se usa una sola fase del mismo.

#### **3.4.2. Selección errónea de la tensión**

Desde el punto de vista del voltaje recibido por el motor debe estar dentro del rango que indica en placa o dentro de un +/- 5%, en caso de ser menor el motor no funcionará con la potencia necesaria y en el caso de ser mayor puede quemarse

parando su operación y necesitando ser cambiado o reparado inmediatamente. Por lo tanto antes de la instalación del mismo, debemos asegurarnos del voltaje que se posee dentro de la industria tanto en valor como a calidad del servicio que el sistema eléctrico general recibe. Esto se debe realizar tomando en cuenta que existirán otro tipo de cargas en el mismo sistema razón por la cual puede ser que la tensión se vea disminuida tanto en horas pico como en horas no pico.

### **3.4.3. Selección errónea de la frecuencia**

La frecuencia a la cual se trabaja dentro del Ecuador es de 60Hz, por lo tanto los motores que en nuestro país son ofertados cumplen son de esta frecuencia, pero hay que tener en cuenta al momento de solicitar un motor por medio de importación indicar este valor para que el fabricante no nos envíe alguno de otro valor. Dentro del tipo de cargas existentes en las industrias tenemos hoy en día muchos equipos electrónicos los cuales en ciertas ocasiones provocan desbalances dentro de los valores de frecuencia entregada por la empresa eléctrica razón por la cual se recomienda el uso de dispositivos para proteger a nuestros equipos de dichos inconvenientes. Alguna variación de la frecuencia se verá reflejada en la velocidad del motor.

### **3.4.4. Selección errónea acorde a las condiciones ambientales de la zona de trabajo de la máquina**

Este es uno de las principales consideraciones y la que menos se toma en cuenta, ésta consideración va de la mano con la clase de aislantes y barnices así como también del tipo de carcasa que posee el motor. En caso de cometer un error en este tipo de motor

lograremos que el motor en poco tiempo se quemara ya sea por el ingreso de algún ente extraño penetre dentro del motor ocasionando un cortocircuito y si el motor está rodeado por un ambiente explosivo y no es del tipo cerrado puede ocasionar un incendio o una explosión.

La temperatura a la cual trabaje el motor debe ser tomada muy en cuenta especialmente si va a trabajar en un ambiente cerrado o con poca ventilación porque si no se llega a tomar en cuenta las consideraciones correspondientes a la temperatura haríamos que el motor aumente su temperatura fuera de los rangos haciendo que este llegue a quemarse. El calentamiento del motor se produce, principalmente, por las pérdidas en el hierro de las chapas magnéticas y del núcleo y por las pérdidas en el cobre del devanado. Estas últimas calientan también el aislamiento de cada conductor. La temperatura admisible del aislamiento utilizado determina fundamentalmente la capacidad de carga del motor.

La clase de motor depende del trabajo y esfuerzo mecánico que el motor va a realizar en su trabajo, por lo cual existe una clasificación determinada por un ente internacional el cual nos indica para cada tipo de trabajo qué tipo de motor utilizar para que funcione de manera adecuada.

El tipo de carcasa depende del medio al cual se va a encontrar expuesto el motor. En caso de que sea mal elegido también podrá terminar en el deterioro definitivo o paulatino de la vida útil del motor y por consiguiente en que se quemara. Por ejemplo si se elige un motor a prueba de goteo de agua y lo tenemos en una industria de plástico o con polvos explosivos, el motor seleccionado puede quemarse o llegar a ocasionar

un incendio, razón por la cual este ítem debe de poseer gran importancia especialmente en ambientes especiales.

#### **3.4.5. Selección errónea de la potencia**

La potencia es la que determinará la capacidad o incapacidad del motor a realizar el trabajo para el cual está siendo instalado, la potencia se refleja con el torque con el cual se realiza el trabajo. Al momento de realizar la elección de la potencia podemos cometer algún error en el cálculo haciendo que la potencia del motor sea mayor o menor a la requerida. Para el caso en que la potencia del motor sea mayor, desde el punto de vista económico sería un valor agregado en un motor que está sobredimensionado para un trabajo que se podía realizar con un motor más pequeño, mientras que desde el punto de vista mecánico tendrá su ventaja al momento de ampliación a futuro de la empresa desde su potencia y que se conservará un poco mejor porque realizará menor esfuerzo que para el que fue creado. Para el caso en que el motor posea una potencia menor a la necesaria, pueden ocurrir dos cosas, la primera es que el motor ni siquiera arranque o que arranque de manera forzada en ambos casos la corriente que pasará por las bobinas será mayor a la nominal culminando con un cortocircuito interno del motor e incluso la provocación de un incendio del mismo y hasta de la empresa dependiendo del ambiente en el cual esté instalado.

#### **3.4.6. Selección errónea de la velocidad**

En el caso de la velocidad se debe tener en cuenta el tiempo que tarda el motor en llegar a su velocidad nominal, para determinar el momento exacto en el cual ya se

podrá contar con la misma para un óptimo trabajo. En el caso de seleccionar una velocidad menor a la necesaria dentro del sistema, se reflejará por un retraso en el trabajo realizado, por ejemplo, si es bombeo, la presión con la que llegará el producto será mucho menor, si es de bandas, notaremos que dicha banda retrasará el sistema en serie que se está trabajando. Para el caso en que la velocidad seleccionada sea menor ocurrirá todo lo contrario, es decir, mayor velocidad a la requerida. La mayor parte de las industrias poseen un tiempo en el cual no trabajan al 100% de su capacidad, realizando una menor producción, por lo tanto los motores tienden a trabajar de igual manera a menor velocidad de la nominal. Para estos casos se recomienda la utilización de variadores de velocidad, los cuales existen en el mercado de diferente clase.

De manera general el problema que ocasione la elección incorrecta de estos y demás factores que afectan al correcto funcionamiento de un motor, repercutirán no simplemente a la vida útil del motor sino a la productividad total de la empresa.

En el caso de chispas pueden ocasionar un incendio si el motor se encuentra ubicado dentro de un ambiente explosivo o con químicos u otros agentes en su entorno. La chispa es una señal que anda mal dentro de las funciones normales del motor. Pero el mejor parámetro para la detección que el motor no está funcionando de manera adecuada es la temperatura del mismo, porque a largo plazo si la temperatura se mantiene y el motor es de clase sencilla, todas sus partes en especial sus aislamientos y alambres llegarán al punto de no soportar dicha temperatura terminando de manera definitiva con el funcionamiento del motor. Ocasionando que la planta o industria

pare su funcionamiento si es que no cuenta con un sistema de emergencia. Esto se puede evitar mediante los mantenimientos preventivos constantes, y desde luego teniendo siempre a la mano la hoja de vida de sus motores en donde deben constar todas las anomalías o fallas que el motor presente a lo largo de su vida útil, incluso esta es una norma de seguridad eléctrica para evitar tanto el deterioro exagerado del motor como la prevención de accidentes tanto para los trabajadores como a la industria donde se encuentra instalado, evitando de esta manera pérdidas económicas para la compañía.

### **3.5. OTRO TIPO DE AVERIAS DE MOTORES**

En esta parte de este capítulo se hará referencia a causas y posibles soluciones de cualquier tipo para motores eléctricos:

#### **3.5.1. Servicio de corta duración**

El motor alcanza el calentamiento límite durante el tiempo de funcionamiento prescrito (10-30-60 minutos), la pausa tras el tiempo de funcionamiento debe ser lo suficientemente larga para que el motor pueda enfriarse.

#### **3.5.2. Servicio intermitente**

Se caracteriza por periodos alternos de pausa y trabajo.

#### **3.5.3. Protección contra averías**

Si se daña un motor, deben tomarse en cuentas los siguientes factores:

- Clase de máquina accionada.
- Potencia efectiva que debe desarrollar, HP.
- Velocidad de la máquina movida, RPM.

- Clase de transmisión (Acoplamiento elástico o rígido), sobre bancada común o separada, correa plana o trapezoidal, engranajes, tornillos sin fin, etc.
- Tensión entre fase de la red.
- Frecuencia de la red y velocidad del motor.
- Rotor anillos rozantes o jaula de ardilla.
- Clase de arranques, directo, estrella triángulo, resistencias estáticas, resistencias retóricas, auto transformador, etc.
- Forma constructiva.
- Protección mecánica.
- Regulación de velocidad.
- Tiempo de duración a velocidad mínima.
- Par resistente de la máquina accionada (MKG).
- Sentido de giro de la máquina accionada mirando desde el lado de acoplamiento derecha, izquierda o reversible.
- Frecuencia de arranque en intervalos menores de dos horas.
- Temperatura ambiente si sobrepasa los 40 °C.
- Indicar si el motor estará instalado en áreas peligrosas: Gas, Humedad, etc.

#### **3.5.4. El motor funciona en forma irregular**

- Avería en los rodamientos.
- La caja del motor está sometida a tensiones mecánicas.
- Acoplamiento mal equilibrado.

### **3.5.5. El motor no arranca**

- Tensión muy baja.
- Contacto del arrollamiento con la masa.
- Rodamiento totalmente dañado.
- Defecto en los dispositivos de arranques.

### **3.5.6. Motor trifásico arranca con dificultad y disminución de velocidad al ser cargado**

- Tensión demasiado baja.
- Caída de tensión en la línea de alimentación.
- Estator mal conectado, cuando el arranque es estrella triángulo.
- Contacto entre espiras del estator.
- Trifásico produce zumbido internamente y fluctuaciones de corriente en el estator
- Interrupción en el inducido.

### **3.5.7. Motor trifásico no arranca o lo hace con dificultad en la conexión estrella**

- Demasiada carga.
- Tensión de la red.
- Dañado el dispositivo de arranque estrella.

### **3.5.8. Motor trifásico se calienta rápidamente**

- Cortocircuito entre fases.

- Contacto entre muchas espiras.
- Contacto entre arrollamiento y masa.

### **3.5.9. Estator se calienta y aumenta la corriente**

- Estator mal conectado.
- Cortocircuito entre fases.
- Contacto entre arrollamientos y masa.

### **3.5.10. Motor se calienta excesivamente pero en proceso lento**

- Exceso de carga.
- Frecuencia de conexión y desconexión muy rápida.
- Tensión demasiado elevada.
- Tensión demasiado baja.
- Falla una fase.
- Interrupción en el devanado.
- Conexión equivocada.
- Contacto entre espiras.
- Cortocircuito entre fases.
- Poca ventilación.
- Inducido roza el estator.
- Cuerpos extraños en el entrehierro.
- La marcha no corresponde al régimen señalado por la placa.

## **CAPITULO 4**

### **4. MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DESEGURIDAD**

#### **4.1. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y CONTROL PARA MOTORES ELECTRICOS**

En vista que tenemos diferentes factores que podrían ir deteriorando de manera paulatina la vida útil de nuestros motores eléctricos, procederemos a explicar diferentes dispositivos para su protección y control, así como también de qué factores dependerá su ajuste y selección. Al momento del dimensionamiento, ubicación e instalación de los dispositivos de protección y control existen normas a seguir como son la NEC 430.42 que trata sobre la conexión de un motor y sus protecciones en un circuito derivado, la NEC 430.52 permite la elección y ajuste de los sistemas de protección para un motor que se encuentre ubicado en un solo ramal, la NEC 430.53 trata sobre la conexión de dos o más motores y sus protecciones a partir de un circuito derivado y la NEC 430.91 que nos ayuda con el envolvente o carcasa donde se deben

ubicar y material de construcción para evitar cortocircuitos o posibles incendios. Así como también las normas EN 60204-1 y la NFPA69 referentes a la ubicación de los equipos de manera adecuada acorde a la seguridad industrial para proteger tanto a los equipos como al personal y la industria en general.

Según la Autoridad de los Servicios Públicos de Panamá estadísticamente nos indica que a nivel mundial las causas de fallas más comunes en los motores eléctricos son las siguientes:

**TABLA 4.1: FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS MÁS COMUNES**

<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>PORCENTAJE DE QUE OCURRA</b>
Sobrecarga	30%
Pérdida de una fase	14%
Contaminantes	19%
Fallas en los rodamientos	13%
Envejecimiento	10%
Fallas en el rotor	5%
Otras causas	9%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

FUENTE: Autoridad de los Servicios Públicos de Panamá

De aquí podemos concluir que aproximadamente el 44% de las fallas se deben principalmente al sobrecalentamiento del motor eléctrico. Por lo que es recomendable que el motor posea las debidas protecciones para prevenir este tipo de fallas, pero desde el punto de vista económico puede resultar imposible el colocar una protección para cada tipo de falla por lo que es recomendable un estudio detallado del sistema y

de las condiciones del ambiente para realizar una protección económicamente óptima. En la actualidad muchos dispositivos poseen diversas protecciones en un mismo equipo.

A partir del estudio anterior procederemos a enumerar las condiciones para las cuales se recomienda que el motor deba ser protegido:

- Bajo voltaje
- Reconexión automática del sistema de distribución<sup>6</sup>
- Desbalances de voltaje
- Pérdida de una fase del sistema
- Inversión de la fase
- Sobrecorrientes
- Sobrecarga

En el anexo 4<sup>7</sup> encontraremos un cuadro resumen sobre estas condiciones, sus efectos y las protecciones necesarias para despejar y evitar mayores daños. Los mismos que a continuación se detallarán.

#### **4.1.1. Protección contra el bajo voltaje**

En esta condición, el motor recibe un voltaje menor al que necesita para trabajar de manera óptima lo que repercute en la potencia de salida del mismo, haciendo que el

---

<sup>6</sup> Reconexión automática del sistema de distribución: es una maniobra normal que realiza la empresa de distribución para restaurar el suministro de electricidad rápidamente.

<sup>7</sup> Guía de la protección de motores

motor trabaje de manera forzada pudiendo llegar hasta detenerse por completo ocasionando un recalentamiento de las bobinas del motor. La protección adecuada contra esta condición es la ubicación de un relé de bajo voltaje, que es un dispositivo con la capacidad de desconectar el motor del suministro de energía, pero con la capacidad de restablecer el suministro cuando el voltaje entregado por la empresa eléctrica sea el adecuado con un tiempo de espera determinado para su reconexión. A continuación la figura 4.1 nos muestra un relé de bajo voltaje de la marca GENIUS, este modelo en particular posee la capacidad de proteger al motor contra otro tipo de condiciones adversas como por ejemplo sobrecarga, sobrevoltaje, bajo Voltaje, desbalance, perdida de fase, fase invertida, rotor bloqueado, y variación de frecuencia.

**FIGURA 4.1: RELE DE BAJO VOLTAJE**



FUENTE:[http://www.genteca.com.ve/images/productos/genius/GENIUS\\_III.jpg](http://www.genteca.com.ve/images/productos/genius/GENIUS_III.jpg)

#### **4.1.2. Protección contra la reconexión automática del sistema de distribución**

Esta es una condición peligrosa principalmente cuando el motor que operan con carga continua como por ejemplo los compresores, esto es debido que al operar con grandes cargas la reenergización inmediata puede ocasionar un sobrecalentamiento de los elementos internos del motor principalmente en los componentes de sus bobinas, provocando una disminución en la vida útil del motor y pudiendo llegar a ocasionar que el motor se quemara. La ubicación de un relé temporizado como sistema de protección contra esta condición es una buena opción, para que en el momento de la reenergización el motor no encienda de manera inmediata. Este relé debe ser calibrado de manera que las condiciones para el motor sean las propicias, y de esta manera no ocasionar los problemas antes mencionados. La figura 4.2 nos muestra un relé temporizado de marca HAGER.

**FIGURA 4.2: PROTECTOR CONTRA RECONEXIÓN AUTOMÁTICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**



FUENTE: [http://www.hager.es/images/images\\_09/distrib\\_elec/mando\\_gestion/bg\\_hager\\_rele-temporizado\\_12\\_unidades.jpg](http://www.hager.es/images/images_09/distrib_elec/mando_gestion/bg_hager_rele-temporizado_12_unidades.jpg)

#### **4.1.3. Protección contra desbalances de voltaje**

El subcapítulo 2.3.4 se ha tratado el estudio sobre los desbalances de voltaje y corriente, extrayendo del mismo que el principal efecto de los desbalances de voltaje y corriente es el aumento considerable en ciertos casos de la temperatura del motor, causando un deterioramiento de los elementos internos en especial a las bobinas y sus componentes. Por lo que se recomienda la instalación de un relé de desbalance trifásico, o también llamado de secuencia negativa, dispositivo que se encarga de desconectar la alimentación del motor en caso de un desbalance considerable del sistema de alimentación. La mayoría de estos dispositivos vienen con diferentes niveles tanto de voltaje como de un margen para poder considerar como aceptable el desbalance que se presente en el sistema. La figura 4.1 nos muestra un relé que posee protección contra el desbalance trifásico.

#### 4.1.4. Protección contra la pérdida de una fase

Considerada como la peor falla que puede soportar un motor eléctrico, debido a que si no esta falla no es despejada a tiempo el motor se quemará de manera instantánea. La principal fuente para la presencia de esta condición es cuando un fusible se quema dejando al motor funcionando con dos fases únicamente, por lo que los devanados se sobrecalentarán induciendo un deterioro más rápido que condiciones anteriores. La protección para esta condición es un relé de pérdida de fase, dispositivo que dejará al motor sin alimentación hasta que las condiciones vuelvan a la normalidad. La figura 4.3 nos muestra un relé de pérdida de fase marca GENIUS.

FIGURA 4.3: RELE DE PERDIDA DE FASE



FUENTE: [http://www.genteca.com.ve/images/productos/genius/GENIUS\\_II.jpg](http://www.genteca.com.ve/images/productos/genius/GENIUS_II.jpg)

#### 4.1.5. Protección contra la inversión de fase

Esta condición ocasiona que la rotación del motor sea en el otro sentido, lo cual puede causar lesiones al personal que opera la máquina así como también

desperfectos al equipo. El dispositivo de protección para esta condición es el relé de protección de inversión de fase, el que desconectará al motor del sistema eléctrico en el instante que se ocasione una inversión de fase. La figura 4.4 nos muestra un relé de inversión de fase marca FANOX.

**FIGURA 4.4: RELE DE INVERSION DE FASE**



FUENTE: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/rele-de-proteccion-de-motor-de-bomba-353356.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/rele-de-proteccion-de-motor-de-bomba-353356.jpg)

#### **4.1.6. Protección contra sobrecorriente**

Esta condición se presenta principalmente cuando por diferentes causas se ocasiona un cortocircuito en el motor, el lugar donde normalmente se pueden presentar los cortocircuitos es en los devanados, debido a la acumulación de polvo u otros agentes que deterioran los materiales aislantes y de impregnación, también se pueden

presentar en la caja de conexiones pero muy raras veces esto ocurre. Esto se puede prevenir mediante la adecuada planificación de mantenimientos preventivos. El dispositivo que protege al motor contra esta condición es el relé de sobrecorriente, se encarga de dar una alarma cuando existe presencia de sobrecorriente. La figura 4.5 nos muestra un relé de sobrecorriente marca EDIBON.

**FIGURA4.5: RELE DE SOBRECORRIENTE**



FUENTE: <http://www.edibon.com/products/img/units/electricity/machines/ERP-SDND.jpg>

#### **4.1.7. Protección contra sobrecarga**

Esta condición cuando el motor trabaja con una carga mayor a la de sus especificaciones; es decir, la curva de carga supera a la de torque del motor. Ocasionando un aumento en la temperatura y por consiguiente un deterioramiento en los elementos del motor. El dispositivo de protección para esta condición es un relé de sobrecarga, el mismo que se encargará de desconectar al motor del sistema

eléctrico cuando esta condición se presente. La figura 4.6 nos muestra un relé de sobrecarga marca SIEMENS.

**FIGURA 4.6: RELE DE SOBRECARGA**



FUENTE: <http://www.ingelsim.cl/images/3RB2016-1RB0.jpg>

Para las condiciones de sobrecarga y sobrecorriente, comúnmente es utilizado un dispositivo conocido como relé térmico el mismo que se encarga de medir la corriente del motor y despejar de igual manera un exceso de la misma, pero este dispositivo debe de ir conectado siempre a un contactor, dispositivo mecánico de conexión controlado por un electroimán con una operación tipo on/off.

La norma IEC 947 clasifica a los contactores en:

- AC1: corresponde a todo tipo de cargas AC con factor de potencia  $\geq 0.95$ , es decir, cargas no inductivas o débilmente inductivas.
- AC2: corresponde a la operación de motores de rotor bobinado. Al cierre el contactor cierra sobre una corriente de arranque que es del orden de 2.5 veces

la corriente nominal del motor. El contactor abre la corriente de arranque a un voltaje que no excede el voltaje de alimentación. Se encuentran en esta categoría algunos equipos para puentes grúa y máquinas de gran potencia con tiempos de arranque prolongados.

- AC3: corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor en funcionamiento normal del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la corriente nominal del mismo con un voltaje entre bornes que será aproximadamente 20% del voltaje de la fuente de alimentación. La apertura en este caso no es severa.
- AC4: corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor sobre la corriente de arranque del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la misma corriente con un voltaje entre bornes que será mayor cuanto menor sea la velocidad del motor, pudiendo llegar a ser de la misma magnitud que el voltaje de la fuente de alimentación. Se encuentran en esta categoría algunos equipos de levantamiento de pequeñas potencias.

Dependiendo de la utilización y características del motor y su comportamiento con la carga se determinará el tipo de contactor a utilizarse y del tipo de arranque y su duración el tipo de relé térmico. La figura 4.7 nos muestra el modelo de un contactor eléctrico.

**FIGURA 4.7: CONTACTOR ELECTRICO**



FUENTE: [http://2.bp.blogspot.com/\\_8HFiJyK-fVI/SDXK-T2hfGI/AAAAAAAAADQ/oNT4ZbjWlw4/s400/Contactor.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_8HFiJyK-fVI/SDXK-T2hfGI/AAAAAAAAADQ/oNT4ZbjWlw4/s400/Contactor.jpg)

## **4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONTROLES Y PROTECCIONES PARA MOTORES ELECTRICOS**

Los dispositivos de control y protección para su correcta selección deben estar amparados en los siguientes criterios que a continuación se los detalla:

### **4.2.1. Tipo de corriente, tensión de alimentación y la frecuencia**

Estos dispositivos vienen fabricados para corriente alterna como continua dependiendo del tipo de labor que van a realizar, por lo tanto se debe tener precaución al momento de trabajar con estos equipos en solicitar y verificar que el asignado al diseño es el que se necesita. Esta cautela se debe tener principalmente al momento de la instalación.

El nivel de tensión al cual va a ser conectado el dispositivo en vista que en el comercio podemos encontrarlos en diferentes niveles de voltaje. En el caso de la alimentación independiente de las bobinas, estas deberán ser alimentadas con el nivel que indique en su placa y con el que cuente la industria, que deben ser los mismos.

En nuestro país como anteriormente fue mencionado el valor de la frecuencia con el que cuenta el sistema de distribución es a 60Hz, por lo tanto se solicitará que todos los equipos control y protección deberán tener como valor de fabricación dicho valor.

Ciertos dispositivos necesitarán otros datos como el nivel de corriente de rotor bloqueado o estudios de cortocircuito del sistema e incluso el tiempo que tardará el motor en arrancar, para poder obtener el valor cercano al cual deberán ser calibrados los dispositivos de protección y control.

#### **4.2.2. Potencia nominal de la carga**

La potencia nominal será determinada por la potencia del motor, recordemos que esto debe ir de acuerdo a la carga que el motor va a mover. Por lo tanto este valor de la potencia dependerá directamente de la potencia del motor, y su correcto dimensionamiento tomando en cuenta los factores que pueden afectar el desempeño del mismo.

#### **4.2.3. Condiciones de servicio**

Existen industrias en las cuales sus motores entran en funcionamiento varias veces al día y de manera repetitiva, ocasionando que los dispositivos de control trabajen con

corrientes elevadas tanto de corte como de arranque. De igual manera existen equipos que su labor dentro de la industria ocasiona que sean encendidos pocas veces durante el día es decir un uso de tipo medio, y otros casi nulo. Por lo que las condiciones de servicio se refieren al tipo de servicio que presta el dispositivo y que va a experimentar, por lo que puede ser de servicio ligero, normal, duro y extremo. Esto se aplica principalmente a los contactores puesto que estos son los dispositivos que se encargan de abrir y soportar las corrientes de arranque y de corte.

#### **4.2.4. Tipo de circuito**

El circuito que va a alimentar puede ser el de potencia o para el de control, a partir de este segundo se tiene también en cuenta si el número de contactos auxiliares que se necesitan en el mismo dispositivo o anexo a este. En el caso de contar con n número mayor con el que cuenta el dispositivo, en la actualidad existen otros dispositivos complementarios que aumentan el número de contactos auxiliares. Tomando mucho en cuenta que se poseen dispositivos con contactos normalmente cerrados y abiertos, en esos casos deberemos indicar el tipo de contactos que se requieran.

#### **4.2.5. Categoría de empleo**

La norma IEC 947 se ha encargado de definir que dependiendo el tipo de carga que va a energizar, controlar o proteger un equipo se deberá utilizar un diseño en especial. En el subcapítulo 4.1.7 se ha incluido la categoría de empleo de los contactores, dicha clasificación está dentro de la norma IEC 947.

### **4.3. POSIBLES CONSECUENCIAS Y PROBLEMAS EN LA SELECCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCION O CONTROL**

Como en el caso de los motores, los dispositivos de control también pueden ocasionar problemas tanto al equipo mismo como a la industria frente al caso de haber sido elegido de manera errónea. Las posibles consecuencias se presentan a continuación.

#### **4.3.1. Selección errónea del tipo de corriente, tensión de alimentación o frecuencia**

Los dispositivos que vienen diseñados para trabajar con corriente continua no funcionan con corriente alterna, esto no ocurre en todos los dispositivos son pocos los modelos que vienen con la capacidad de trabajar con ambos tipos de corrientes. Pero en el caso que el dispositivo no sea de este tipo, lo que ocurrirá es que no funcione de manera correcta para la función que fue diseñado.

En el nivel de tensión si es de un dispositivo con un diseño de mayor tensión al de la red, lo que ocurrirá que no funcionará de manera correcta. Pero en el caso que sea de menor tensión al de la red de alimentación, el dispositivo quedará inhabilitado porque su bobina recibirá niveles de voltaje para el que no fue diseñado, provocando que la misma se quemé.

En el caso de la frecuencia un error en la misma ocasionará que los tiempos de reacción en el caso de los dispositivos de protección no sean los especificados en la placa del mismo, y por consiguiente no despejará la falla de manera oportuna pudiendo llegar a que las bobinas del motor se quemen.

#### **4.3.2. Selección errónea de la potencia de carga**

En el caso de elegir de manera errónea la potencia de carga del dispositivo de control o de protección, se deteriorará a mediano o corto plazo, especialmente en las partes que soportan las corrientes del mismo. Provocando que deba ser cambiado de manera casi inmediata. Por ejemplo en el caso del contactor, los contactos se destruirán debido a que la corriente para el que fueron diseñados es muy pequeña para la que están soportando.

#### **4.3.3. Selección errónea de la condición de servicio**

Si la elección de la condición de servicio es errónea de una de uso extremo por uno de duro, normal o ligero uso, ocasionará que el dispositivo se deteriore en poco tiempo cosa que no ocurre en el caso que la elección sea de manera inversa, pero en ese caso tendremos problemas con los costos del mismo, debido a que un dispositivo de uso extremo tiene un mayor costo porque sus componentes están diseñados para este tipo de servicio, relación con uno de ligero uso.

#### **4.3.4. Selección errónea en el tipo de circuito**

Un dispositivo de control no puede ser utilizado por un dispositivo de potencia, en primer lugar las corrientes para el cual es diseñado el de control son menores a los de potencia por lo tanto sus componentes son de inferior calidad. Por lo tanto bajo ningún criterio se recomienda el uso de uno por otro.

#### **4.3.5. Selección errónea de la categoría de empleo**

Esta clasificación diseñada por el IEC, ha sido basada mediante experimentos en laboratorios y en la industria. Razón por la cual se ha diseñado un tipo de dispositivo para cada tipo de dispositivo de control y protección. Por lo tanto resultará imposible el usar un dispositivo categoría AC1 en lugar de uno categoría AC4, debido a sus componentes internos que han sido diseñados para un uso determinado.

## CONCLUSIONES

1. Las normas eléctricas están dictadas tanto para el fabricante como para el instalador del motor, dichas normas fueron creadas para salvaguardar tanto la vida de los equipos como la del personal. En nuestro país la norma base es el NEC, la cual es utilizada para las instalaciones de diferentes índoles.
2. La clasificación NEMA utilizada en este trabajo nos indica la clase de motor, esto es, las características termales que el motor podrá soportar por lo tanto el diseñador deberá tomar muy en cuenta el trabajo a realizar y su ambiente de trabajo para determinar la clase de motor a utilizar.
3. Motores con presencia de chispas no deberán ser ubicados por ningún motivo en ambientes especiales o explosivos.
4. Los criterios mostrados en el capítulo 3 son los más importantes, en caso que el diseñador observe la conveniencia de añadir uno que otro factor aparte de los indicados lo puede hacer siempre y cuando dicho factor este afectando en presente o a futuro al motor y su correcto funcionamiento.
5. Al seleccionar algún mecanismo de control deberá de seleccionarse el más idónea tomando en cuenta el trabajo que está realizando y que lo pueda continuar realizando de manera satisfactoria.
6. Existen diferentes formas de variar la velocidad del motor, el diseñador deberá seleccionar la adecuada acorde a sus necesidades.

7. Todo motor deberá tener sus protecciones adecuadas o en el peor de los casos sólo la protección de sobrecarga y de puesta a tierra para salvaguardar la vida útil del motor y la del personal, respectivamente.
8. En caso de limpieza interna o de ciertas partes del motor, deberá ser realizada con equipos y materiales que sean los adecuados para no deteriorar dichas partes y que posteriormente no cumplan su objetivo.
9. Se puede concluir que si en algún caso no se encuentra en el mercado un motor de cierta clase y características se puede seleccionar uno de una característica y clase superior siempre que cumpla con las especificaciones para el trabajo a realizar.
10. También podemos concluir que todo motor debe poseer una hoja de vida en la cual se especifique tanto sus respectivos mantenimientos, características de funcionamiento normal así como también sus fallas y reparaciones. Esto ayuda a determinar los esfuerzos de dicha máquina y su deterioro.

## RECOMENDACIONES

1. Al momento de la selección idónea de un motor es recomendable que el diseñador debe de tomar en cuenta todos los factores tanto internos, externos como indirectos e indirectos que afectan en la vida útil y correcto funcionamiento del motor pero por ser imposible y económicamente costoso el diseñador deberá estudiar de manera detallada los principales riesgos que posee dentro de la industria y colocar la protección adecuada para dichos riesgos.
2. En caso de calentamiento exagerado por parte de algún motor, inmediatamente deberá ser examinado para evitar futuros problemas o que el motor se deteriore más de lo que al momento deberá estar.
3. Para la industria química o petrolera se recomienda que se utilicen motores con carcasa totalmente cerrada o antiexplosivos debido a su ambiente de trabajo y el riesgo que pueden ocasionar estos.
4. Al momento de seleccionar algún tipo de arrancador, el diseñador debe tomar en cuenta las características de torque, potencia y velocidad de cada uno, y relacionarlas con las características propias del motor y de la carga a mover o trabajo a realizar.
5. Se recomienda realizar mantenimiento preventivo por lo menos cada 6 meses o según lo considere el ingeniero a cargo del área de mantenimiento. Esto dependerá del tiempo de trabajo diario del motor y el esfuerzo mecánico que a su consideración se está efectuando.

6. Al momento de realizar una reconstrucción total o parcial de los bobinados, el ingeniero deberá verificar o hacer conocer las temperaturas al cual el motor se encuentra trabajando para que se utilicen los materiales adecuados, esto a pesar que en la placa indique pero es un factor de seguridad porque no todos los eléctricos tienden a revisar dichas características.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **ETAPAS DE LA FALLA DE UNA BOBINA**

Hay tres etapas en la falla de la bobina que comienzan como interrupción del aislamiento entre los conductores, estos cortocircuitos de la bobina pueden, pero no siempre, terminar como una falla de la resistencia del aislamiento cuando la bobina falla realmente. La detección de cambios entre los conductores proporciona una gran oportunidad para reparar o reemplazar antes de que el equipo pare de funcionar. El índice real de la falla depende de un número de factores incluyendo:

1. Severidad de la falla
2. Potencial entre los conductores
3. Tipo y cantidad de aislante
4. Causa de la falla

Las etapas de un cortocircuito de bobina son:

Etapa 1: El aislamiento entre los conductores se tensiona, causando un cambio a los valores resistivos y capacitivos del aislamiento en el punto de la falla. Las altas temperaturas y fallas reactivas similares dan lugar a la carbonización del aislamiento

en ese punto. La carbonización puede también ocurrir debido al seguimiento a través del sistema de aislamiento. Los valores del MCA del ángulo de la fase y de I/F serán efectuados en este punto.

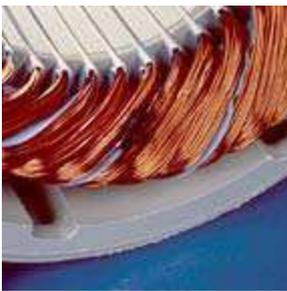
Etapa 2: El punto de la falla llega a ser más resistente. Una inductancia mutua ocurre entre la porción "buena" de la bobina (y de otros componentes que llevan la corriente del sistema) y de las vueltas que ponen en cortocircuito. Las pérdidas de  $I^2R$  aumentan al punto de falla debido al aumento en la corriente dentro de las vueltas que ponen en cortocircuito, aumentando la temperatura en ese punto y haciendo al sistema de aislamiento carbonizarse rápidamente. El motor puede comenzar a disparar a este punto, aunque puede poder funcionar después de un período corto de enfriamiento.

Etapa 3: El aislamiento se interrumpe y la energía dentro del punto del cortocircuito puede causar una ruptura explosiva en el sistema de aislamiento y la vaporización de las bobinas. La inductancia y a veces la resistencia, pueden detectar la avería a este punto.

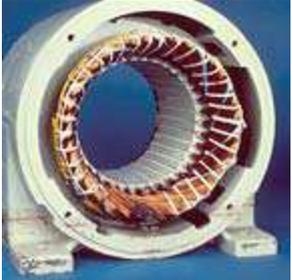
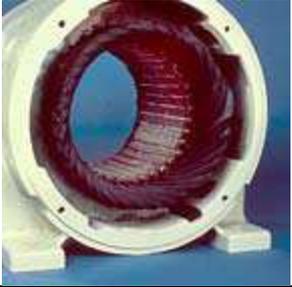
La contaminación de la bobina, la interrupción termal, la incursión de la humedad, la corona, transitorios, sobrecargas y la flexión mecánica pueden iniciar la falla en la bobina.

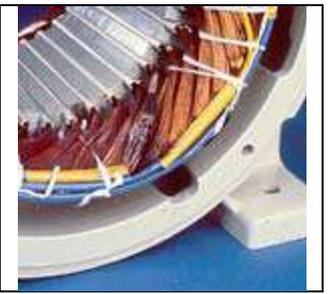
## ANEXO 2

### DIFERENTES TIPOS DE FALLAS Y SUS POSIBLES CAUSAS

TIPO DE FALLA	CAUSAS	FOTO
Operación en 2 fases (Conexión Y)	Esta falla es el resultado de la operación cuando una fase del sistema de potencia se abre (falla). Esto normalmente ocurre por un fusible quemado, un contactor abierto, problemas en las líneas o malas conexiones.	
Operación en 2 Fases (Conexión Δ)	Esta falla es el resultado de la operación cuando una fase del sistema de potencia se abre (falla). Esto normalmente ocurre por un fusible quemado, un contactor abierto, problemas en las líneas o malas conexiones.	
Corto Circuito Entre Fases	Las fallas entre fases no son muy frecuentes por ser grande el aislamiento entre ellas. Además, como los bobinados van encajados en las ranuras de las chapas magnéticas que van conectadas a tierra, las fallas entre fases se convierten rápidamente en fallas a tierra, siendo detectadas por la protección del caso. Esta clase de falla puede ocurrir cuando el material utilizado como tapas para dividir las fases es de una clase inadecuada por lo tanto no podrá soportar ni el trabajo ni la temperatura que el mismo alcance, también suele ocurrir con la presencia de picos de voltaje.	
Corto Circuito Entre Espiras	Siempre y cuando los devanados de cada fase del estator no estén divididos en dos o más circuitos, la detección de cortos entre espiras de una misma fase es bastante compleja. Esta clase de falla puede ocurrir cuando se manipula de manera errónea el	

	alambre o se encuentra sentido dejando el barniz de aislamiento deteriorado o con menor valor de protección.	
Corto Circuito en Bobina	En ciertas ocasiones este tipo de falla ocurre cuando se esfuerza mucho la máquina, también por vejez de la misma y por ende del tipo de material utilizado pero principalmente esta falla se presenta en el aislamiento y es causada por la presencia de contaminantes, materiales abrasivos, vibración o picos de voltaje.	
Falla a Tierra en Extremo de Ranura	Esta falla principalmente se ocasiona por la acumulación de contaminantes, materiales abrasivos, vibración o picos de voltaje.	
Falla a Tierra Dentro de Ranura	Esta falla principalmente se ocasiona por la acumulación de contaminantes, materiales abrasivos, vibración o picos de voltaje.	
	Esta clase de falla normalmente puede ocurrir después de la reparación completa de los bobinados del motor, al existir alguna equivocación en la realización de las conexiones internas del mismo, cuando se	

Corto Circuito en Conexión	realiza un mal empalme de las conexiones, cuando el aislamiento no es el apropiado para la clase de motor en el que se está trabajando, por exceso de golpes al momento de cerrar las bobinas y por impregnación inadecuada de barnices (incluyendo su secado).	
Falla por Desbalances de voltaje	El deterioro térmico del aislamiento en una fase del bobinado puede resultar de voltajes desbalanceados. Esto usualmente es causado por desbalances de cargas en el sistema eléctrico, conexiones deficientes en los terminales del motor o alta resistencia en contactos (presión insuficiente). Nota: Un uno por ciento de desbalance de voltajes, puede resultar en un seis a diez por ciento de desbalance en las corrientes.	
Falla por Sobrecarga	El deterioro térmico del aislamiento en las tres fases del bobinado es causado típicamente por demandas de carga que exceden la potencia del motor Nota: Bajo voltaje y sobre voltajes (excediendo el estándar de NEMA) resultarán en el mismo deterioro del sistema de aislamiento.	
Falla por Rotor Bloqueado	Un severo deterioro térmico del aislamiento en las tres fases del motor es causado por corrientes excesivamente altas debido a la operación a rotor bloqueado o semibloqueado (falla en rodamientos). Esto también puede ocurrir por arranques o reversión de giro excesivos (fuera del rango permitido).	
Falla por Picos de Voltaje	Esta falla en el aislamiento es causada por picos de voltaje. Los picos de voltaje son frecuentemente el resultado de la apertura y cierre de contactos (breaker, cuchilla, etc.) en los circuitos de potencia, descargas eléctricas (rayos), descarga de capacitores y	

	<p>los efectos de dispositivos de estado sólido tales como variadores de frecuencia.</p>	
--	--	---

## **ANEXO 3**

### **TROPICALIZACION**

La tropicalización ofrece una gran ayuda en la mejora de las propiedades de bobinas aislamiento y la resistencia contra las condiciones climáticas desfavorables, mediante la impregnación de un sistema de aislamiento en forma de mica. El sistema de aislamiento empleado en este estudio, es conocido comercialmente como “sistema ThermalasticEpoxy” y fue originalmente desarrollado por la “Westinghouse Electric Corporation” en los EEUU.

Fundamentalmente el “ThermalasticEpoxy”, se basa en el uso de aislamiento de mica como barrera de tierra. La mica es impregnada con resinas Epoxy sin solvente, como paso posterior a su colocación sobre las bobinas del motor. A continuación se inicia una reacción química que transforma la resina de un líquido a un sólido, que soporta y sella a la mica, para formar una masa compuesta e impenetrable.

La característica más sobresaliente de la resina Epoxy o “Epoxyd” como la bautizaron los alemanes cuando la desarrollaron originalmente hace 35 años. Es su excelente resistencia a la humedad y a la mayoría de los agentes destructivos de carácter químico. Estas propiedades han sido probadas extensivamente en la práctica y en los laboratorios.

### **Aislamiento de las bobinas del estator**

El aislamiento que cubre a los conductores a los conductores de cobre, es el que provee la barrera aislante entre vueltas. En condiciones normales de operación, la tensión entre espiras se mantiene a niveles bajos. Sin embargo, la mayoría de los motores de corriente alterna, se arrancan a plena tensión a través de la línea. Esto impone severos esfuerzos, ya que pueden presentarse ondas de impulso de frente cortado en el devanado del estator. Estas ondas, como es bien conocido, inducen grandes esfuerzos dieléctricos entre espiras, especialmente aquellas que se encuentran cerca de las terminales de alimentación del motor en los cabezales del devanado.

### **Embobinado del Estator**

Al iniciarse la operación de colocar las bobinas en las ranuras respectivas, el núcleo ensamblado del estator está constituido por el paquete de laminaciones únicamente. Las bobinas aún no han sido impregnadas con Epoxy. Con ello se obtiene un máximo de accesibilidad y de facilidad para instalarlas, sin imponer a las bobinas esfuerzos mecánicos previos, que pudiesen dañar el aislamiento de las mismas.

Los cabezales de las bobinas del estator, se aseguran firmemente para resistir los esfuerzos de rechazo inducidos por la fuente de corriente, al arrancar el motor a plena tensión. Esto se logra por medio de los anillos de soportes aislados, así como separadores que se insertan entre bobina en los cabezales. En esta forma se establece una estructura de arco, que soporta los cabezales en posición firme y segura.

### **Impregnado al vacío y a presión**

El estator ya embobinado y precalentado, se inserta en un tanque sellado en el cual se evacua el aire, hasta lograr presiones absolutas muy cercanas al vacío total.

Con ello se logran evacuar todos los gases y la humedad que permanecían aprisionados en el devanado. Manteniendo el vacío, se admite al tanque la resina Epoxy en forma de líquido que inunda y cubre totalmente el estator embobinado. Posteriormente se rompe el vacío y se aplica sobre la resina una presión positiva de varias atmósferas, con objeto de forzarla a ocupar hasta las infinitesimal cavidad que pueda tener el devanado.

Una vez impregnado, el estator pasa a un horno en donde el Epoxy se polimeriza, es decir se endurece por temperatura, pero sin perder su elasticidad.

Con el polimerizado, también queda automáticamente interconstruido el sistema de soporte de las bobinas. Esto se debe al hecho de que los separadores entre bobinas, de los que ya hablamos, están hechos de fieltro de Poliester altamente absorbente. Al impregnar y polimerizar la resina absorbida por los soportes, éstos forman una masa semisólida y elástica que soporta los cabezales perfectamente.

### **Tropicalización adicional**

En adición a las múltiples propiedades que hemos descrito para el aislamiento “ThermolasticEpoxy”, que le dan una enorme confiabilidad para resistir las condiciones tropicales, se aplican al motor otra serie de acabados como sigue:

- a) Todas las partes metálicas internas del motor se pintan con dos capas de “Primer”, a base de Epoxy y Cromato de Zinc. Esto incluye también el devanado y los diámetros interior del estator y exterior del rotor.
- b) El exterior del motor, recibe las dos capas de “Primer” ya mencionadas, mas dos capas de pintura con la misma base Epoxy y Cromato de Zinc.

Como bien es conocido, este acabado se usa extensivamente en la Industria del Petróleo, debido a:

- Excepcional resistencia a los ácidos y álcalis.
- Excelente resistencia a la humedad.
- Buena resistencia a los solventes, ya sean éstos aromáticos, alifáticos, quejonas, etc.
- Resiste sin agrietarse temperaturas hasta de 130°C.
- Extraordinaria adhesión y dureza.

## ANEXO 4

### CUADRO RESUMEN DE LAS CONDICIONES ADVERSAS MAS FRECUENTES QUE AFECTAN A LOS MOTORES

Condiciones adversas	Efectos	Protección
Bajo voltaje	Esta condición puede causar que el motor trabaje forzado o se detenga y cause sobrecalentamiento. Esto induce que el motor se deteriore o se queme.	El relé de bajo voltaje desconecta el motor de la fuente de energía, con la capacidad de restablecer el suministro cuando el voltaje vuelva a su condición normal.
Revierte automático del sistema de distribución, después de la pérdida inicial	Esta condición es especialmente peligrosa para los motores que operan cargas de compresores. Porque la reenergización de los motores con cargas pesadas puede ocasionar sobrecalentamiento, lo cual induce una disminución en la vida útil del motor o provoca que se queme.	Un relé temporizado podría prevenir la reenergización del motor, cuando se restablece el suministro de energía eléctrica. Este relé debe ser ajustado en el tiempo de tal manera que el compresor regrese a su condición de operación adecuada, antes de que reinicie su operación.
Desbalance en el nivel de tensión	Esta condición ocasiona que la temperatura se incremente en el embobinado del motor, lo que causa una disminución en la vida útil y desperdicio de energía.	Un relé de desbalance trifásico (relé de secuencia negativa) para desconectar la fuente. El ajuste y calibración de este relé requiere de ayuda profesional.
Pérdida de una fase del sistema	Esta es la peor condición de un desbalance de fase. Puede ocurrir cuando un fusible se quema. Esta condición puede causar sobre calentamiento, lo que induce un deterioro en la vida útil del motor. Si esta condición permanece un periodo de tiempo largo, causará que el motor se queme.	Relé de pérdida de fase para desconectar la fuente, hasta que las condiciones vuelvan a la normalidad
Inversión de la fase	Esta condición ocasiona que los motores roten en dirección opuesta, lo cual puede causar lesiones al personal de operación y desperfectos al equipo.	Relé de protección de inversión de fase para desconectar la fuente
Sobrecorriente	Corrientes excesiva en el circuito provocan sobrecalentamiento y deterioro en la vida útil del motor.	Relé de sobrecorriente para dar una alarma o desconectar el motor de la fuente, hasta que las condiciones vuelvan a la normalidad
Sobrecarga (Stalling)	Esta condición ocurre cuando el motor no tiene la capacidad para mover la carga conectada. Esto causa un calor excesivo en el motor, lo cual induce un deterioro en la vida útil del motor y/o que el motor se queme.	Relé sobrecarga (stalling) para desconectar el motor de la fuente.

## BIBLIOGRAFIA

- RAMIREZ VASQUEZ JOSE, “*Enciclopedia CEAC de Electricidad*”, Barcelona, 1983, 4ª Edición.
- ELECTRICAL APPARATUS SERVICE ASSOCIATION INC., “*Normas EASA*”, USA, 1995
- NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION, “*NEMA MOTOR STANDARDS*”, USA, 2005
- PROCTOR Y. DAVID, “*TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*”, USA, 1984
- AGUSTIN CISA, “*Comando y protección de motores eléctricos*”, Uruguay, 2009
- FERNANDO COBELO, “*Protección de Motores eléctricos*”, España, 2007
- ELECTROINSTALADOR, “*Aplicaciones y fallas de los motores eléctricos*”, Argentina, 2009
- ROBERTO VELTRI, “*Estudio teórico de las aplicaciones que tienen los principales motores eléctricos, y algunas de las fallas que en ellos se presentan*”, Venezuela, 2005
- NEC, “*National Electrical Code*”, USA, 2002
- RAYMOND, DYMOND AND MISTRY, “*Design of increased safety electrical machine: Development activities and certification testing*”, USA, 2000
- WEG, “*Selección y aplicación de motores eléctricos*”, USA, 2007
- JUAN C. HIDALGO B. “*Análisis de falla de motores eléctricos*”, COSTA RICA, 2003

## PAGINAS WEB

- [http://www.bobinadoselectrotecnisol.com/pdf/catalogo\\_fallas.pdf](http://www.bobinadoselectrotecnisol.com/pdf/catalogo_fallas.pdf)
- <http://electricidad-viatger.blogspot.com/2008/05/los-motores-elctricos-en-corriente.html>
- [http://www.confabilidad.net/art\\_06/estimando\\_la\\_vida\\_del\\_motor\\_electrico.htm](http://www.confabilidad.net/art_06/estimando_la_vida_del_motor_electrico.htm)
- [http://rapidshare.com/files/57971084/NEC\\_C\\_digo\\_El\\_ctrico\\_Nacional\\_2002.rar](http://rapidshare.com/files/57971084/NEC_C_digo_El_ctrico_Nacional_2002.rar)
- <http://www.electricidadbasica.net/conductores2.htm>
- [www.quality-energy.com](http://www.quality-energy.com)
- <http://www.bacharach-training.com/norm/protecting.htm>