

# Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para un motor eléctrico trifásico de 4 kW y 1500 rpm con arrancador estrella – triángulo

Armin Primera Pérez, código 23552011948  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.  
Programa Académico  
Universidad Antonio Nariño  
Cartagena de Indias  
aprimera47@uan.edu.co  
Director Ing. Juan Vicente Cajal Barros  
jucajal@uan.edu.co

*“El aspecto más triste de la vida es que la ciencia reúne el conocimiento más rápidamente que la sociedad la sabiduría”.*  
Isaac Asimov

**RESUMEN:** En materia de mecánica, control y mantenimiento de motores eléctricos se ha planteado la necesidad de diseñar un plan estratégico que contribuya al mejoramiento de los procesos correspondientes a la vigilancia y prevención de este tipo de maquinaria con el fin de hacer más eficaz y seguro su funcionamiento. Bajo esa línea, en el presente anteproyecto se propone la elaboración de un plan de mantenimiento, particularmente sobre motores eléctricos trifásicos de 4kw y 1500 rpm con la modalidad de arranque estrella triángulo, esto, a través del análisis concreto de sus propios procesos operativos con el fin de generar una estructura metodológica segura de forma preventiva.

**PALABRAS CLAVE:** Motor trifásico, arranque estrella-triángulo, arranque, mantenimiento preventivo, sistemas electromecánicos.

**Abstract:** In terms of mechanics, control and maintenance of electric motors, the need to design a strategic plan that contributes to the improvement of the processes corresponding to the surveillance and prevention of this type of machinery in order to make its

operation more efficient and safe has been raised. Along these lines, in this preliminary project, the development of a maintenance plan is proposed, particularly on three-phase electric motors of 4kw and 1500 rpm with the star-delta starting mode, this, through the specific analysis of its own operating processes with the in order to generate a safe methodological structure in a preventive manner.

**Keywords:** Three-phase motor, star-delta starting, starting, preventive maintenance, electromechanical systems

## I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de metodología especializada en el campo de la mecánica se ha constituido como un campo de estudio de amplia relevancia en tanto que dicho ejercicio permitirá el diseño y adecuación de procesos que accederán a una operación eficaz y sobretodo segura de la maquinaria en la cual pretenda establecerse dicho plan de mejoramiento. En este caso particular, la respectiva investigación se enfoca en la aplicabilidad de un tipo especial de

arranque: el arranque estrella, esto considerando que, desde un amplio abordaje investigativo, se ha establecido que este coopera de forma eficiente en la reducción de riesgos y de gasto energético en los motores trifásicos.

Con el arranque de un motor en estrella-triángulo, se pretende reducir la corriente en el momento del arranque, lo que ayuda a aportar una tensión menor que con la conexión estrella (Caputo, 2015). Lo anterior es útil para que la corriente se reduzca a un tercio del volumen de carga que puede ocurrir en el inicio inmediato. Por otro lado, el par de arranque disminuye por debajo de la mitad, esto genera que para el sistema no se puede implementar en motores de potencia media que arrancan con cargas múltiples. Además, puede ocurrir un inconveniente, como que se produzca un corte de energía al realizar un cambio de una estrella a un triángulo.

Durante el desarrollo del documento se presenta el funcionamiento de un motor trifásico con conexión estrella-triángulo, a partir del conocimiento de sus componentes y la función que desarrolla cada uno, a partir del análisis técnico con el objetivo de poder recomendar un sistema eficiente en base a diversos planteamientos (S&P, 2019). Existen diversas aplicaciones en donde se emplea su funcionamiento, pudiendo acoplar el motor ya sea a un compresor, bombas, poleas, ventiladores, entre otros haciendo una caracterización en las ventajas y desventajas por medios de pruebas y estudios para lograr resultados favorables debido a que el usuario tendrá conocimientos básicos del funcionamiento de un motor trifásico con conexión estrella-triángulo. Ahora bien, en esta línea de investigación se han encontrado algunos precedentes que se han dedicado al estudio particular de las condiciones de arranque planteadas para este tipo de motores.

Como antecedente se tiene el proyecto investigativo titulado "Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria" para optar título profesional de ingeniero electricista de la facultad de ingeniería de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica de Arequipa (Huamán, L. 2020), siendo esta conexión la más factible en la industria por la operatividad y el funcionamiento que brinda, ejecutando su trabajo con una alta confiabilidad brindando al operario seguridad y teniendo un buen impacto al medio ambiente y la industria por su eficiencia y fácil mantenimiento.

Por otro lado, en la investigación denominada "Diseño de un banco de ensayo para sistema de arranque en motores trifásicos", cuya finalidad principal fue la difusión de conocimiento sobre este tipo de motores y sus medidas de seguridad a través de la proposición de un banco de ensayos (Valderrama Campos, Mendoza Cosme, & Azabache Ramírez, 2019), finalmente el documento sobre arranque y protección de motores trifásicos, del autor Roldán Viloría, en el cual aborda la reglamentación y normatividad establecida para el uso y protección de este tipo de motores. (Roldán Viloría, 2005)

## II. MARCO TEORICO

### FUNDAMENTOS GENERALES PARA LA OPERACIÓN DE UN MOTOR TRIFÁSICO

Para comprender cómo funciona un motor de CA, primero se deben estudiar los conceptos de magnetismo, electromagnetismo, corriente alterna y corriente inducida; para lo cual se destina el presente capítulo.

La figura 1-1 muestra una herradura magnética típica que ya conocemos. Cada imán contiene un ánodo y un cátodo. En un imán, los polos opuestos se atraen. Así es como el ánodo de un imán puede atraer al cátodo del otro como se observa en la Figura 1-2. De manera similar, los electrodos que llevan la misma carga se repelen como se observan en la Figura 1-3. Sin embargo, cada extremo de un imán puede atraer partículas de hierro que no tienen un polo magnético.

**Figura 1-1:** Imán en forma de herradura.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-2:** Representación de imanes con polaridades diferentes.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-3:** Representación de imanes con polaridades iguales.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

El electro magneto consiste en un núcleo de hierro con los controladores circundantes como se muestra en la Figura 1-4, cuando el cable de alimentación está conectado a la máquina de control de la batería, se crea un campo magnético. El punto de núcleo de acero será un grado positivo y la diferencia será negativa. Si el flujo de la junta está conectado hacia abajo, la dirección del flujo estará en la dirección opuesta y se modificará la polarización magnética.

**Figura 1-4:** Electro magneto.

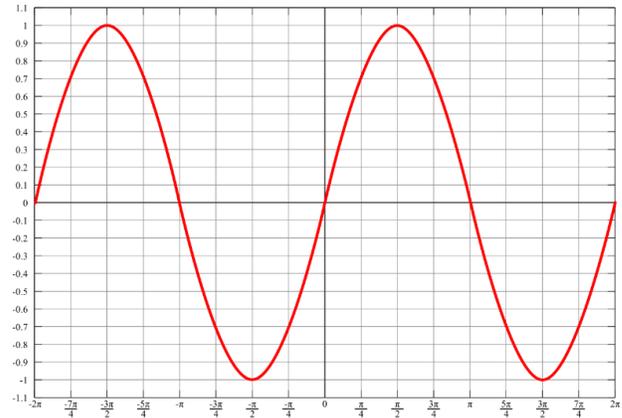


Nombre de la fuente: Google imágenes.

La Figura 1-5 muestra una representación de la CA actual alternativamente. En Colombia, la dirección de la corriente alterna cambia cada 60 ciclos por segundo. La corriente alcanza su punto máximo en una dirección, luego disminuye a cero y alcanza su punto máximo en la otra dirección. Si se conecta un electroimán a una corriente alterna, la polaridad cambiará de positiva a negativa 60 revoluciones por segundo o 3600 revoluciones por minuto. La

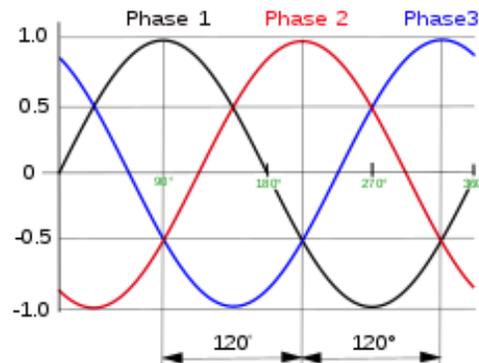
industria utiliza tres fases de corriente alterna en más aplicaciones. Están desfasados entre sí en un ángulo de  $120^\circ$  como se muestra en la Figura 1-6.

**Figura 1-5:** Diagrama de una señal sinusoidal de corriente alterna.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-6:** Diagrama de corriente alterna de tres fases.

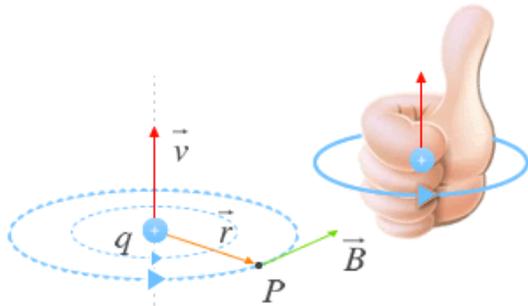


Nombre de la fuente: Google imágenes.

Figura 1-7 La corriente ocurre cuando un conductor pasa a través de un campo magnético. Esto es proporcional a la velocidad con la que se mueve el conductor en el campo magnético. La dirección de la corriente es perpendicular a la dirección de la velocidad relativa y depende únicamente de la instantánea del polo del campo magnético que pasa, como se muestra en la Figura 1-8. Si se conectan dos conductores como se muestra en la Figura 1-9 y se giran en un campo magnético, entonces se generará corriente, en la Figura 9 se muestra una descripción de un generador simple. De manera similar, la corriente

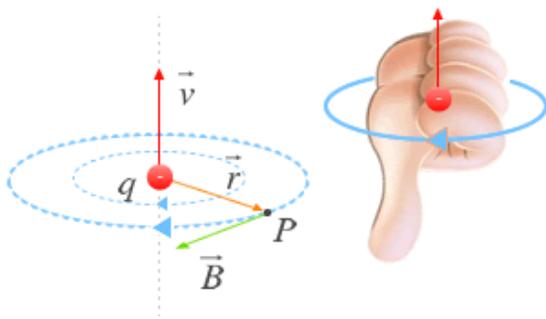
que rodea al rotor cambiará dos veces en una rotación del rotor.

**Figura 1-7:** Inducción positiva de una corriente en un campo magnético.



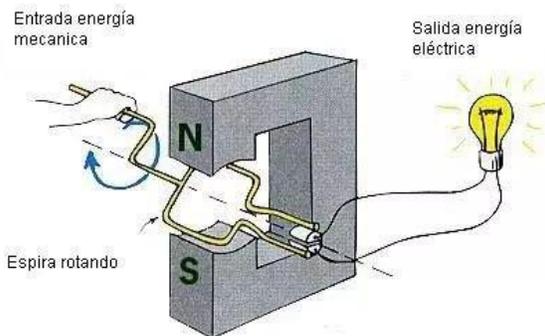
Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-8:** Inducción negativa de una corriente en un campo magnético.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-9:** Generador simple de corriente.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Motor de inducción con corriente alterna:**

Los motores de inducción pueden ser tanto de anillo deslizante como de jaula de ardilla,

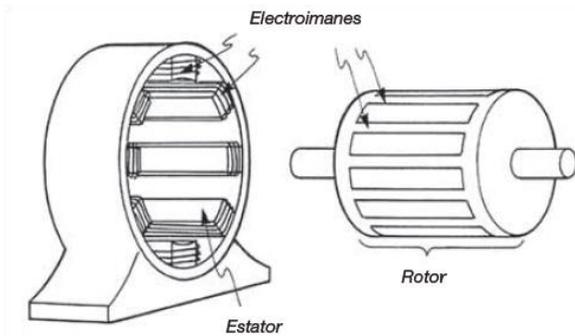
dependiendo de la construcción del rotor. Un motor de bucle deslizante tiene una bobina en el rotor conectada a bucles deslizantes, lo que permite cerrar el circuito mediante escobillas en una resistencia externa calculada para limitar la corriente durante el arranque y mantener el par necesario para acelerar la carga a su velocidad de trabajo.

Un motor de jaula de ardilla tiene un rotor aislado externamente, por lo que la característica de velocidad de par elegida en el diseño no se puede cambiar a menos que se reduzca el voltaje aplicado al devanado del estator, cambiando así el cuadrado del par. La presión. Los arrancadores de bajo voltaje se utilizan en motores de jaula de ardilla para causar grandes oscilaciones en cualquier sistema de iluminación al que estén conectados.

Un motor de inducción es básicamente un motor de velocidad constante y es una función de la frecuencia de línea y el número de pares de polos en la bobina. La velocidad de un motor de anillos deslizantes se puede controlar hasta cierto punto aplicando resistencia al circuito giratorio, pero para cualquier disminución en la velocidad, la potencia extraída de la red es constante para un modelo trifásico, aunque proporcionalmente menor potencia de salida, acelera. Por lo tanto, hay pérdida de energía en la resistencia de sintonización. Por otro lado, aunque la velocidad del motor de anillos rotantes es prácticamente constante para el mismo par, una carga variable con una resistencia fija en el circuito del rotor resulta en una regulación de velocidad muy pobre por parte del motor.

**Estructura del motor de inducción:** Un motor de inducción consta de un electroimán estático (estator) colocado en el motor y un electroimán giratorio (rotor) montado entre los rodamientos y centrado en el estator, como se observa en la Figura 1-10.

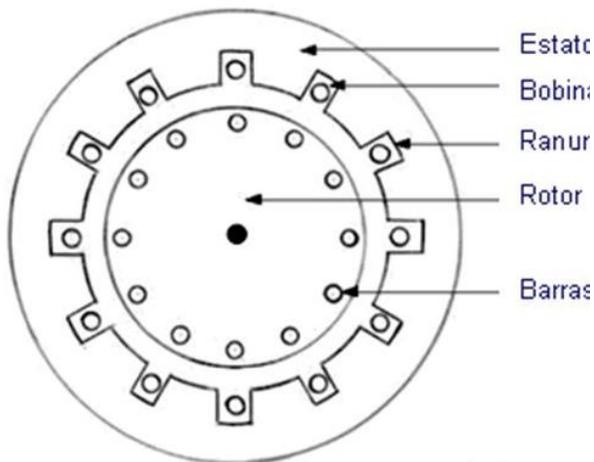
**Figura 1-10:** Componentes básicos de un motor.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

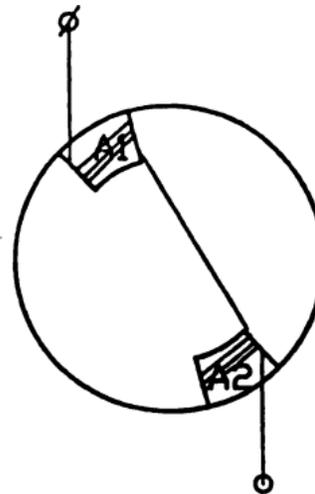
El estator del motor, como se observa en la Figura 1-11 es un electroimán que consta de bobinas de alambre en ranuras en un núcleo de hierro. Un núcleo de hierro consiste en una pila de placas de hierro o placas con una capa de óxido entre ellas. El núcleo de hierro se convertirá en los polos del electroimán del estator, y el dipolo del estator se muestra en la Figura 1-12.

**Figura 1-11:** Representación de la estructura de un estator.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

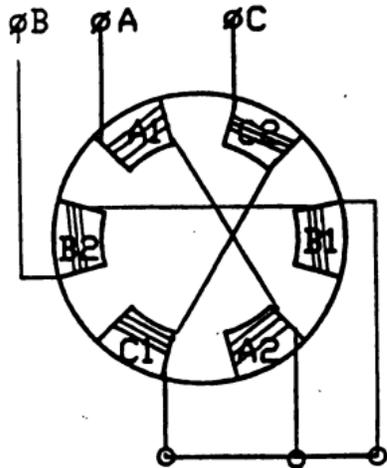
**Figura 1-12:** Estator de dos polos



Nombre de la fuente: Google imágenes.

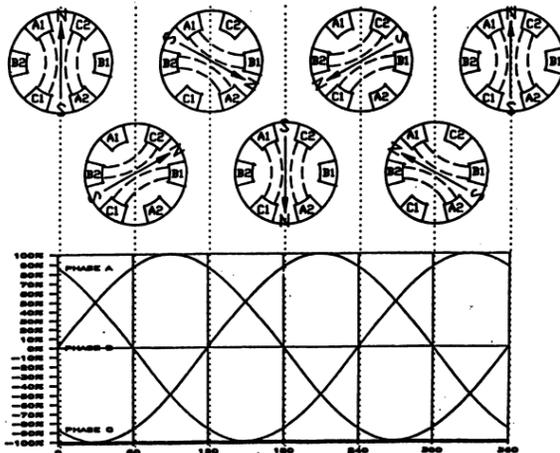
Un motor trifásico bipolar, como se observa en la Figura 1-13 tiene muchos devanados simples en un núcleo de hierro, en el que la corriente alterna hace que los dos polos cambien de positivo a polar y viceversa durante 60 ciclos por segundo. En un motor trifásico bipolar, hay tres fases eléctricas que están desfasadas 120 grados. La Figura 1-14 muestra cómo la corriente alterna en cada fase produce una rotación suave del campo magnético. En un motor bipolar, el campo magnético gira a 3600 rpm. En el primer número, la fase B es 0, la fase A es positiva al 87 % y la fase C es negativa al 87 %. El resultado es un campo magnético con estos polos entre la fase A y la fase C. Después de 60 grados, la etapa A cae a 0, la etapa B al 87 % y la etapa C al -87 %. Como resultado, los electrodos del estator se ubican entre las fases B y C. El campo magnético gira una vez como se muestra en la figura. Una vez que el voltaje en cada fase sea sinusoidal, la rotación del campo será uniforme. Si el polo del estator está en el medio del campo magnético del estator, la fuerza magnética hará que el polo gire a la misma velocidad que el campo magnético del estator. Una representación simple de esto se muestra en la Figura 1-15.

**Figura 1-13:** Estator de dos polos y tres fases



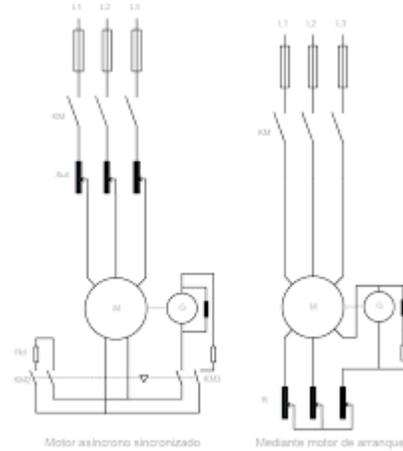
Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-14:** Operación de un motor de inducción eléctrica



Nombre de la fuente: Google imágenes.

**Figura 1-15:** Motor sincrónico básico.



Nombre de la fuente: Google imágenes.

El magnetismo del estator girará en el rotor a la misma frecuencia que el campo magnético. Este tipo de motor se llama motor sincrónico. Un imán giratorio se puede fijar a un polo magnético, pero generalmente es un electroimán de CC o un generador de CC que gira sobre el mismo eje (llamado excitador). Un motor sincrónico bipolar girará exactamente a 3600 rpm; El motor sincrónico de cuatro polos girará a 1800 rpm; El motor sincrónico de 6 polos girará con una precisión de 1200 rpm y así sucesivamente. Ignore la carga del motor. La fórmula para calcular la velocidad sincrónica se observa en Ecuación (1.1):

$$V_s = F * \frac{120}{N} \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

Dónde:

- F es la frecuencia de línea en hercios (60 Hz).
- N es el número de polos del estator.

El rotor de un motor de inducción se diferencia de un rotor sincrónico en que la magnetización del rotor es causada por una corriente inducida que fluye a través de las varillas del rotor, que consisten en varias varillas giratorias, generalmente de cobre o aluminio, y un anillo o conductor deslizante. Los anillos conectan las varillas del rotor a las pilas de placas de acero.

La inducción de corriente en la parte móvil de un motor de inducción es fácil de entender si se elige un motor bipolar al ralentí y se acelera hasta la

velocidad de funcionamiento. Para hacerlo bien, digamos que el motor consta de un estator trifásico bipolar con un rotor como se muestra en la figura 1-16.

**Figura 1-16:** Rotor de un motor eléctrico



Nombre de la fuente: Google imágenes.

Cuando se aplica corriente al estator, el campo magnético giratorio comienza a girar a la frecuencia de línea y las varillas del estator del rotor están sujetas al movimiento de rotación máximo del campo magnético, creando así una corriente máxima a lo largo de ellas.

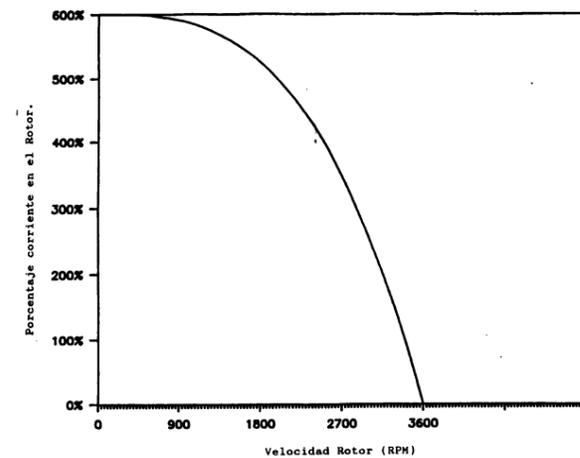
Cuando el polo norte del estator pasa por las barras del rotor, se induce corriente a lo largo de la barra. En el mismo momento, las varillas del rotor del otro lado de la armadura pasan al polo sur del estator y la corriente se induce en la dirección opuesta. El resultado es un flujo circular de corriente en el rotor a lo largo de una barra del rotor conectada a través de un anillo deslizante a lo largo de la otra barra del rotor. Este flujo circular de corriente a través de las barras del rotor y alrededor de la lámina hace que el rotor se comporte como un electroimán. La fuerza del electroimán alcanza un máximo cuando el rotor está estacionario y se acelera. A medida que aumenta la velocidad del rotor, disminuye el movimiento relativo entre las barras del rotor y el campo magnético giratorio; además, disminuye el flujo de corriente y el par, a medida que el motor se acerca a la velocidad síncrona, el movimiento relativo entre el campo del estator y las barras del rotor se acerca a cero y el flujo de corriente a través del rotor se detiene. El magnetismo del rotor también disminuirá hasta que el par generado por el motor sea igual al par

necesario para moverlo con cierto equipo de accionamiento. Un aumento de la carga en el motor conduce a una disminución de la velocidad, y una disminución de la carga conduce a un aumento de la velocidad. La fricción y la pérdida en los devanados del motor hacen que el motor nunca alcance una velocidad totalmente síncrona. La diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor se denomina frecuencia de deslizamiento.

Los datos de la placa de identificación indican la velocidad máxima a plena carga del motor, por ejemplo, motor de 4 polos, 3000 HP, 2300 V, el motor toma 670 amperios a plena carga y la velocidad es de 1785 rpm. Si la carga disminuye la corriente estaría disminuyendo; mientras la velocidad aumenta ligeramente. Esto es importante para comprender las variedades de deslizamiento con carga.

La figura 17 muestra un diagrama de la corriente del rotor en función de la velocidad del rotor. La corriente circulante en el rotor suele ser de unas 6 revoluciones de la corriente nominal a plena carga del motor.

**Figura 1-17:** Corriente del rotor en función de la velocidad del rotor



Nombre de la fuente: Google imágenes.

## TIPOS DE MANTENIMIENTO

Se explican brevemente los tipos de mantenimiento comunes a la mayoría de los motores de corriente alterna trifásicos, para

que puedan ser utilizados de forma continua y en buen estado de funcionamiento, se procede a hablar de los tipos de mantenimiento como el mantenimiento preventivo, corrección y predicción.

### **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es un conjunto de actividades que ayudan a asegurar el funcionamiento continuo y seguro de las máquinas y equipos en general, cuando se realizan de manera regular y satisfactoria. El mantenimiento se realiza a través de un programa predeterminado de operaciones basado en evaluaciones e inspecciones que a veces conducen a reparaciones o modificaciones. Con estas operaciones se eliminan situaciones de peligro, como averías o interrupciones relacionadas con eventos inesperados, y por ende mayores costos. Es importante hacer un estudio de los movimientos o desgastes según el uso de cada parte de la máquina y así realizar el mantenimiento a tiempo de una manera más ordenada para asegurar el buen funcionamiento de la obra. Esta organización cubre la programación de todas las actividades de mantenimiento de cada máquina y controla el estricto cumplimiento de las actividades mencionadas. El mantenimiento preventivo tiene como objetivo reducir las interrupciones de producción y actúa como una herramienta para reducir los costos de producción. El mantenimiento preventivo debe cumplir muy estrictamente con los siguientes factores:

- ¿Qué se debe hacer para mantener el dispositivo funcionando?
- ¿Cuándo deberías hacerlo?
- ¿Quiénes son las personas necesarias para hacer este trabajo?
- ¿Cuánto tiempo se tarda en hacerlo?

El mantenimiento preventivo es el negocio más rentable y esa es la razón por la que la mayoría de las fábricas funcionan.

### **Mantenimiento correctivo**

Es un conjunto de actividades encaminadas a solucionar un problema que ocurrió en un tiempo determinado y así poner en marcha un equipo lo

más rápido posible y a un menor costo. Para desarrollar este mantenimiento, es necesario completar los siguientes pasos:

- Determinar el problema y su causa.
- Encuentra diferentes alternativas para solucionarlo.
- Evaluar los beneficios y elegir la mejor alternativa.
- Cree un plan de reparación de acuerdo con las personas y el equipo disponibles.
- Supervisar las actividades que se han desarrollado.

Aclarar y clasificar la información sobre tiempo, personal y repuestos utilizados en los trabajos realizados, así como las notas al efecto.

Este tipo de mantenimiento tiene sus limitaciones:

- Debido al desgaste de los equipos, se pueden observar mayores problemas debido a la poca o nula actividad de mantenimiento preventivo, por lo que se requiere personal adicional para corregir estos problemas inesperados.
- Una pequeña falla que se reconocerá a tiempo con el mantenimiento preventivo puede causar más daño a la máquina, aumentando el tiempo de reparación y operación.
- Dado que no hay stock de repuestos necesarios, dado que no hay repuestos disponibles, el tiempo de inactividad de la máquina aumentará.

Si la falla coincide con un evento irreversible en la producción, el personal y las máquinas se ven obligados a trabajar en condiciones precarias.

### **Mantenimiento predictivo**

Diagnostica futuros fallos mediante ensayos, inspecciones y análisis de datos de máquinas en funcionamiento gracias a equipos de ensayo y diagnóstico no destructivos sin interrumpir el proceso. Fabricación y asistencia en la detección de anomalías y diagnóstico de posibles problemas.

Gracias a este tipo de mantenimiento se asegura la producción continua ya que evita la paralización de los equipos y permite la operación de equipos costosos o cuando no se permiten fallas inesperadas. Con este tipo de mantenimiento, será posible reparar las piezas dañadas de la máquina antes de que aparezcan y avanzar de inmediato, sin interferir con el proceso de producción.

En el campo mecánico, el análisis de vibraciones ayuda a detectar las condiciones de desgaste o desalineación del rodamiento, y se puede corregir el desequilibrio de los equipos rotativos. La termografía como herramienta de mantenimiento predictivo comenzó a ser ampliamente utilizada; La tecnología de medición de temperatura es una tecnología que permite que la visión humana vea el espectro infrarrojo, y las imágenes térmicas se obtienen mediante un método de medición de temperatura llamado imagen térmica, la imagen térmica permite el análisis cuantitativo para determinar la precisión de temperatura isotérmica.

Gracias a esta tecnología se pueden observar a una distancia segura objetos inmóviles o en movimiento, lo cual es importante cuando existen altas temperaturas, cargas eléctricas, gases tóxicos o humo en el sistema o área en general, deben ser examinados o analizados. Mediante el uso de equipos para la medición de temperatura, es posible detectar rápidamente el estado de los sistemas industriales eléctricos, neumáticos y mecánicos, así como su diseño y operación en general.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar el plan de mantenimiento preventivo para un motor eléctrico trifásico de 4 kW, 440 v y 1500\_rpm con arrancador estrella – triángulo.

#### **B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los sistemas constitutivos del motor eléctrico de 4 kW, 440v y 1500\_rpm con arranque estrella -triángulo.
- Establecer las acciones de mantenimiento preventivo que se requiere realizar en cada sistema identificado.

- Presentar el plan de mantenimiento preventivo un motor eléctrico trifásico de 4 kW, 440 v y 1500\_rpm con arrancador estrella – triángulo.

### **IV. METODOLOGIA**

Dado que el objetivo de la investigación será la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para motores trifásicos en configuración estrella triángulo, se recurrirá a investigaciones de carácter experimental, ancladas al paradigma científico, ya que permite aglutinar formas de investigación que se mueven entre lo analítico y lo experimental de manera sintética (Gallego Torres & González Crespo)

El presente trabajo investigativo será diseñado bajo el planteamiento de un enfoque *cuantitativo*, el cual consiste en un proceso estructurado por fases, sistemático y ordenado, con decisiones lógicas orientadas a dar respuestas adecuadas al problema propuesto (Monje, 2011). Además, de ser el marco metodológico, que permite un acercamiento de manera precisa, al cumplimiento de las finalidades expuestas en este documento; usando técnicas de recolección de datos e información, tales como referencias bibliográficas, búsquedas en internet, estadísticas y recomendaciones de fabricantes, entre otros.

La indagación recolectada, debe ser posteriormente clasificada, permitiendo un manejo más limpio de la información, clasificando la fuente en función del tipo de averiguación que maneja, si es de carácter técnico, ingenieril o matemático, cabe aclarar que todos los enfoques son necesarios; pero nos centraremos en el plan de mantenimiento de un motor eléctrico con arranque trifásico en configuración estrella-triángulo.

Dicho esto, el proceso a seguir estará delimitado en las siguientes fases:

Fase 1.- Recopilación de información:

En esta primera etapa comenzando en la primera semana, se procede a consultar las diferentes fuentes de información a fin de acumular los estudios teóricos que se relacionan con nuestra temática de investigación.

Fase 2.- Identificación de los sistemas principales:

Una vez recopilado el conocimiento de carácter instructivo obtenido de los precedentes y los manuales, se procederá a clasificar la información obtenida para trabajar de forma concreta y física con el motor, estableciendo pruebas de acuerdo con tipo de uso planteado en los instructivos.

Fase 3.-Determinación de las actividades de mantenimiento.

En esta etapa del documento se procederá con la clasificación y sistematización de la información para desarrollar el tratamiento de la misma, la cual es preliminar del proyecto, lo que devendrá en la elaboración de un paso por paso de manejo y mantenimiento, el cual es el objetivo primordial de la presente investigación.

Fase 4.- Elaboración del plan de mantenimiento preventivo.

Esta etapa corresponde a la parte final de proyecto, donde se realiza el plan de mantenimiento preventivo que permitan generar un antecedente académico para posteriores trabajos que tenga relación con la electromecánica y más específicamente con planes de mantenimiento preventivo para motores eléctricos trifásicos con arranque estrella – triángulo.

Fase 5 – Entrega del proyecto.

En la terminación de todo el proceso de investigación y estudio obteniendo como resultado, un plan de mantenimiento eficiente y confiable para ser empleado por el usuario con la fiabilidad de que el equipo tendrá una mejor operatividad.

## V. RESULTADOS

En cuanto al mantenimiento, se trata de arreglar un defecto y tenemos dos variantes:

- Inmediato: Es el cambio que se hace en el momento en que se identifica el defecto.

- Diferido: Cuando el ítem en cuestión ya no está activo y luego se puede hacer la reparación correspondiente.

A continuación, se presentan las consideraciones técnicas a tener en cuenta para realizar el mantenimiento preventivo para un motor eléctrico trifásico de 4 kW y 1500 rpm con arrancador estrella – triángulo.

### Aspectos importantes de la inspección y el mantenimiento periódicos

Puntos clave para la inspección y el mantenimiento regulares:

1. Por razones de seguridad, el mantenimiento y la reparación deben ser realizados por personal especialmente capacitado.

2. Algunas pruebas, como la resistencia del aislamiento, generalmente requieren que el motor se detenga y se aisle de la fuente de alimentación.

3. Durante el funcionamiento del motor, la superficie puede generar altas temperaturas, por lo que se debe prevenir y evitar el contacto con la superficie. Manténgase alejado de objetos en movimiento y cargados. Cuando evalúe el motor, no quitar la protección de seguridad de ninguna manera. La rápida sustitución de las piezas desgastadas garantiza una larga vida útil y evita daños en el equipo. Las inspecciones periódicas, las inspecciones regulares y el mantenimiento son importantes para evitar daños y prolongar la vida útil.

Debido a cambios en el tiempo y el entorno, es difícil organizar un período regular de inspección y mantenimiento cuando el motor está en uso. Sin embargo, como guía, se recomienda seguir regularmente un plan de mantenimiento de la planta. En general, el alcance de la inspección está determinado por los siguientes factores:

- a) Temperatura ambiente.
- b) frecuencias de arranque y parada.
- c) Los componentes dañados a menudo afectan el rendimiento del motor.
- d) piezas sujetas a desgaste.
- e) Debe reconocerse la importancia de los motores en los sistemas operativos de los equipos. Por lo tanto, el mantenimiento

adecuado es muy importante, especialmente cuando se opera en condiciones extremas o duras.

### **Devanados del motor**

- a) Se debe proceder a realizar la medida de la resistencia de aislamiento y los estándares para determinar la calidad de la resistencia de aislamiento.
- b) Inspección de extremos de bobina:
  - 1) La acumulación de grasa y suciedad en la banda única puede provocar el deterioro del aislamiento y un efecto de enfriamiento deficiente.
  - 2) La humedad no debe acumularse. Si la humedad no es visible, las bobinas deben mantenerse calientes cuando el motor no esté en uso.
  - 3) Decoloración. Esto se debe principalmente al sobrecalentamiento.
- c) Asegúrese de que la cuña no haya cambiado de su posición original.
- d) Asegúrese de que el enchufe al final de la bobina esté en la posición correcta.
- e)

### **Limpieza del interior del motor**

a) Después de que el motor ha estado funcionando durante cierto tiempo, la suciedad interna, el hollín, la grasa, etc. se acumula inevitablemente, lo que puede causar daños. Se requiere una limpieza e inspección periódicas para garantizar un rendimiento óptimo. b) Durante la limpieza, se debe tener en cuenta lo siguiente:

(1) Si se usa un soplador:

a) El aire debe estar libre de humedad.

b) Mantenga la presión del aire de manera que no afecte las piezas.

(2) Aspiradora:

La suciedad residual se puede eliminar con una aspiradora antes y después de otros métodos de limpieza. Esta es una forma muy eficaz de eliminar la suciedad residual de la superficie del serpentín sin dispersarla. Las herramientas de vacío deben

ser no metálicas para no dañar el aislamiento de los devanados.

(3) El trapeado:

La suciedad de los devanados se puede eliminar con un agente de limpieza suave y sin pelusa. Si está un poco grasoso, puede humedecerlo con un solvente a base de petróleo (pero no gotee) para estar seguro. Los solventes como el inhibidor metilcloroformo pueden usarse en áreas peligrosas, pero deben usarse con precaución y eliminarse de inmediato. Aunque este solvente no es inflamable en condiciones normales, es tóxico y se deben observar las precauciones de salud y seguridad adecuadas al manipularlo.

(4) Mantenga la tubería principal completamente limpia. La diferencia de aumento de temperatura antes y después de la limpieza es de unos 10 °C.

### **Limpieza del exterior del motor**

a) En los motores de ventilación abiertos, las pantallas y rejillas sobre las tomas de aire no deben acumular suciedad o pelusa, etc., que puedan restringir el libre flujo de aire.

b) Si el motor está equipado con un filtro de aire, debe reemplazarse (una vez) o limpiarse y renovarse (permanentemente) con la frecuencia que las condiciones lo requieran. Es mejor reemplazar o reparar tanto como sea posible en lugar de demasiado poco.

c) Durante la limpieza, se debe prestar especial atención a los motores completamente cerrados enfriados por aire. Los ventiladores externos deben limpiarse a fondo, ya que cualquier residuo de suciedad sin limpiar puede causar desequilibrio y vibración.

### **Mantenimiento de rodamientos antifricción**

#### **Frecuencia de relubricación**

La vida útil del lubricante varía mucho según el modelo, la velocidad del motor, la temperatura, las condiciones de funcionamiento, etc. Por lo tanto, no es posible especificar un intervalo de recarga. Sin embargo, para la transmisión de conexión directa, los períodos en la Tabla 3-1 deben usarse como guía.

**Recomendaciones:**

- a) Los ciclos dados en la Tabla 3-1 deben reducirse a la mitad si los rodamientos se utilizan en transmisiones por correa y/o en ambientes de alta temperatura, suciedad o alta humedad.
- b) Consulte la placa de engrase si está instalada en el motor.
- c) Si los lados impulsor y no impulsor de los cojinetes se especifican en los ciclos de la Tabla 3-1, estos cojinetes deben lubricarse en el ciclo más corto posible para facilitar la operación y el mantenimiento.

La cantidad de grasa a llenar depende del tipo, tamaño y diseño del rodamiento. La cantidad máxima de reemplazo para cada cojinete se muestra en la Tabla 3-2 y la Tabla 3-3:

**Tabla 3-2:** Cantidad de lubricante en función del número de rodamiento (Parte 1)

**Tabla 3-1:** Frecuencia de relubricación en función del tipo de rodamiento.

Número de rodamiento	600 RPM	720 RPM	750 RPM	900 RPM	1000 RPM	1200 RPM	1500 RPM	1800 RPM	3000 RPM	3600 RPM
10									2000 Hrs.	
12										
13										
14									1000 Hrs.	
15										
16									720 Hrs.	
17										
18				3000 Hrs.				2000 Hrs.		
20										
22										
24								1500 Hrs.		
26										
28						2000 Hrs.		1000 Hrs.		
30										
32								500 Hrs.		
34						1500 Hrs.				
36										
38				2000 Hrs.		1000 Hrs.				

Número de rodamiento	600 RPM	720 RPM	750 RPM	900 RPM	1000 RPM	1200 RPM	1500 RPM	1800 RPM
NU214								
15								2000 Hrs.
16								
17								
18				3000 Hrs.				1500 Hrs.
20								
22								1000 Hrs.
24								
26						2000 Hrs.		
28								500 Hrs.
30								
32								
34						2000 Hrs.		1000 Hrs.
36								
38				2000 Hrs.				
40								
44				2000 Hrs.				
48				1000 Hrs.				

Número de rodamiento	600 RPM	720 RPM	750 RPM	900 RPM	1000 RPM	1200 RPM	1500 RPM	1800 RPM
22220								300 Hrs.
22								
24								500 Hrs.
26								
28								
30								300 Hrs.
32								
34						500 Hrs.		
36								
38								
40						500 Hrs.		
44								
48						300 Hrs.		

Núm. de rodamiento	Cantidad de reposición
6210	30 g
6212	40
6213	50
6214	50
6215	60
6216	60
6217	80
6218	80
6220	100
6222	120
6224	120
6226	140
6228	160
6230	180
6232	200
6234	250
6236	300
6238	350
6240	400
6244	450
6248	500

Nombre de la fuente: (Westinghouse, 2000)

Nombre de la fuente: (Westinghouse, 2000)

**Tipos de engrases**

Se utilizará Exxon Polyrex Em (grasa a base de poliurea) en todos los modelos de cojinetes abiertos. Verifique y siga la información en la placa de grasa para la grasa específica utilizada en el cojinete. Utilice el mismo lubricante o uno equivalente para el mantenimiento del motor.

**Cantidad de engrases**

**Tabla 3-3:** Cantidad de lubricante en función del número de rodamiento (Parte 2)

Núm. de rodamiento	Cantidad de reposición
6310	40 g
6312	60
6313	80
6314	80
6315	100
6316	100
6317	120
6318	120
6320	160
6322	220
6324	270
6326	300
6328	400
6330	450
6332	500
6334	600
6336	700
6338	800
6340	900
6344	900
6348	900

Nombre de la fuente: (Westinghouse, 2000)

### Relubricación

Se recomienda la lubricación con el motor en marcha para que la grasa nueva se distribuya uniformemente en los cojinetes. Antes de volver a lubricar, se debe limpiar a fondo la entrada para que la nueva grasa no penetre en la suciedad acumulada en el rodamiento. La salida de grasa debe estar abierta para permitir que la grasa vieja se drene correctamente. Utilice una pistola de engrase para bombear grasa a través del conector de engrase hacia el rodamiento. Después del re lubricación, haga funcionar el motor durante 10 a 30 minutos para permitir que se drene el exceso de grasa.

### Limpeza e instalación de rodamientos

(a) Después de limpiar detalladamente a fondo las piezas de los cojinetes desmontados, aplíqueles una cantidad específica de grasa. Luego protéjalos de la contaminación antes y después de la instalación

b) instalación de rodamientos

Dado que los rodamientos son componentes de alta precisión, es importante evitar que entren y trituren

polvo y materias extrañas durante la limpieza y la instalación. Tener especial cuidado y óptimas condiciones de limpieza durante la instalación y montaje. Los cojinetes deben calentarse a aprox. 80°C haciendo uso de calentadores o planchas de inducción. Una vez calentado, el rodamiento se presiona rápida y flexiblemente en su lugar sin encogerse hasta que esté completamente asentado.

### ¡ATENCIÓN!

*Antes de instalar el rodamiento, asegúrese de que las piezas del eje dentro del rodamiento estén en su lugar.*

### ¡ATENCIÓN!

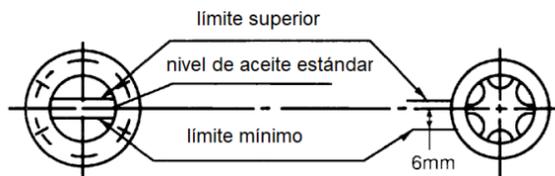
*La mejor manera de instalar rodamientos es por termo retracción. Se deben evitar impactos y martillazos durante la instalación. Después de que la temperatura vuelva a la normalidad, aplique graso a los rodamientos y vuelva a instalar el motor.*

### Mantenimiento de los rodamientos de deslizamiento

#### Inspección diaria:

a) Asegúrese de que la cantidad de lubricante esté dentro de las especificaciones, tanto en viscosidad y volumen a aplicar:

**Figura 3-1:** Medición para la inspección diaria de rodamientos



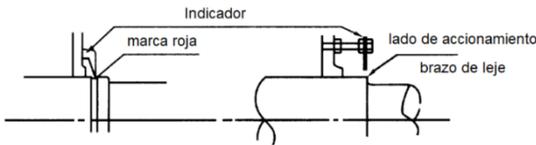
Nombre de la fuente: (Westinghouse, 2000)

b) Asegúrese de que el anillo se mueva y no esté atascado.

c) El indicador de holgura del eje debe limitarse al área indicada por la marca de corte del eje o dentro de  $\pm 3$  mm (0,119 pulg.) del lado de transmisión

del hombro del eje, de lo contrario, se pueden dañar los cojinetes.

**Figura 3-2:** Indicador de holgura del eje.



Nombre de la fuente: (Westinghouse, 2000)

### Exámenes periódicos

#### a) Cambios regulares de lubricante:

Los tanques de cojinetes auto lubricantes (que no se inundan) deben drenarse y rellenarse aproximadamente cada seis (6) meses. Es posible que se requieran cambios más frecuentes a velocidades más altas del motor (3600 rpm) o si se produce una decoloración o contaminación significativa del lubricante. En caso de contaminación, se recomienda enjuagar el tanque con queroseno para eliminar los depósitos antes de agregar lubricante nuevo. Antes de llenar con lubricante nuevo, el tanque debe drenarse completamente.

#### b) Cantidad de lubricante:

Consulte la placa de características de lubricación para ver la cantidad de lubricante.

#### c) viscosidad del lubricante:

En función de la referencia ISO, se calculan la respectiva viscosidad por grado Fahrenheit

### Desmontaje:

#### ¡ATENCIÓN!

***Asegúrese de que la alimentación esté apagada y que no haya piezas móviles antes de desmontar.***

Un rodamiento tipo buje es un tipo de montaje esférico auto alineado. En motores más grandes (o si se especifica), el cojinete del lado de transmisión opuesto generalmente está aislado. En algunos

motores se garantiza el aislamiento del asiento esférico de la caja de rodamientos.

#### ¡ATENCIÓN!

***Tenga mucho cuidado al retirar el casquillo del soporte del aislamiento para evitar dañar el aislamiento.***

(a) Retire el tapón de drenaje de la perilla del cuerpo y drene el cárter de lubricante.

(b) Retire cualquier sensor de calibre que haga contacto con el cojinete del buje. Estos incluyen detectores de temperatura de resistencia, termopares, termómetros y más.

(c) Retire los tornillos de cabeza hexagonal que sujetan la tapa del cojinete y el sello de gas interno. Si se quita el lado no motorizado, también se debe quitar la tapa. Retire la mitad superior de la tapa del cojinete y el sello de aire interior. Colóquelos sobre una superficie limpia y seca para evitar dañar las superficies individuales.

(d) Retire la mitad superior del cojinete del buje utilizando los cáncamos apropiados en los orificios roscados proporcionados. Levante la tapa del cojinete, evitando el contacto con el hombro del eje, para no dañar el lado de empuje del cojinete. Colóquelo sobre una superficie limpia y seca para no dañar la superficie ni los pasadores en la parte superior del rodamiento.

(e) Retire los pernos de los orificios del anillo de lubricante y, a continuación, golpee suavemente los extremos de los pernos con un martillo blando para quitar el anillo de lubricante. Retire los medios anillos y vuelva a armar inmediatamente para evitar mezclar las piezas o dañar las superficies en los espacios.

(f) Tire hacia arriba del resorte que cubre el sello de laberinto flotante y empuje suavemente hacia afuera el lado superior. Gire el resorte hasta que la cerradura sea visible. Gire en sentido contrario a las agujas del reloj para liberar el retén, retire el resorte y saque la mitad inferior del sello de la ranura de la caja del cojinete. Tenga en cuenta la posición de estos sellos laberínticos flotantes. Si están agrietados o cortados, deben ser reemplazados. No intente reutilizar los sellos dañados.

(g) Para quitar la mitad inferior del cojinete, levante ligeramente el eje para aliviar la presión sobre el cojinete. En el extremo impulsor, levantar la extensión del eje liberará la presión sobre el rodamiento para retirarlo. Proteja el eje. En el lado opuesto a la transmisión, la elevación se puede realizar utilizando los pasadores en los casquillos del extremo del eje.

(h) Extraiga la parte inferior del cojinete hasta el centro de la parte superior del pasador y levántelo con los tornillos apropiados en los orificios provistos. Además, evite el contacto con los hombros, que pueden dañar la superficie de presión del cojinete. Coloque la parte inferior del cojinete sobre una superficie limpia y seca para proteger la separación.

(i) Envuelva el rodamiento en cartón limpio o papel grueso para protegerlo.

### Montaje:

La reinstalación de los cojinetes es esencialmente lo contrario del procedimiento de desmontaje anterior y se recomienda de la siguiente manera:

a) El interior de la carcasa del cojinete debe estar limpio y enjuagado con lubricante limpio o queroseno.

b) Los semicojinetes y los pasadores del eje deben limpiarse con un paño sin pelusa empapado en lubricante limpio.

c) Todas las piezas deben inspeccionarse cuidadosamente en busca de muescas, rayones, etc. en cualquier superficie. Estas manchas deben eliminarse mediante métodos apropiados, como desincrustación, raspado, relleno, etc., seguidos de una limpieza a fondo.

d) Tenga en cuenta la posición de las caras del sello de laberinto flotante antes de instalarlas. No intente utilizar los dañados. El lado inferior del sello tiene un conjunto de agujeros en el lateral. Debe estar en la parte inferior del cojinete para que todo el lubricante acumulado regrese a la carcasa.

e) Coloque bolas en T Curil alrededor del diámetro exterior del sello en ambos lados cerca de la ranura

del resorte. Esto evitará que el lubricante atraviese los sellos en el exterior.

f) Coloque la mitad inferior del sello en el eje y haga clic en su lugar. Instale la mitad superior e inserte el resorte toroidal, tirando hacia arriba de ambos extremos para bloquear el pestillo. Coloque los cordones Curil T a cada lado del diámetro exterior cerca de las ranuras de resorte de ese lado.

### Prueba de aislamiento:

Con la prueba de aislamiento podemos garantizar con seguridad el funcionamiento del motor, se realiza presentando una fuerte resistencia eléctrica para limitar el máximo la circulación de las corrientes fuera de los conductores.

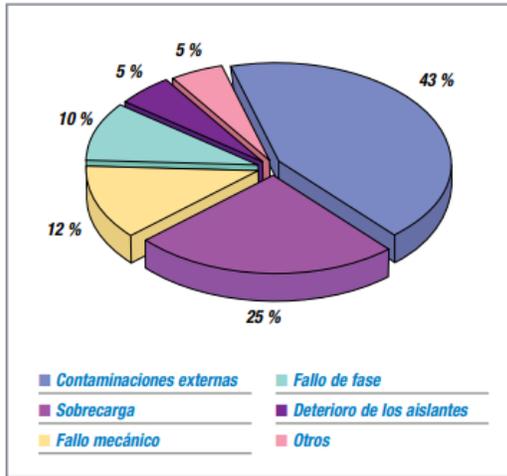
La calidad de estos aislamiento se ve alterado a medida que pasa el tiempo por las exigencia a las que se somete el motor esto traería como consecuencia una reducción de la resistividad eléctrica de los aislante del motor como lo son el cableado y la bobina a su vez da lugar a un aumento de las corrientes de fuga que pueden provocar incidentes cuya gravedad puede tener consecuencias tanto para la seguridad de las personas y bienes como los costes de reparación y por paradas de producción en la industria.

Tensión de servicio cable/equipo	Tensión continua de prueba
24 a 50 V	50 a 100 V <sub>DC</sub>
50 a 100 V	100 a 250 V <sub>DC</sub>
100 a 240 V	250 a 500 V <sub>DC</sub>
440 a 550 V	500 a 1.000 V <sub>DC</sub>
2.400 V	1.000 a 2.500 V <sub>DC</sub>
4.100 V	1.000 a 5.000 V <sub>DC</sub>
5.000 a 12.000 V	2.500 a 5.000 V <sub>DC</sub>
> 12.000 V	5.000 a 10.000 V <sub>DC</sub>

Otro factor que afectan el aislamiento es la condición ambiental en la que se encuentra en entornos húmedos y calurosos provocan también la degradación de las características del aislamiento a continuación observaremos una graficas donde

encontraremos las fallas más comunes de un motor eléctrico.

Nombre de la fuente: (CHAUVIN ARNOUX



GROUP)

- Principio de la medición del aislamiento

La medición de la resistencia se basa en la ley de Ohm. Al aplicar una tensión continua con un valor conocido y a continuación medir la corriente en circulación, es posible fácilmente determinar el valor de la resistencia, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado, pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el megaohmetro indica el valor de la resistencia con un resultado en  $K\Omega$ ,  $M\Omega$ ,  $G\Omega$  incluso en  $T\Omega$  en algunos modelos. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre los elementos conductores y nos muestra una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corrientes de fuga.

- Determinación de las tensiones de pruebas

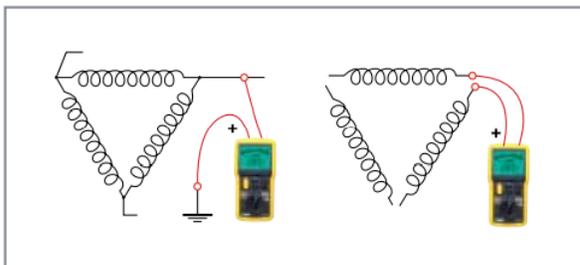
Para la determinación de las tensiones tendremos una tabla de valores que nos muestra los voltajes que debemos utilizar (obtenida de la guía IEEE 43).

Nombre de la fuente: (CHAUVIN ARNOUX GROUP).

En nuestro caso sería una tensión de 440V a 550V, para el procedimiento de los ensayos hay unos puntos que debemos tener en cuenta.

- I. El ensayo debe efectuarse en una instalación SIN TENSIÓN y desconectada para asegurarse de que la tensión de ensayo no se aplicará a otros equipos que podrían estar conectados eléctricamente al circuito que se va a probar.
- II. Asegurarse de que el circuito está descargado. La descarga puede efectuarse realizando un cortocircuito y/o uniendo a la tierra los terminales del equipo durante un tiempo suficiente.
- III. Se debe observar una protección especial cuando el dispositivo a probar se encuentra localizado en un entorno inflamable o explosivo, ya que podrían producirse chispas durante la descarga del aislante (antes y después de la prueba) pero también durante la prueba en caso de aislamiento defectuoso.
- IV. Debido a la presencia de tensiones continuas que pueden ser altas, se recomienda reducir al máximo el acceso al personal y llevar equipamiento de protección individual especialmente guantes de protección eléctrica.
- V. Se deben utilizar cables de conexión apropiados para la prueba a realizar y asegurarse de su perfecto estado. En el mejor de los casos, cables inapropiados inducirán a errores de medición, pero sobre todo pueden resultar peligrosos.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos tendremos una imagen de ejemplo de cómo debemos realizar la prueba de aislamiento en un motor rotativo.



Nombre de la fuente: (CHAUVIN ARNOUX GROUP).

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIÓN

El mantenimiento en la industria es fundamental para proteger equipos e instalaciones, permitiendo maximizar la producción dentro de la misma. El mantenimiento preventivo proporciona a la industria confiabilidad, eficiencia y productividad, y los resultados se miden en términos de cantidad y calidad del producto.

El plan de mantenimiento preventivo del motor eléctrico trifásico de 4 kW y 1500 rpm con arrancador estrella – triángulo elaborado en el presente proyecto permite conservarlo en buenas condiciones de operación y alargar su vida útil.

### RECOMENDACIONES

Como mecánico responsable, es bien sabido que un buen mantenimiento preventivo de un motor prolongará la vida útil de cada pieza y reducirá el desgaste natural. Por esta razón, siempre es una buena idea recomendar a los diferentes usuarios de estos equipos que verifiquen mensualmente para evitar accidentes y, lo que es más importante, que compren repuestos de alta calidad. Es importante realizar una serie de pruebas específicas para controlar cuidadosamente el desgaste de cada elemento con el fin de reducir el riesgo de falla y, en última instancia, identificar las reparaciones si es necesario.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amendola L. (2006). Gestión de proyectos de activos industriales. Editor Ed. Univ. Politéc. Valencia

Arrias (2007). Análisis y prevención de fallas. Instituto de Mejoramiento Profesional, PREMI.

Bavaresco de Prieto A. (2004). Las Técnicas de investigación. Manual de para la elaboración de tesis. Editorial South Western.

Caputo, R. (2015). Nota técnica | Motores, conceptos básicos y métodos de arranque. Revista Ingeniería Eléctrica. Obtenido de Editores.

Duffuaa (2002) “Sistema de mantenimiento planeación y control” México

Duran, J. B. (2007) ¿Qué es la Confiabilidad Operacional? En: Mantenimiento Mundial. Revista N° 2 septiembre.

Huamán, L. (2020). Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electricista, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica, Universidad Continental, Arequipa, Perú.

Roldán Vilorio, J. (2005). Arranque y protección de motores trifásicos. Obtenido de Repositorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Escuela Agrotécnica: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BRE.xis&method=post&formato=2%cantidad=1&expresion=mfn006807>

S&P. (9 de diciembre de 2019). ¿Qué es un motor trifásico?: Características, tipologías y aplicaciones. Obtenido de Soler Palau Blog: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-trifasico/>

Valderrama Campos, E. R., Mendoza Cosme, H. M., & Azabache Ramírez, J. A. (2019). Diseño de un banco de ensayo para sistema de arranque de motores trifásicos. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Trujillo: <http://repositorio.uct.edu.pe/handle/123456789/653>

Westinghouse, T. (2000). Manual de Operación y Mantenimiento para Motores de Inducción

Trifásicos. <https://brr.mx/manual-de-operacion-y-mantenimiento-para-motores-de-induccion-trifasicos/>. Recuperado 8 de agosto de 2022, de <https://brr.mx/manual-de-operacion-y-mantenimiento-para-motores-de-induccion-trifasicos/>

## **VIII. ANEXO 1**