

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PRUEBAS DE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS EN
SERVICIO**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

Julio Joel Caycho Huamancondor

PROMOCIÓN

2004 - II

LIMA – PERÚ

2009

PRUEBAS DE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS EN SERVICIO

**A mi esposa, por ser el complemento que faltaba para poder
superar las metas futuras ...**

**A mi Madre, mi Padre y mi Hermano,
porque juntos hemos logrado superar muchas metas ...**

SUMARIO

El presente informe de Ingeniería Titulado Prueba de Control de Motores Eléctricos en Servicio, pretende mostrar la experiencia lograda en este campo de la Ingeniería; así como aportar casos de evaluación reales y las soluciones empleadas.

Adicionalmente, se presentan nuevas técnicas de evaluación de pruebas en motores eléctricos empleando la Electrónica; así como sus repercusiones en la mejora de la investigación y rapidez de evaluación de fallas.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
BREVE INTRODUCCIÓN AL ANALISIS BASICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS AC, CURVAS DE EFICIENCIA	3
1.1 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase A	3
1.2 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase B	3
1.3 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase C	4
1.4 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase D	4
1.5 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase F	4
1.5.1 Curvas de Eficiencia (Curvas Características)	5
1.6 Selección del Motor antes de la Instalación, Eficiencia, Parámetros Requeridos	7
1.6.1 Eficiencia	9
1.6.2 Instalación Existente o Nueva Instalación	11
1.6.3 Las Condiciones de Instalaciones (Grado de Protección)	11
1.6.4 Tipo de Carga	12
1.6.5 Condición de la Red Eléctrica	12
1.6.6 Potencia, Velocidad y Eficiencia del Motor	14
1.7 Instalación de los Motores Eléctricos	15
1.7.1 Ubicación	16
1.7.2 Cimientos	16
1.7.3 Montaje	17

1.7.4 Alineamiento	18
1.7.5 Datos de Placa	19

CAPITULO II

PRUEBAS ELECTROMECHANICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS AC, PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA, MEDICIÓN DE PARAMETROS, SEGURIDAD DE LAS MEDICIONES Y EN LAS MEDICIONES

2.1 Prueba de Motores Eléctricos en Servicio (Operación)	21
2.1.1 Medición de Parámetros, Operación y Consumo (kW, kVAR, V, I, $\cos\theta$)	21
2.1.2 Rendimiento por Suma de Pérdidas	21
2.1.3 Verificación de Secuencia de Fases en la Caja de Borneras de la Maquina	22
2.1.4 Medida de Ruidos	24
2.1.5 Análisis Termográfico	24
2.2 Prueba de Motores Eléctricos en Servicio (sin operación)	25
2.2.1 Medida de Resistencia en Continua de las Fases del Estator	25
2.2.2 Rigidez Dieléctrica del Devanado del Estator	26
2.2.3 Nivel de Aislamiento Devanado Estator	27
2.2.4 Medida del Par Durante el Arranque	27
2.2.5 Ensayo de Calentamiento	28
2.2.6 Curva Características de Vacío	28
2.2.7 Medida del Par Durante el Arranque	28

CAPITULO III

ANALISIS DE FALLAS DE MOTORES ELÉCTRICOS COMUNES AC/DC; INFLUENCIA DE LA ELECTRONICA EN SU COMPORTAMIENTO

3.1 Circuito de Alimentación Eléctrica	31
3.2 Calidad de Energía	32
3.2.1 Desbalance de Tensión	32

3.2.2 Presencia de Armónicas	32
3.3 Aislamiento	32
3.4 Estator	34
3.5 Rotor	36
3.6 Excentricidad	38
3.7 Influencia de las Corrientes Armónicas en el Funcionamiento de los Motores	38
3.8 Análisis Vibracional en Motores Eléctricos, Fallas Frecuentes	41
3.9 Analisis Espectral FFT (Fast Fourier Transformation)	44
3.10 Motores Eléctricos Especiales, Pruebas en Servicio	45
3.10.1 Motores Eléctricos de Electrobombas Sumergibles	46
3.10.2 Fallas Comunes en Motores Eléctricos Sumergibles	49
CAPITULO IV	
NUEVAS TECNOLOGIAS EN EL ANALISIS DE FALLAS EN MOTORES ELÉCTRICOS, TERMOGRAFIA Y ANALISIS ESPECTRAL DE CORRIENTES	55
4.1 Termografía y análisis espectral de corriente	55
4.1.1 Caso 1	55
4.1.2 Caso 2	56
4.1.3 Caso 3	56
4.2 Investigación al Desarrollo de Una Nueva Teoría; Diagnostico de Motores Eléctricos Mediante Análisis Espectral de las Corrientes	57
CAPITULO V	
CASOS RELACIONADOS CON LAS PRUEBAS DE MOTORES ELÉCTRICOS	60
5.1 Situación 01, Motor Eléctrico 60HP 220Vac 1800RPM – Bomba Circuladora B/T “Isabel Barreto” Cliente Petrolera Transoceánica S.A.	60
5.1.1 Ensayo de Calentamiento Aplicado por Inducción	60

5.1.2 ¿Como se hace la Prueba de Calentamiento por Inducción?	61
5.2 Situación 02, Motor Eléctrico 160HP 220Vac 1800RPM – Electrobomba de Agua Escuela de Oficiales – Fuerza Aérea del Perú	62
5.2.1 Pruebas Realizadas de Comprobación	62
CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFIA	67

INTRODUCCIÓN

En la Actualidad el Mantenimiento Predictivo y Proactivo se ha convertido en procesos de ejecución de mucha importancia en la Industria Nacional.

Durante el funcionamiento de las Maquinas Eléctricas, en las paradas no Programadas o las Paradas de Planta Programadas se realizan una serie de evaluaciones a la maquinaria que una Industria posee con el fin de poder descartar o corregir la presencia de alguna posible falla. Falla que con el pasar del tiempo y estando en operación genera pérdidas al detener los procesos.

Siendo los Motores Eléctricos maquinas de gran importancia en la Industria, es importante tener en cuenta su constante evaluación; para lo cual se generan revisiones rutinarias, pruebas de control de diversa índole y monitoreos constantes o programados.

Además, debido al desarrollo constante de la Tecnología se aplican nuevas técnicas de control las cuales, gracias a la electrónica, ha permitido desarrollar nuevos equipos, las cuales permiten evaluaciones muy rápidas que permiten prevenir fallas futuras en el momento adecuado.

El presente informe presenta un análisis en las Pruebas de Control de Motores Eléctricos; este análisis inicia con una introducción a la Eficiencia de Motores, un análisis de sus formas constructivas y su selección, con el fin de poder comprender mejor las Pruebas de Control que pueden aplicarse así como la aplicación de nuevas tecnologías en Pruebas de Control.

Además, se presenta como objetivo el análisis de las Pruebas de Control de Motores Eléctricos teniendo en cuenta los conceptos previos de eficiencia y construcción; mediante la demostración de las diferentes pruebas eléctricas realizadas a motores eléctricos de diferentes tipos en Servicio; así como su respectivo análisis y las soluciones propuestas.

Se tiene en cuenta el análisis en forma resumida, el origen de los resultados de estas pruebas realizadas y las investigaciones de las nuevas tecnologías de pruebas de motores eléctricos aplicados.

Se pretende evaluar en forma aplicativa y teórica los casos de Motores Eléctricos AC (corriente alterna) realizados en la práctica, específicamente los del tipo Jaula de Ardilla;

así como un análisis de la Eficiencia, el tipo de trabajo que desempeña, las condiciones ambientales a la que se encuentra y sus curvas de rendimiento.

CAPITULO I

BREVE INTRODUCCION AL ANALISIS BASICO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MOTORES ELECTRICOS AC, CURVAS DE EFICIENCIA

A través de la experiencia se ha podido observar que existen varios tipos de Motores Eléctricos Comerciales de Inducción Jaula de Ardilla y están seleccionados en base a su forma constructiva:

Motores a Corriente Alterna de Inducción:

- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Clase A.
- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Clase B.
- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Clase C.
- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Clase D.
- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Clase E.

1.1 Motores de Inducción De Jaula de Ardilla Clase A

El Motor de Inducción clase A es un motor de jaula de ardilla normal ó estándar fabricado para empleo a velocidad constante. Tiene grandes áreas de ranuras para obtener una buena disipación de calor, y barras con ranuras tipo ondas en el motor. Al inicio, durante el periodo de arranque, la densidad de corriente se eleva cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de marcha, la densidad se distribuye con uniformidad. Esta diferencia origina una pequeña resistencia y baja reactancia de arranque, como resultado se genera un par de arranque entre 1.5 y 1.75 veces el nominal (a plena carga). Al inicio el par de arranque es proporcionalmente alto y la baja resistencia del rotor produce una aceleración muy rápida hasta obtener la velocidad nominal. Su regulación de velocidad es mejor que a los demás tipos, sin embargo, su corriente de arranque oscila entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal.

1.2 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase B

El Motor de Inducción clase B tiene cierta similitud al de clase A debido a la forma grafica de su deslizamiento-par. Las ranuras de su motor son más profundas, lo cual tiende a

aumentar la marcha del rotor por el incremento de la reactancia de arranque. Como consecuencia del aumento se reduce un ligeramente el par y la corriente de arranque.

La variación de la corriente de arranque oscila entre 4 y 5 veces la corriente nominal en los tamaños mayor a 5 HP.

Es común el empleo de estos motores a los comparados al clase A para potencias mayores a 5 HP.

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

1.3 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase C

Se caracterizan por poseer un rotor de doble jaula de ardilla, este diseño produce un alto par de arranque y una menor corriente de arranque.

La aceleración es muy rápida debido al alto par de arranque, sin embargo cuando se utiliza en grandes potencias, se limita la disipación térmica del motor por que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.

Cuando el Motor es sometido a arranques frecuentes el rotor tiende a sobrecalentarse. Por su fabricación se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero con baja inercia.

Este tipo de Motores Generalmente se emplean en condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón.

1.4 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Clase D

Se caracterizan por tener alto par y alta resistencia; esto es, debido a que 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 diámetro pequeño. La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en los motores de clase A, B y C.

El Diseño de este motor permite un servicio pesado de arranque, usualmente se emplean en cargas que requieren alto par con aplicación a carga repentina.

1.5 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla de Clase F

El Motor de Inducción clase F es de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente, porque necesita la menor corriente de arranque de todas las clases. Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque.

El rotor de clase F ha sido diseñado para reemplazar al motor de clase B. El motor de clase F produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes

de arranque de 2 a 4 veces la nominal. Los motores de esta clase se fabrican de la capacidad de 25 hp para servicio directo. Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje de los de clase B, bajan capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento. Sin embargo, cuando se arrancan con grandes cargas, las bajas de corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo para voltaje reducido, aún en los tamaños grandes.

1.5.1 Curvas de Eficiencia (Curvas Características):

Las curvas características de una máquina relacionan entre sí diferentes magnitudes de la misma y permiten analizar su comportamiento en distintos regímenes de funcionamiento de manera precisa.

Para la máquina asíncrona y en nuestro caso en los motores jaula de ardilla AC, las curvas características más importantes son:

- a- curva par-velocidad.
- b- curva corriente-velocidad.
- c- característica de velocidad.
- d- característica de factor de potencia.
- e- característica de rendimiento.

a). Curva Par-Velocidad:

Podemos definir esta curva indicando que la velocidad del motor depende de su propia característica par-velocidad como de la característica par-velocidad de su carga. Ver Figura 1.1. Realizaremos un análisis de esta curva comparando con 02 cargas, los puntos a analizar serán al arranque, la operación en vacío y con carga en operación:

- **Análisis en el Arranque.-** En el inicio el arranque se observa que la velocidad es cero ($n=0$). En el cuadro hemos representado las curvas de las cargas A y B; iniciando el análisis se nota que M_{ra} es el mínimo par resistente que debe aplicarse a la carga en el arranque (par resistente de arranque de la carga) para ponerla en movimiento.

M_{ia} es el par interno en el arranque del motor, se puede concluir en este caso que siendo $M_{ia} > M_{ra}$ el motor escogido supera el par de arranque necesario para mover las cargas. Se considera que el par de arranque debe ser entre 1,25 y 2,5 veces el valor del par nominal (M_n), en estas condiciones la corriente en el arranque I_a tomara un valor entre 5 y 8 veces la intensidad nominal I_n . Ver Figura 1.2

Análisis de Funcionamiento en Vacío.- En el arranque en vacío el Par es prácticamente Nulo (las cargas que se vencen son mínimas, siendo comúnmente el par propio relacionado

con el rozamiento interno y el momento de inercia de su rotor) y la velocidad de vacío ($n = n_0$) está cercana a la velocidad de sincronismo. (En la Figura 1.1 se observa que es el Punto P.

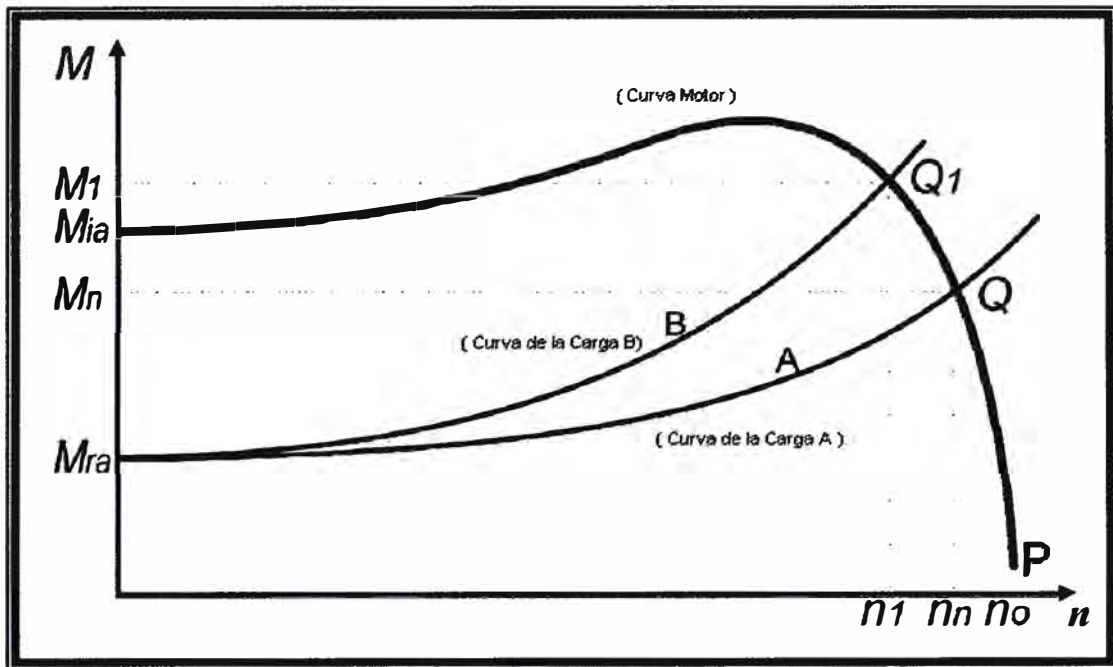


Figura 1.1 Curva Par - Velocidad

• **Análisis de Funcionamiento con Carga.-** Al funcionar el motor con carga se entrecruzan las curvas características de las cargas y el motor; siendo la velocidad en la que el par motor se iguala al par resistente.

En la figura se observan 02 casos:

1.- Punto (M_n, N_n): Conocido como par Nominal.

2.- Punto (M_1, N_1): Al modificar la carga de manera que el par resistente cambiara (curva de la Carga B) tendríamos un nuevo punto de funcionamiento estable (Q_1) en el cual el motor debería disminuir la velocidad para suministrar un par mayor.

b). Curva Corriente-Velocidad:

Cuando un motor es puesto en Servicio se observa que la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión.

Usualmente y dependiendo de la carga la corriente inicial puede incrementarse proporcionalmente a más de 8 veces la corriente nominal. Debido a esto se emplean métodos de arranque como es el caso del Arranque Estrella – Triángulo donde la velocidad es controlada a medida que se empieza el arranque, reduciendo la Corriente Inicial de Consumo. Ver Figura 1.3

c). Característica de Velocidad:

Representación la velocidad en función de la potencia útil, la representación mantiene constante la tensión de alimentación y la frecuencia ($n=f(PU)$; $U=cte$; $f=cte$). Se puede observar generalmente que la velocidad se reduce muy poco con la carga, entre un 2% y un 5% de la velocidad de sincronismo. Ver Figura 1.4

d). Característica de Factor de Potencia:

Esta característica nos representa la variación del factor de potencia en función de la potencia útil.

De aquí podemos analizar el concepto del consumo de la Energía reactiva si el Factor de Potencia es menor el consumo de Reactiva se incrementa; es decir, si la potencia no es la adecuada o es inferior a la Potencia útil el consumo de Reactiva se incrementa; lo cual en términos económicos incrementa el gasto. Ver Figura 1.5

e). Característica de Rendimiento:

Esta característica nos representa el máximo rendimiento aprovechable en un motor eléctrico. Usualmente los valores en este Punto se definen como los valores nominales. Mientras más se aleje o se acerque a este valor las pérdidas se incrementarán o la eficiencia del motor se verá reducida.

1.6 Selección del Motor Antes de la Instalación, Parámetros Requeridos.

Usualmente la selección de un motor eléctrico tiene las siguientes premisas:

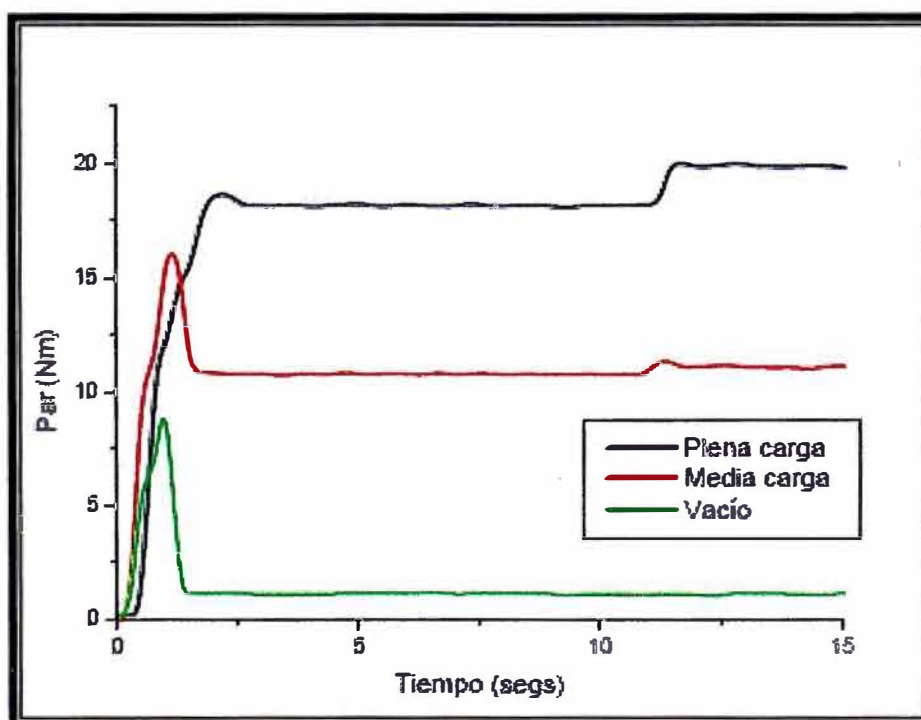


Figura 1.2 Curva Par – tiempo en arranque estrella triángulo

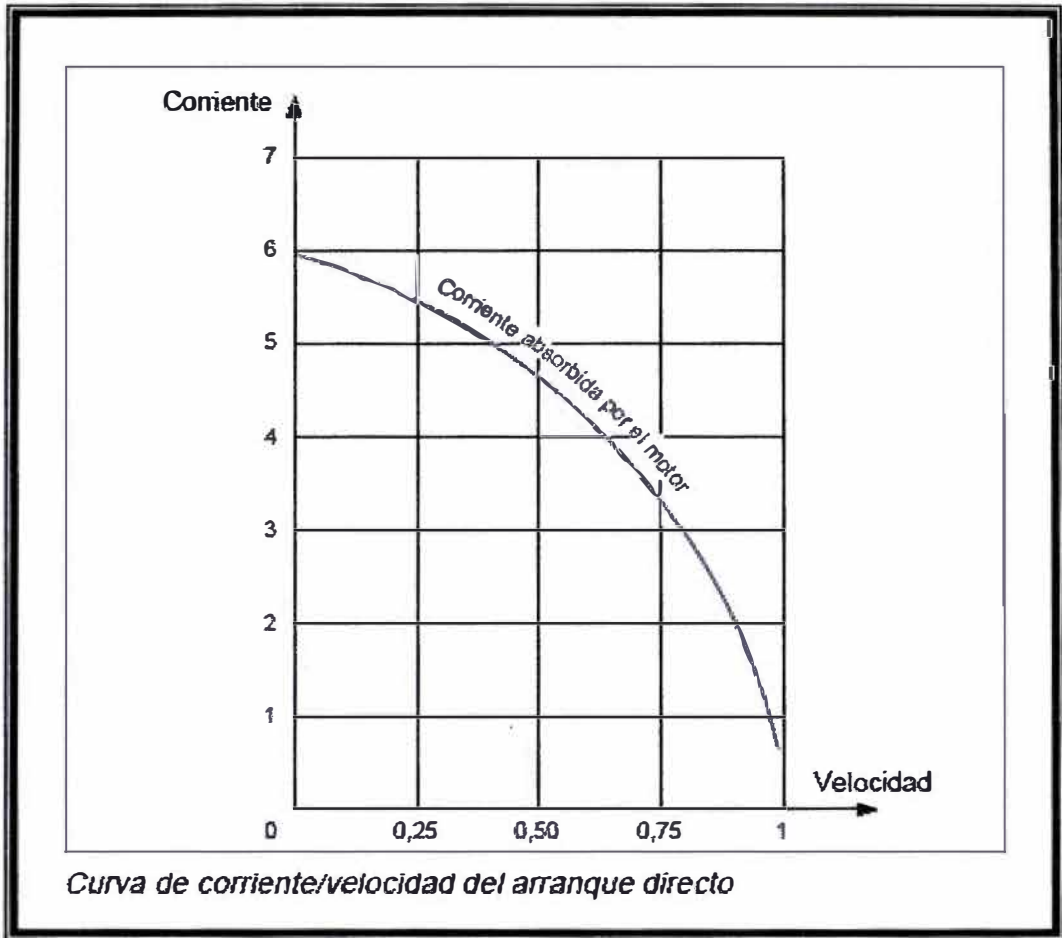


Figura 1.3 Curva de Corriente/Velocidad del Arranque Directo

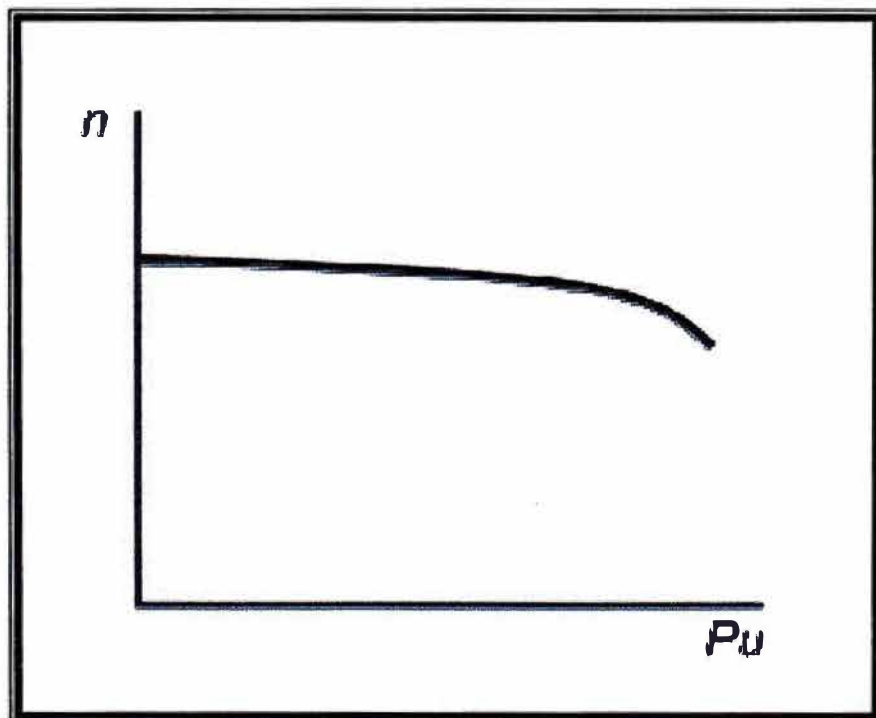


Figura 1.4 Características de Velocidad

- Instalación nueva o existente.
- Condiciones Ambientales de Operación.
- Tipo de Carga.
- Condición de la red Eléctrica. (V,F)
- Potencia y Velocidad

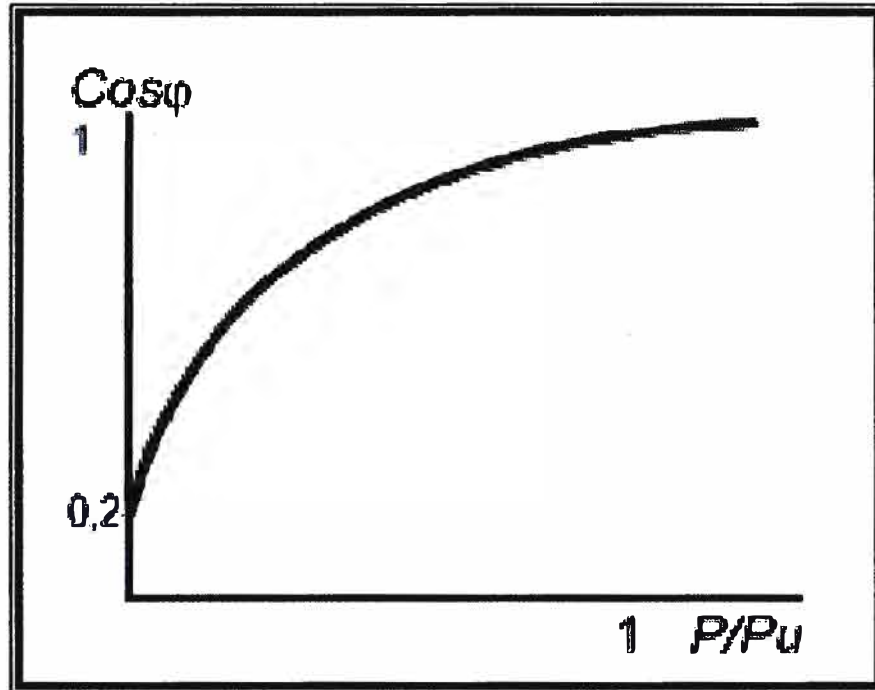


Figura 1.5 Características de Factor de Potencia

1.6.1 Eficiencia.

La eficiencia de los motores eléctricos puede plasmarse en una ecuación simple:

$$\text{Perdidas} = E1 - E2$$

(1.1)

Donde:

E1 es la energía que transmite la fuente

E2 es la energía que consume la Carga

Perdidas = 0; es decir, E1=E2

El hecho que podamos obtener una pérdida mínima significa que la Energía que transmite la Fuente debe ser consumida por la Carga “casi” en su totalidad.

Esto da a lugar a pensar que para que la ENERGIA TRANSMITIDA sea consumida “casi” en su totalidad por la carga debería ser correctamente dimensionada para esta carga. Lo

mismo sucede con la ENERGIA CONSUMIDA; debe serlo suficiente para poder satisfacer la carga. Ver Figura 1.6

En la Industria Nacional se observa muy frecuentemente una apreciable diferencia entre la Energía transmitida y Energía Consumida en la Medición de Parámetros de Motores Eléctricos en Servicio lo cual está estrechamente relacionado a la eficiencia y por consecuencia a su Selección:

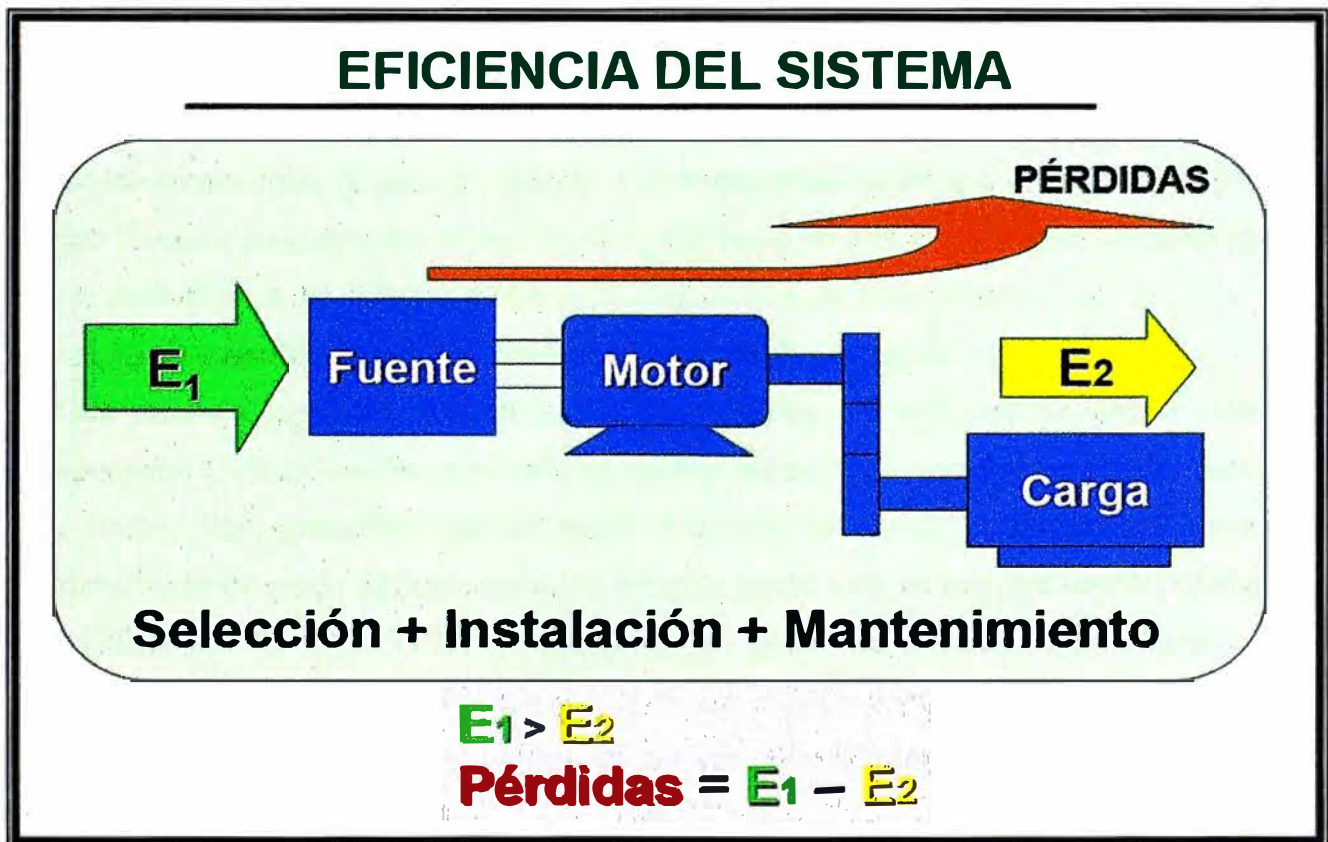


Figura 1.6 Eficiencia del Sistema

Algunas observaciones comunes en los motores en Servicio en cuanto a su operación:

- a.- Frecuente presencia de corriente consumida mucho menor (50%-60%) o al limite (90-100%).
- b.- Caída de tensión a la puesta en servicio y durante la operación.
- c.- Alto consumo de energía reactiva.
- d.- Calentamiento de rodajes, cables de alimentación o carcasa.

El informe tratará como realizar estas mediciones, así como su significado, la solución propuesta y su relación con la selección y eficiencia.

1.6.2 Instalación Existente o Nueva Instalación.

Por norma, todos los motores están diseñados para operar en un ambiente con temperatura promedio no superior a 40 °C. La instalación en cualquier ambiente por encima de esta condición hará que el motor deba ser operado a una carga menor a la carga nominal diseñada.

Esto sucede porque las propiedades refrigerantes disminuyen. La vida útil de un motor está principalmente en su devanado. Si la refrigeración es deficiente, el devanado se debilita y sufre daños severos (recalentamiento, pérdida de aislamiento). Generalmente, los motores jaula de ardilla están refrigerados mediante aire; en algunos casos por Agua como es el caso especial de motores sumergibles que veremos en un Capitulo mas adelante. A mayor altitud sobre el nivel del mar, el aire toma una densidad mayor y a una misma velocidad, se tendrá menor flujo de aire. En cuanto a la temperatura ambiente, es necesario garantizar que el motor no tendrá una elevación de temperatura tal que lo haga tener un calentamiento por encima de su límite térmico (definido por su clase de aislamiento).

1.6.3 Las Condiciones de Instalación (Grado De Protección).

Otro punto a considerar son las condiciones propias del ambiente en que se encuentra operando: Contaminación, presencia de agentes químicos, utilización en lugares abiertos o cerrados. Para garantizar una adecuada selección de motor, es importante conocer el significado de grado de protección IP, definido según normas internacionales. IP significa INTERNAL PROTECTION y determina el grado de protección (mecánico) o de encerramiento del motor. Viene seguido de dos cifras características; la primera de ellas indica la protección contra el ingreso de cuerpos sólidos y la segunda indica la protección contra el ingreso de líquidos.

Los grados de protección mas comunes que se pueden encontrar son:

IP21: Protegido contra contacto con los manos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas de agua que caen verticalmente.

IP22: Protegido contra contacto con los manos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas de agua hasta una inclinación con vertical de 15°.

IP55: Protegido completamente contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorros de agua en diferentes direcciones.

En caso de ambientes agresivos, es necesario prestar especial atención, pues en ocasiones los motores estarán expuestos a vapores ácidos, álcalis y solventes, como industrias químicas, petroquímicas y fábricas de pulpa y papel.

Es también importante considerar si el motor será instalado en un área clasificada (lugares donde se almacenen productos inflamables), pues en estos casos se requieren cuidados especiales que garanticen el mantenimiento de los equipos y especialmente, no pongan en riesgo la vida humana.

1.6.4 Tipo de Carga

Tal como se pudo apreciar en las curvas características, la carga es la que define la potencia y velocidad del motor. En la gran mayoría de aplicaciones, el motor jaula de ardilla puede soportar cualquier carga en su eje, para la selección adecuada se debe realizar un análisis de cuál será el momento de inercia, la curva Par-Velocidad de la carga. Estos puntos nos ayudan a definir cómo será el comportamiento dinámico del motor con su máquina de trabajo y cuáles serán los tiempos de arranque. Lo mejor es conocer las condiciones de la carga durante la especificación del motor, pues el comportamiento varía, dependiendo de ésta. Máquinas; por ejemplo, las bombas y ventiladores tienen un comportamiento específico diferente de molinos, trituradoras y diferente de transportadoras o de máquinas herramientas o elevadores de cangilones u otros. Cada maquina posee un torques de arranque diferente siendo sus ciclos de trabajo muy diferentes de una instalación a otra.

1.6.5 Condición de la Red Electrica

Las principales características que identifican un red eléctrica son la tensión (voltaje) y frecuencia. En Perú la frecuencia normalizada es 60 Hz. Dada la diversidad de tamaños de industrias, no hay una única tensión, por lo que es usual que los motores tengan doble tensión, generalmente 220/440 Vac. Industrias “grandes” tienen tensiones mayores, como pueden ser 380Vac, 480 Vac, 550Vac o altas tesiones como 1000 o 2200Vac.

Se acostumbra a que los motores con potencias de potencias de 10 HP o superiores sean aptos para el arranque Estrella-Triángulo, con variadores de velocidad o arrancados electrónicos, con el objetivo de que la red no se desestabilice por las altas corrientes consumidas durante el arranque directo. Según el tipo de arranque los motores poseen de 3 a 12 cables en la caja de bornes. Esta característica les hace aptos para funcionar prácticamente en cualquier red, pero es importante tener bastante precaución en las conexiones, pues con mayor cantidad de uniones a realizar, se puede presentar mayor cantidad de errores. Esto debe evitarse durante la etapa de instalación.

a). El Arranque

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

Para la red, la mejor condición de arranque es aquella en que este tiempo de transición es el mínimo posible y la corriente consumida (corriente pico o corriente de arranque) es la mínima posible. Para el motor, la mejor condición de arranque es la que garantiza el menor calentamiento. Para la carga, la mejor condición es aquella que garantiza los menores desgastes mecánicos. En general, el tipo de arranque de cada aplicación debe ser analizado adecuadamente para lograr el mejor equilibrio entre las tres parte mencionadas previamente. Tal como analizamos en las curvas características, en este caso es muy importante tener en cuenta el Par de Arranque de Motor y Carga. La mejor selección puede generar la reducción de consumos de energía y por consecuencia se pueden tener en cuenta criterios económicos.

Existen los siguientes tipos de arranque:

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

Variador de frecuencia (variador de frecuencia). Mediante este método, se logra limitar la corriente de arranque a valores de hasta dos veces la corriente nominal, mientras se obtiene un torque de arranque adecuado para cualquier aplicación. Además, la transición será la más suave posible de todos los métodos. Mecánicamente, es la mejor forma de hacer la

operación, además de que permite realizar control de velocidad preciso, gracias a los avances de la electrónica de potencia y control.

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

1.6.6 Potencia, Velocidad y Eficiencia Del Motor

En resumen, un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia mecánica en el eje o el acople que genera esta transferencia.

La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi \quad (1.2)$$

Donde:

P: Potencia en kW

V: Voltaje o tensión en voltios

I: corriente en amperios

Cos φ : Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P = T * n / 9550 \quad (1.3)$$

Donde:

P: Potencia en kW

T: torque en Nm El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas.

n: velocidad en rpm

Al realizar la selección de un motor, lo primero que se debe considerar es cuál es la velocidad necesaria de rotación de la carga y cuál será el torque requerido del motor para poder llevar a la carga a sus parámetros nominales de empleo (funcionamiento). La potencia de selección del motor será entonces una consecuencia de los factores velocidad y torques.

La capacidad de sobrecarga del motor será un factor a considerar, pues el ciclo de carga puede exigir al motor que en ciertos momentos suministre mayor potencia de su potencia nominal (o normal). Esta capacidad es conocida como Factor de Servicio (FS).

Como se indico al inicio, una máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante recalcar el término de **eficiencia**. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. La eficiencia o rendimiento es una medida de qué tanto desperdicia una máquina.

La eficiencia se calcula según la siguiente relación

$$\eta = P_s / P_e \quad (1.4)$$

Donde:

P_s es la potencia de salida, en este caso potencia en el eje

P_e es la potencia de entrada, en este caso potencia eléctrica

De esta forma, entre mayor eficiencia, menor desperdicio y consecuentemente menores costos de operación. Contrariamente, entre menor eficiencia, mayor desperdicio y mayores costos. En un solo motor, tal vez no sea notorio, pero para una industria que tenga 100 o 200 motores, o más, la eficiencia es un punto muy importante a considerar.

A manera de ejemplo, un motor de 15 HP estándar tiene una eficiencia de 89%, mientras que un motor de Alta Eficiencia tiene un valor de 92%. Su diferencia en precios puede ser de 30%. Para un uso de 16 horas diarias durante todo el año y con un costo de energía de \$130/kW-h, esta diferencia se paga en un periodo de tan solo 15 meses. A partir de este momento, el uso del motor de mayor eficiencia generará ahorro para la compañía.

1.7 Instalación de los Motores Eléctricos

- Se tiene en cuenta los siguientes factores:

1.7.1.- Ubicación.

1.7.2.- Cimientos.

1.7.3.- Montaje.

1.7.4.- Alineamiento.

1.7.5.- Datos de Placa.

1.7.1 Ubicación

Un motor tipo abierto tiene que ser instalado en lugares libres de humedad, polvo, contaminación por pelusas de diferentes materiales (algodón, cascarillas u otros), y hay que dejar espacio para el mantenimiento y reparaciones.

Los motores que soportan cierto grado de humedad (goteaduras) se emplean en donde el ambiente es medianamente limpio y no corrosivo.

Los motores totalmente cerrados pueden instalarse en lugares en los que halla excesiva suciedad, humedad y corrosión, o para su empleo a la intemperie.

Los motores totalmente herméticos refrigerados por agua son motores especiales los cuales requieren cumplir condiciones de montaje adecuadas, además de su condición de ubicación.

Cuando existen situaciones ambientales inusuales, como alta temperatura, vibraciones excesivas, etc., deben utilizarse carcasas y disposiciones especiales para la instalación.

Los problemas de humedad hacen necesarios ciertos cuidados especiales. Deben utilizarse guardas o cubiertas para proteger las partes conductoras de corriente que estén descubiertas, y el aislamiento de los conductores de entrada del motor en situaciones en las que pueda ocurrir goteo o pulverización de aceite, agua u cualquier líquidos nocivos, salvo que el motor sea diseñado especialmente para las condiciones existentes o solicitadas en la instalación.

1.7.2 Cimientos

Es esencial una cimentación rígida para tener vibraciones mínimas y la alineación correcta entre el motor y la carga. Los mejores cimientos son los de concreto (hormigón), reforzado según se requiera, en especial para motores y cargas grandes. Si el concreto tiene suficiente masa, constituye un soporte rígido que minimiza las deformaciones y vibraciones. El concreto puede colarse sobre el suelo, acero estructural o sobre los pisos del edificio, siempre que el peso total de motor, máquina impulsada y cimientos no exceda la capacidad de carga establecida para la estructura.

En caso de que un motor deba montarse en una estructura de acero todos los apoyos deben ser del tamaño y la resistencia correctos y estar bien sujetos para máxima rigidez.

La base para el motor, sea de concreto o acero, debe estar nivelada.

Los requisitos para una base bien nivelada son críticos. Por lo general, para instalar un motor hay 4 puntos de montaje, uno en cada esquina de la base. Todos los puntos de montaje deben estar en el mismo plano exacto o el equipo no quedara nivelado.

Ante de colar el concreto, es necesario marcar la posición de los pernos de anclaje firme, pero no rígido. Se recomienda utilizar una base fabricada con acero entre las patas del motor y el cimiento.

1.7.3 Montaje

En el caso de motores pequeños, se dispone de bases y adaptadores deslizantes para su uso en maquinas de armazón T que sustituyen a motores antiguos. Es necesario determinar si van a montarse en el motor otros componentes o equipo, tales como un reductor de engranes, acoplamientos especiales y bombas, a fin de dejar el espacio libre necesario.

Después de colocar la base en su lugar, y antes de fijarla, deben utilizarse los suplementos que sean necesarios para nivelarla. Para ello puede utilizarse un nivel de burbuja ordinario, comprobando en dos direcciones perpendiculares, a fin de asegurarse que la patas del motor estará en el mismo plano y que la base no se combará al apretar los pernos en ella.

El motor se coloca sobre la base, se instalan las tuercas y se aprietan con una torsión menor de la especificada; el apriete señalado debe aplicarse después de alinear. En las normas NEMA se indica las dimensiones para el montaje con patas o con bridas.

Es necesario comprobar la alineación después de montar.

a). Métodos de Montaje que Minimizan el Mantenimiento.

Muchos de los problemas que se presentan en los motores tienen origen en la forma en que se instalan. En muchos casos, el cimiento o la placa de base están mal diseñado, mal construido, o ambas cosas. El resultado inevitable es vibración, desalineación de los ejes (flechas), daños a los cojinetes, e incluso ruptura del eje o de la armazón a carcasa lo cual suele acarrear, además, una grave falla eléctrica.

Si el motor va a montarse sobre una base de concreto (hormigón), es esencial que el cimiento sea rígido a fin de minimizar las vibraciones y la desalineación durante el funcionamiento. Los cimientos deben ser de concreto macizo, con sus fundamentos a suficiente profundidad para que descansen sobre una sub-base firme.

b) Vaciado y Calzamiento

El vaciado de gran importancia para la firmeza, rigidez y estabilidad de la cimentación. Ni siquiera las mejores placas base de acero se consideran un soporte adecuado salvo que

estén enclavadas o ahogadas en la lechada. Es muy importante el empleo de las lechadas correctas, y hay que utilizar la mezcla recomendada de arena, cemento y agua.

El empleo correcto de las calzas es también esencial para el buen montaje del motor en el cimiento. Una forma de lograr un calzamiento correcto consiste en quitar los suplementos e inspeccionarlos en cada punto de soporte antes de efectuar la alineación final.

Es necesario tener presente la razón del uso de las calzas. No son solo para colocar mas alto o mas bajo el motor, sino también para que queden bien alineados los ejes de las maquinas.

Otro aspecto esencial de una buena cimentación es la estabilidad. Una vez que la base esta bien conformada e instalada no debe modificarse. A veces, el calor excesivo puede crear problemas. Por Ej., el exceso de calor al soldar con arco o gas perjudicara la base. En climas muy secos y calidos se ha dado el caso de que una base de acero se combe o tuerza cuando recibe el calor del solo por un lado y el otro lado esta a la sombra

1.7.4 Alineamiento

Los cimientos para el motor y la maquina impulsada han de proporcionar una relación fija y permanente entre el motor y su carga. Los cimientos deben proporcionar un anclaje firme para mantener la relación fija después de alinear.

El motor se coloca en su sitio de modo que se obtenga el espaciamiento correcto entre el eje del motor y el de la maquina impulsada.

Para ajustar la posición del motor se utilizan tornillos, calzas o suplementos (“lainas”), etc. Al ajustar la posición del motor es necesario tener el cuidado de comprobar que cada uno de sus puntos de apoyo tenga los suplementos necesarios antes de ajustar los tornillos, de modo que solo se puede introducir en el punto de apoyo un “filler” que de una medida de no mas de 0.05 mm (2 milésimas) de espesor.

La desalineación angular es el grado en que las caras de las 2 mitades de un acoplamiento están fuera de paralelismo. Para determinar como en una mitad del cople se monta un indicador de carátula, con su botón apoyado en la otra mitad, y se hacen girar 360° ambos ejes en conjunto, para apreciar las variaciones de la lectura.

La desalineación axial es el desplazamiento entre las líneas centrales de los dos ejes de maquinas. Puede determinarse con una gramil o medidor de luces el cual se apoya sobre uno de los puntos rotativos del motor o acople al motor, el punto de medición sobre el lado rotativo opuesto al acople con lo cual se hace girar para luego observar la desviación en cada punto de los ejes a 90°, 180°, 270° y 360°. Figura 1.7

Es importante que el motor y su carga estén bien alineados en las condiciones y temperaturas reales de funcionamiento. Si están bien alineados a la temperatura ambiente, pueden desalinearse en forma grave por deformación o dilatación térmica diferencial al aumentar la temperatura. Por ello, se debe comprobar la alineación después de que el motor y la máquina impulsada han llegado a su temperatura máxima con carga.

Después de alinear el motor con la carga, se fija en su lugar con pernos de mayor tamaño posible. Es aconsejable la posibilidad de variar un poco la ubicación de los pernos de anclaje; para ello estos elementos se instalan dentro de tubos de acero enclavados o embutidos («ahogados») en el concreto.

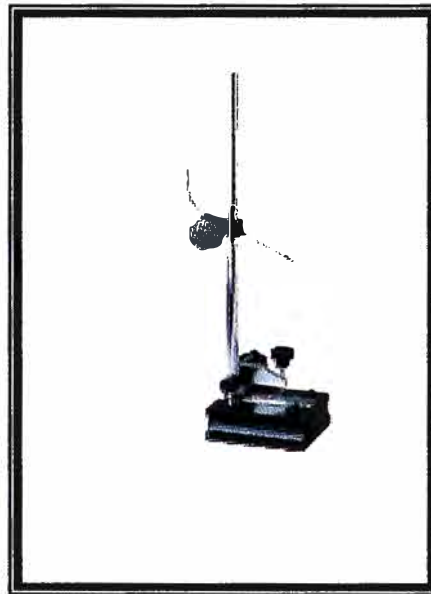


Figura 1.7 Gramil

Los motores y máquinas conectados que quedan bien alineados al instalarlos pueden desalinearse más tarde por desgaste, vibración, desplazamiento de la base, asentamiento de los cimientos, dilatación y contracción térmicas, o corrosión. Por ello es aconsejable comprobar la alineación a intervalos regulares y corregirla en caso necesario.

1.7.5 Datos de Placa.

La placa de datos o de identificación de los motores se suministra una gran cantidad de información útil sobre diseño y mantenimiento. Durante la instalación la información sobre la placa es de máxima importancia para la ejecución rápida y correcta del trabajo.

La información que posee la placa usualmente contiene Nombre del fabricante, tipo, armazón, potencia (hp), designación de servicio (tiempo), temperatura ambiente, velocidad

(rpm), frecuencia (Hz), número de fases, corriente de carga nominal (A), voltaje nominal (V), letra de identificación de diseño, factor de servicio y clase de aislamiento.

CAPITULO II
PRUEBAS ELECTROMECHANICAS EN MOTORES ELECTRICOS AC,
PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA, MEDICION DE PARAMETROS,
SEGURIDAD DE LAS MEDICIONES Y EN LAS MEDICIONES.

Entre las pruebas que se pueden realizar en motores eléctricos tenemos las siguientes:

- Pruebas de Motores Eléctricos en Servicio (Operación):

- * Medición de Parámetros Operación y Consumo (kW,kVAR, V, I, $\cos\phi$)
- * Rendimiento por suma de pérdidas.
- * Chequeo de la secuencia de fases en la caja de bornes de la máquina.
- * Medida de ruidos.
- * Análisis termográfico

Nota: El análisis vibracional es otro tipo de pruebas que se realizan las cuales serán tratados en el Capítulo III

- Pruebas de Motores Eléctricos en Servicio (Sin Operación):

- * Medida de resistencia en continua de las fases del estator.
- * Rigidez dieléctrica del devanado del estator.
- * Nivel de aislamiento devanado estator.
- * Medida del par durante el arranque.
- * Ensayo de calentamiento.
- * Curva característica de vacío.
- * Medida del par durante el arranque.

2.1 Pruebas de Motores Eléctricos en Servicio (Operación)

2.1.1 Medición de Parámetros Operación y Consumo (kW,kVAR, V, I, $\cos\phi$)

Se realiza mediante el empleo de 01 Multímetro Digital, una Pinza Amperimétrica y/o equipos Analizador de Redes, en nuestro casos empleamos el Fluye 43B o 434. Ver Figura 2.1

Las mediciones se realizan teniendo en cuenta que los resultados de la medición se encuentren dentro de los parámetros de operación indicados en la Placa, Ver Figura 2.2

2.1.2 Rendimiento por Suma de Pérdidas.



Figura 2.1 Medición de Parámetros Operación y Consumo kW,kVAR, V, I, $\cos \phi$

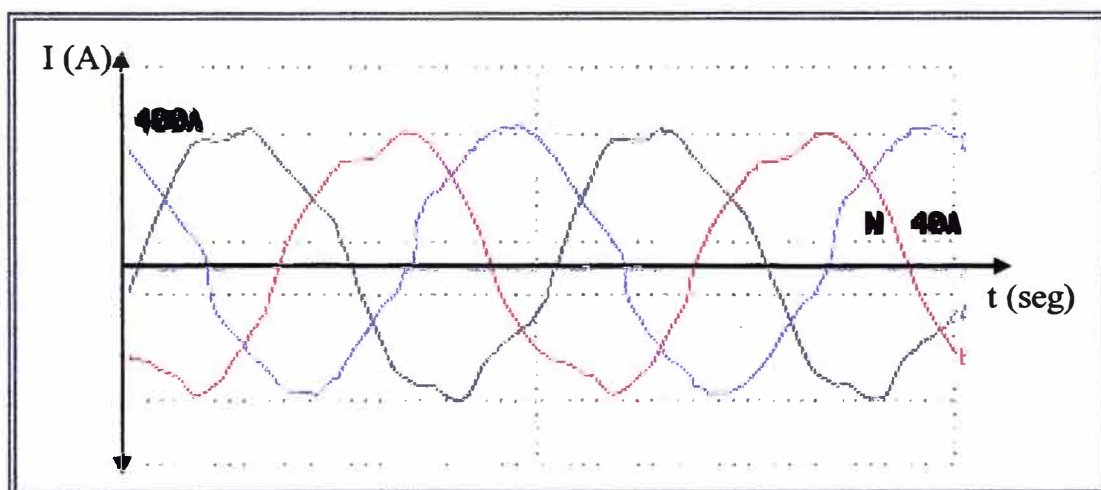


Figura 2.2. Onda de Corriente Medida a Motor Eléctrico 275HP 440Vac.

Electrobomba Turbina de Gas Cliente Techint – Camisea

Es la medición que se realiza a los consumos de corriente y potencia con el fin de determinar el rendimiento real restando las pérdidas por construcción del motor, desgaste del motor por tiempo de trabajo (estado de componentes eléctricos y mecánicos) y sus condiciones de instalación (pérdidas por alineamiento, dimensionamiento, desgaste u otros).

2.1.3 Verificación de la Secuencia de Fases en la Caja de Borneras de la Máquina.

La Secuencia R-S-T- indica el sentido de giro del motor eléctrico (horario); el procedimiento de Prueba es el siguiente: Empleando un comprobador de secuencia de

Fases (Fluke 940) se conectan los 03 terminales del equipo en la Fuente de Alimentación del Motor Eléctrico. Ver Figura 2.3 .El equipo indica en pantalla cual es la secuencia de Fases siguiendo el Orden L1,L2 y L3 en función de las salidas de los cables.



Figura 2.3 Secuencimetro

Como parte de la experiencia profesional tenemos el siguiente aporte útil:

Concepto de Medidor de Secuencia de Fases de laboratorio Simple, el cual se muestra la Figura 2.4.

El concepto parte de dimensionar la Resistencia de Lámpara y el Capacitor.

En nuestro Caso la Resistencia de ambas Lámpara fue de 0.45 Ohms, resultando por aplicación de la fórmula el valor del Capacitor 5.89 Uf. Seleccionamos el valor comercial 6.6 uF

El medidor indica que se selecciona arbitrariamente el punto 1 en la figura 09 como Fase R; al conectar al Red y cuando encienda cualquiera de las lámparas, esta será la FASE S; en nuestro caso es la número 3, siendo la restante la secuencia T.

Secuencia R-S-T: Números 1-3-2

(2.1.)

La Búsqueda de Información nos permite agregar inclusive un diagrama electrónico para la fabricación de un secuencimetro de fase con Leds:

No ha sido fabricado por nosotros; sin embargo, es un pequeño proyecto pendiente de realizar, el cual si funciona. Ver Figura 2.5

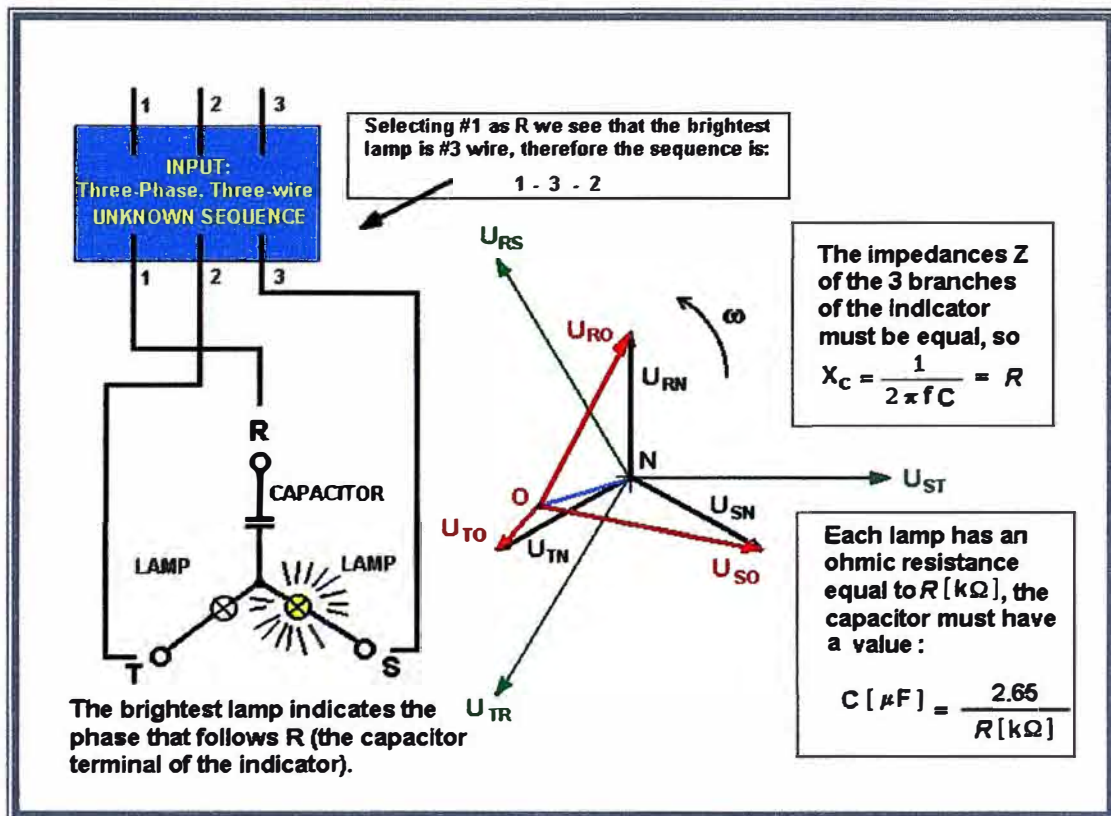


Figura 2.4 Esquema de Sencuencimetro de Fase Simple de Laboratorio

2.1.4 Medida de Ruidos.

El ruido provocado en un Motor Eléctrico en funcionamiento puede indicar las siguientes fallas:

- Rodajes con Desgaste o falta de Lubricación.
- Desalineamiento con el acople. (Vibración)
- Deficiente Fijación a los cimientos. (Vibración)
- Pérdidas de 01 o mas Fases.

Es importante por lo tanto al inicio o en el proceso inicial de funcionamiento de un motor eléctrico evaluar esta prueba. Preferible durante un tiempo determinado desde el arranque. Muchas veces el ruido se indica al momento exacto en que se produce la Falla, lo cual puede salvar al Motor Eléctrico en el preciso instante.

2.1.5 Análisis Termográfico

El Análisis termográfico es una de las nuevas formas de Prueba de Motores eléctricos en Servicio. El análisis puede prevenir y determinar o presumir la probable falla en el momento de la Prueba. Este tema se tratará en el capítulo IV del presente informe.

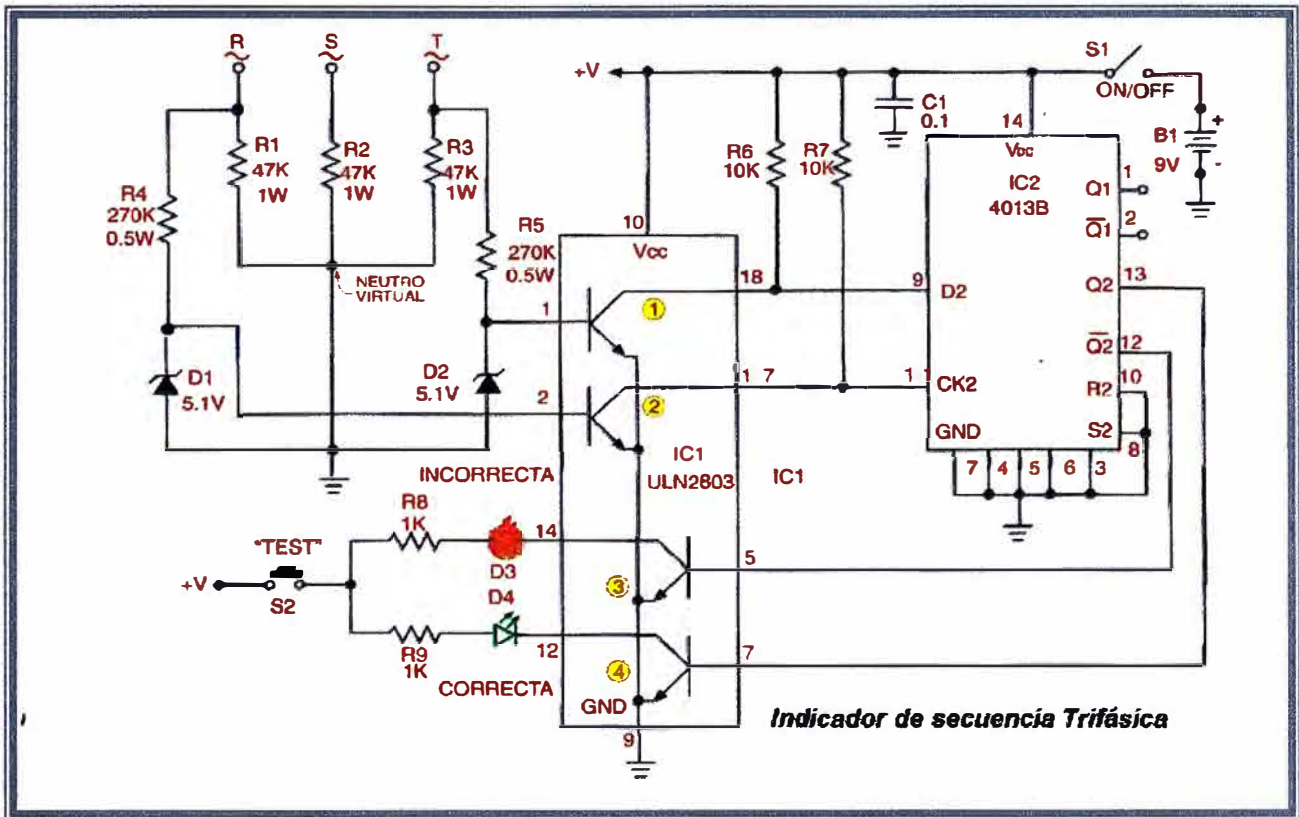


Figura 2.5 Esquema Electrónico para Fabricación de un Secuencímetro

2.2 Pruebas de Motores Eléctricos en Servicio (Sin Operación)

2.2.1 Medida de resistencia en Continua de las Fases del Estator.

La Resistencia óhmica se mide por el método de caída de voltaje (voltímetro amperímetro); en el caso de resistencias elevadas se emplea el Punte de Wheatstone (Transformadores), pero es un método que no se tratará en este caso.

El Método indica 02 casos; cuando se espera obtener resistencias pequeñas (décimas de Ohms) o valores mayores (décimas de Ohms o mayores).

Podemos guiarnos a través del diagrama de conexiones siguiente: Ver Figura 2.6

Aplicando una tensión de 220Vdc, se mueve el reóstato con el fin de obtener valores de Tensión y corriente.

Se debe tener en cuenta que la corriente debe ser evaluada por constantemente para que no se presenten altas temperaturas y calentamiento del estator.

El valor promedio de la Resistencia obtenida será la resistencia Óhmica del Motor Eléctrico.

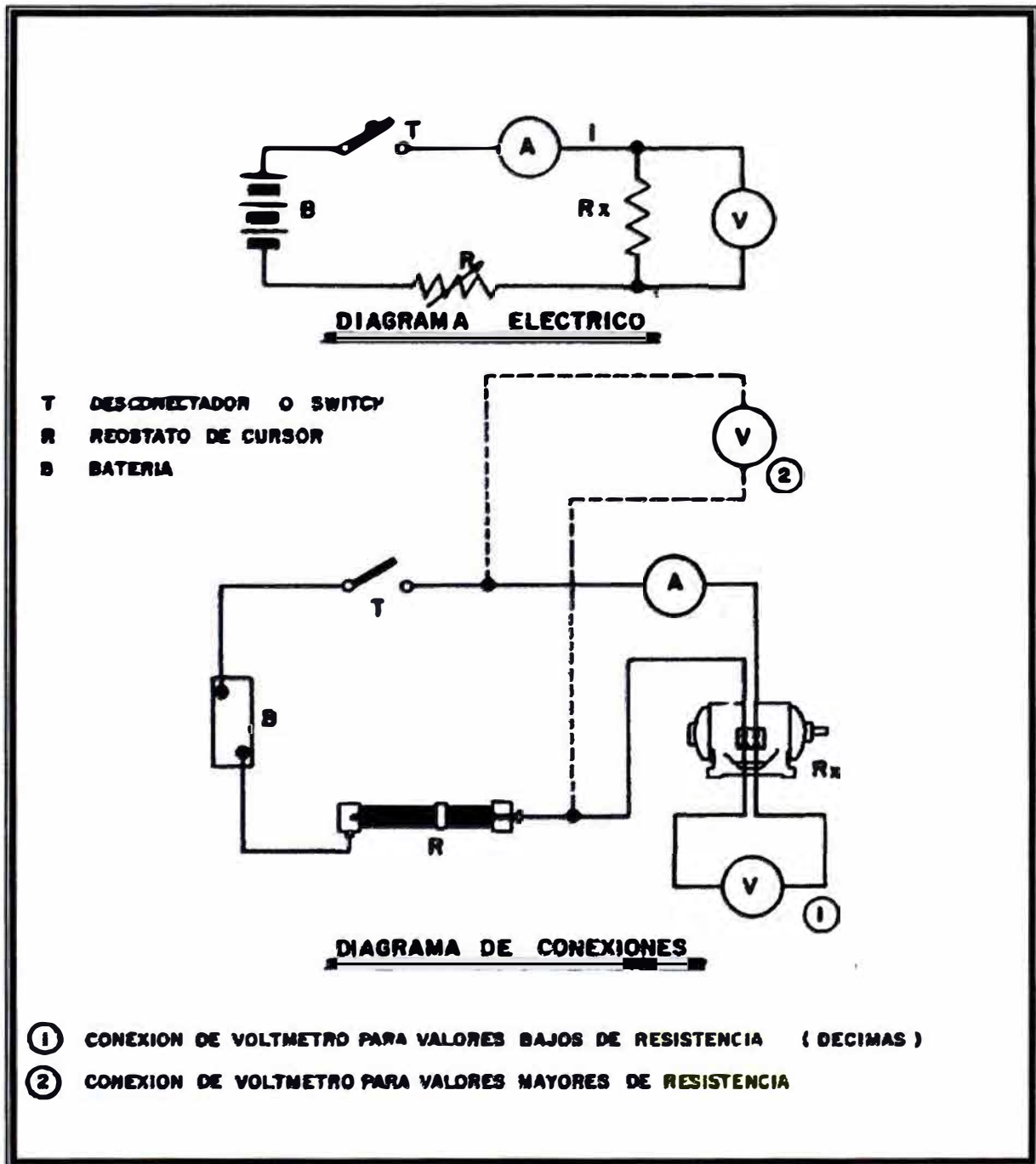


Figura 2.6 Diagrama de Conexiones – Medida de Resistencia de Estator

2.2.2 Rigidez Dieléctrica del Devanado del Estator.

El ensayo de rigidez dieléctrica se puede definir como la prueba que se le realiza al aislante hasta el instante de perforación, aplicándole una determinada tensión.

El aparato que se utiliza para este tipo de ensayo es el medidor de rigidez dieléctrica. Este aparato dispone de una alta tensión en sus puntas.

Se debe someter a tensión a cada uno de los bobinados y masa, y a los propios bobinados aislados entre si. El ensayo debe comenzar aplicando una baja tensión, que se ha de aumentar progresivamente hasta llegar a la tensión eficaz de ensayo.

La tensión eficaz de ensayo (U_{ee}) será de 1 000 voltios más dos veces la tensión nominal del bobinado; como mínimo será de 1 500 V.

Por ejemplo;

Si V nominal del motor eléctrico es de 380Vac.

La tensión mínima debe ser:

$$1000V_{dc} + 2 \times 380V_{dc} = 1760 V_{dc} \quad (2.2)$$

2.2.3 Nivel de aislamiento devanado estator.

La medida de aislamiento se realiza para comprobar si dos partes independientes de un motor eléctrico se encuentran unidas eléctricamente.

El aislamiento es uno de los factores más importantes para que la máquina pueda estar en perfecto estado de funcionamiento. Nos da el grado de envejecimiento del aislante de las bobinas

Para ello, se recurre a la medida de resistencia de aislamiento y al ensayo dieléctrico o rigidez dieléctrica.

Generalmente, estas mediciones se realizan entre cada uno de los circuitos eléctricos y masa, y entre cada uno de los circuitos eléctricos, que deben estar aislados entre si. La medida de aislamiento se realiza con un medidor de aislamiento (megger).

La resistencia de aislamiento, dada por el CEI (Comité Electrotécnico Internacional) recomienda que el valor mínimo de aislamiento sea de 1 000 S² por voltio; por consiguiente, según la expresión será:

$$R_{aisl} > 1000 \times U \quad (2.3)$$

Donde:

R_{aisl} = resistencia de aislamiento con un valor mínimo de 250 Kohms

U = tensión mayor de los bobinados en voltios

2.2.4 Medida del Par Durante el Arranque.

Como dijimos anteriormente un motor eléctrico acoplado a una carga debe estar en capacidad de poder proveer un par suficiente para mover las partes en movimiento. Este par se debe medir con el fin de poder garantizar la capacidad de este motor.

La medición del par se efectúa con una prueba de tensión reducida de 1/3 del valor nominal al frecuencia nominal y a rotor bloqueado.

2.2.5 Ensayo de Calentamiento.

Se conoce también como prueba de calentamiento; estas pruebas se realizan con el fin de que el motor no supere su Temperatura de Régimen Térmico. La importancia de la temperatura de régimen implica que no se dañen los aislamientos de las bobinas o cualquier otro elemento que obtenga algún tipo de aislante (cable de borneras, rodajes u otros).

2.2.6 Curva Característica de Vacío.

Se realizan a fin de obtener las perdidas en vacío y la corriente en vacío del motor eléctrico.

Con estos valores podemos comprobar problemas mecánicos por desbalance, ruidos, conexiones en mal estado u otros fallas antes de la puesta en servicio.

Usualmente al internamiento de un motor eléctrico, se suele, realizar un registro de estado; en la cual se realizan las Pruebas de Aislamiento al Estator y el giro manual del rotor externamente, si la prueba es conforme; se realiza una prueba en vacío por un tiempo determinado a fin de determinar alguna falla existente previo a la reparación que se indique.

La misma prueba se realiza al termino de la reparación, con esto se comprueba alguna falla en el armado o alguna reparación no conforme que se haya realizado en el motor eléctrico.

La Prueba es simple, consiste en la aplicación de la tensión nominal del motor según como este operando en Servicio para obtener los parámetros indicados anteriormente, siendo la tensión nominal la tensión de Placa.

2.2.7 Medida del Par Durante el Arranque.

Se realiza al motor eléctrico para poder determinar la capacidad de poder accionar una maquina acoplada directamente o por transmisión.

Para la Prueba se aplica una valor de tensión de 1/3 del valor nominal ($V_{1/3n}$), a la frecuencia nominal y estando el rotor bloqueado.

Se coloca un brazo en el extremo del eje sujetando un dinamómetro para medir la fuerza que el motor suministra.

El par de arranque a 1/3 del Tension nominal ($T_{1/3n}$) será el resultado del valor medido por el Dinamómetro multiplicado por la Longitud del brazo.

Como la tensión obtenida es a 1/3 de la nominal se corrige el valor a tensión nominal de la siguiente forma:

$$T_n = T_{1/3n} (V_n/V_{1/3n}) \quad (2.4)$$

CAPITULO III

ANALISIS DE FALLAS DE MOTORES ELECTRICOS COMUNES AC/DC; INFLUENCIA DE LA ELECTRONICA EN SU COMPORTAMIENTO.

A través de la práctica se ha podido observar las siguientes fallas existentes en los motores eléctricos:

- Barras del rotor rotas o rajadas.
- Anillos del rotor rajados.
- Juntas de alta resistencia en el bobinado de la jaula.
- Poros o agujeros en los rotores de aluminio.
- Rotores con reparaciones de cobre mal soldadas.
- Problemas en el bobinado en los motores de inducción, bajo aislamiento.
- Irregularidades estáticas o dinámicas en el espacio entre el rotor y el estator
- Desequilibrio magnético y dinámico.
- Eje alabeado o dilatado
- Estator, rotor o rodamientos ovalados o dañados.
- Falso contacto.
- Sobrecarga o caída de Fase sin operación de equipo de Protección.
- Desalineamiento en el acoplamiento.

Estadísticamente se indica que el índice de Fallas es el siguiente: Ver Figura 3.1

Según nuestra Experiencia podemos agrupar las fallas por zonas o sectores de fallas en los motores eléctricos, los cuales no permitirán poder analizar una falla ocurrida, estos grupos pueden ser:

- 3.1 Circuito de Alimentación Eléctrica.
- 3.2 Calidad de energía.
- 3.3 Aislamiento.
- 3.4 Estator.
- 3.5 Rotor.
- 3.6 Excentricidad.

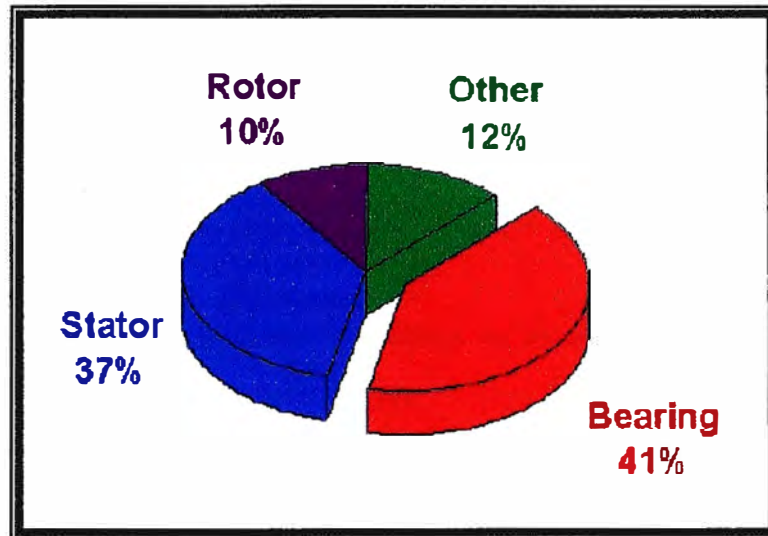


Figura 3.1 Estadísticas de Falla Motores Eléctricos

3.1 Circuito de Alimentación Eléctrica.

Inicia desde el Tablero de Control del Motor Eléctrico (CCM) hasta la caja del Motor en sí, este agrupa los cables de alimentación, los bornes de conexión, los componentes del tablero eléctrico (CCM) con sus respectivas protecciones y la condición de esta instalación. Muy usualmente en esta zona de análisis los falsos contactos es el principal causante de la falla lo cual genera que a pesar de que el motor eléctrico se encuentre en buenas condiciones este se dañe.

Un falso contacto genera un punto de alta resistencia, el problemas de tener conexiones de alta resistencia (se oponen al paso de la corriente) generan entre las más importantes:

- Generación de armónicas
- Desbalances de voltaje
- Desbalances de corriente

En la práctica las conexiones de alta resistencia son causadas por:

- Terminales corroídos.
- Cables sueltos.
- Barras sueltas.
- Porta fusibles corroídos.
- Conexiones entre Aluminio – cobre.
- Diferentes tamaños de conductores.

Entre las formas prácticas que se emplean para detectar defectos en el circuito de alimentación eléctrica de un motor trifásico es la medición de resistencia entre fases,

(prueba estática con motor fuera de servicio). El Multímetro debe indicar que las tres lecturas entre las fases deberían ser casi idénticas, su desbalance resistivo debe ser menor a un 5%.

Con Motor en Servicio el circuito se evalúa al detectarse desbalances de voltaje en cualquiera de las fases. La existencia de un desbalance mayor al 5% es un indicativo de falla por falso contacto.

Actualmente se emplea termografía en el análisis de motores eléctricos, es un tema que analizará en el capítulo IV del presente informe.

3.2 Calidad de Energía

El análisis de la energía recibida nos indica muchas fallas en un motor eléctrico. Existen varios factores involucrados en la calidad de energía; distorsión armónica tanto de voltaje como de corriente, picos de voltaje, desbalances de voltaje y factor de potencia por mencionar algunos.

3.2.1 Desbalance de Tensión

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 devanado y aumenta su vibración. Un aumento de la temperatura por encima de su valor permitido provoca daños al aislamiento; el aumento en los niveles de vibración provoca soldaduras mecánicas (pernos de tapas o bases del motor, pernos de borneras y otros), Ver Figura 3.2

De acuerdo al desbalance de voltaje en los Motores eléctricos la Potencia se ve afectada. Teóricamente siendo el desbalance de voltaje menor al 5% existe un factor el cual reduce la capacidad de empleo en cuanto a la Potencia se refiere.

3.2.2 Presencia de Armónicas

La presencia de Armónicas se verá en el capítulo IV del presente informe

3.3 Aislamiento

Cuando hablamos de la condición de aislamiento nos referimos a la resistencia que existe entre este a tierra (RTG, en inglés). La Resistencia de aislamiento nos indica que tan buen aislamiento posee un motor eléctrico.

Para que se de una falla a tierra, deben de ocurrir dos cosas. Primero debe crearse un camino de conducción a través del aislamiento. Conforme el aislamiento envejece se fisura y posibilita que se acumule material conductor. Segundo, la superficie exterior del

aislamiento se contamina de material conductor y conduce suficiente corriente a la carcasa o núcleo del motor que está conectado a tierra.

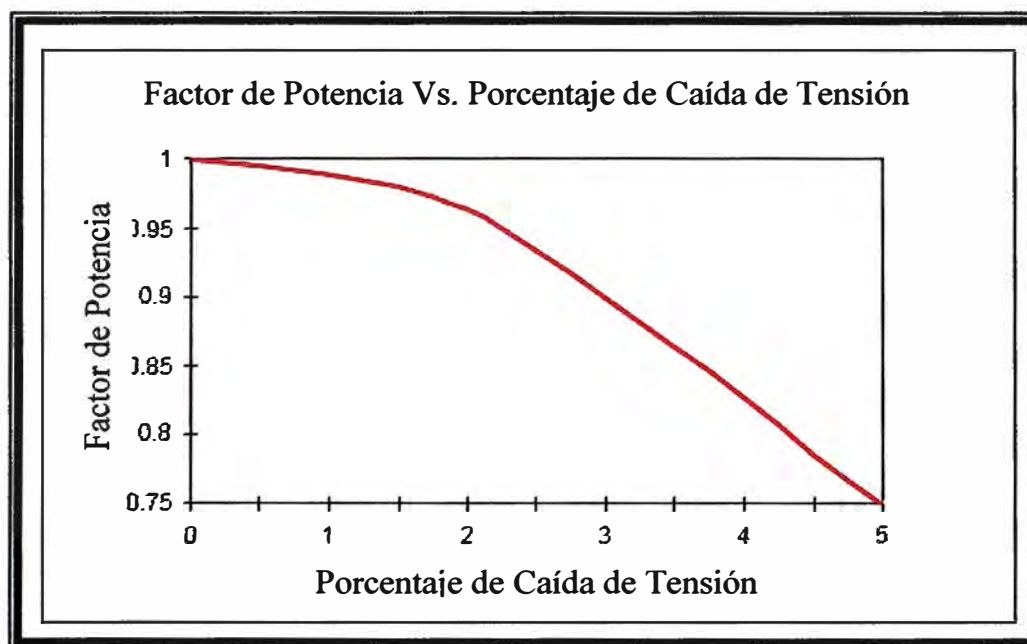


Figura 3.2 Factor de Potencia vs Porcentaje de Caída de Tensión

La máxima temperatura de operación de un motor / generador depende principalmente de los materiales usados en su construcción, existen varias clases, pero las más usadas son:

Aislamiento clase B, temperatura máxima 130°C

Aislamiento clase F, Temperatura máxima 155°C

Aislamiento clase H, temperatura máxima 180°C

Dichas temperaturas máximas, son a las cuales el aislamiento podría fallar.

El aislamiento pierde muy rápido sus propiedades al aumentar la temperatura, este mismo motor en vez de durar aproximadamente 15 años, duraría alrededor de 3 años. Ver Figura 3.3

El determinar la causa raíz de una falla en el aislamiento de un motor, puede involucrar alguno de estas causas posibles:

- Circuito de Alimentación: Una conexión de alta resistencia, produce un voltaje de línea desbalanceada.

- Armónicas: que introducen corrientes de secuencia negativa y sobrecalentando el devanado.

- Ambiental: Contaminación en el motor.

- En la práctica es fácil diagnosticar una falla en el aislamiento de un motor. El utilizar un megohmetro es una prueba para probar el aislamiento eléctrico pero no nos brinda

información completa, otro aspecto importante de resaltar es que el Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) basa los límites de aislamiento a una temperatura de 40°C.

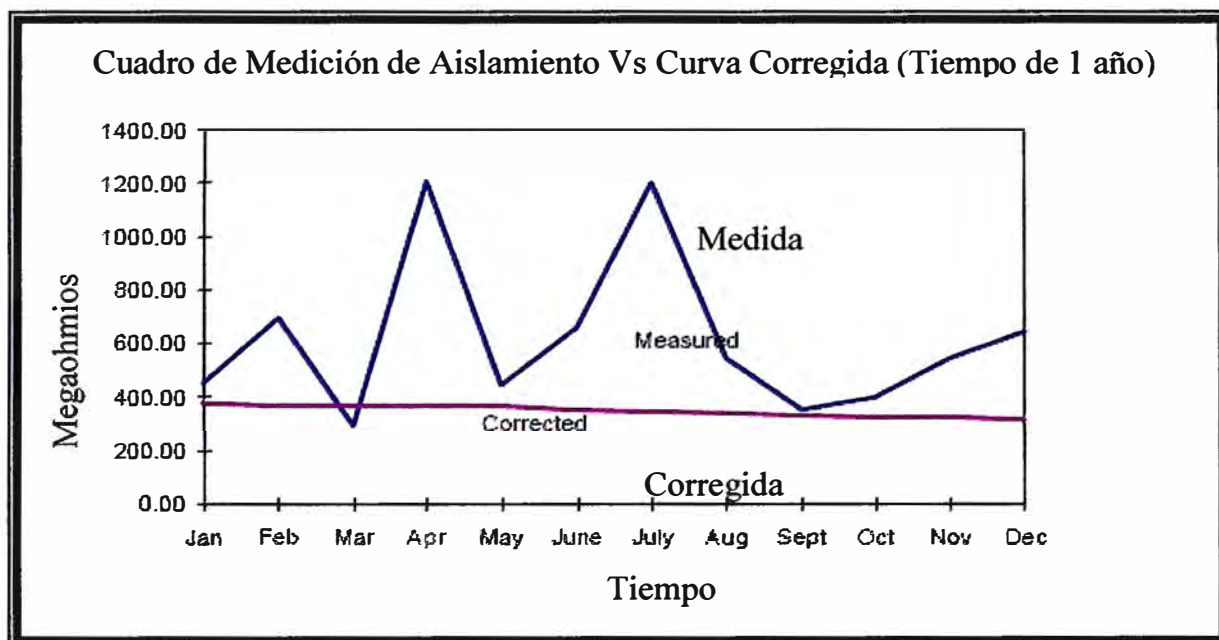


Figura 3.3 Medición de Aislamiento en un Año – Curva Corregida

- Por eso es importante hacer lectura con corrección de temperatura, de otro modo se tendrían valores con variaciones altas y bajas. La norma de la IEEE y la cual aplicamos en la experiencia indica que se debe de calcular el Índice de Polarización (Polarization Index PI); es el valor de aislamiento tomado a los 10 minutos entre el valor de 1 minuto, básicamente da una indicación de la pendiente del perfil del índice de polarización; un PI de 2.0 según IEEE es aceptable para aislamientos clases B, F y H; sin embargo en la practica motores con sistemas de aislamiento inestables pueden dar valores cercanos a 2.0; Estos casos se ven frecuentemente en Motores de Uso Marino. Ver Figura 3.4 . Es recomendable evaluar el perfil del índice de aislamiento y no solo este valor obtenido.

Esta es una medición realizada a un Motor Eléctrico de perforadora (160HP 440Vac) de la **Cia. Odebrecht PERÚ** indica un aislamiento inestable por contaminación severa. Existe posible daño o resquebrajamiento del aislamiento. La prueba del Índice de Polarización es una prueba que se realiza con voltaje CD y no es potencialmente destructiva como lo son otro tipo de pruebas como Hi-Pot y la prueba de Impulso, que se utilizan también para este efecto.

3.4 Estator

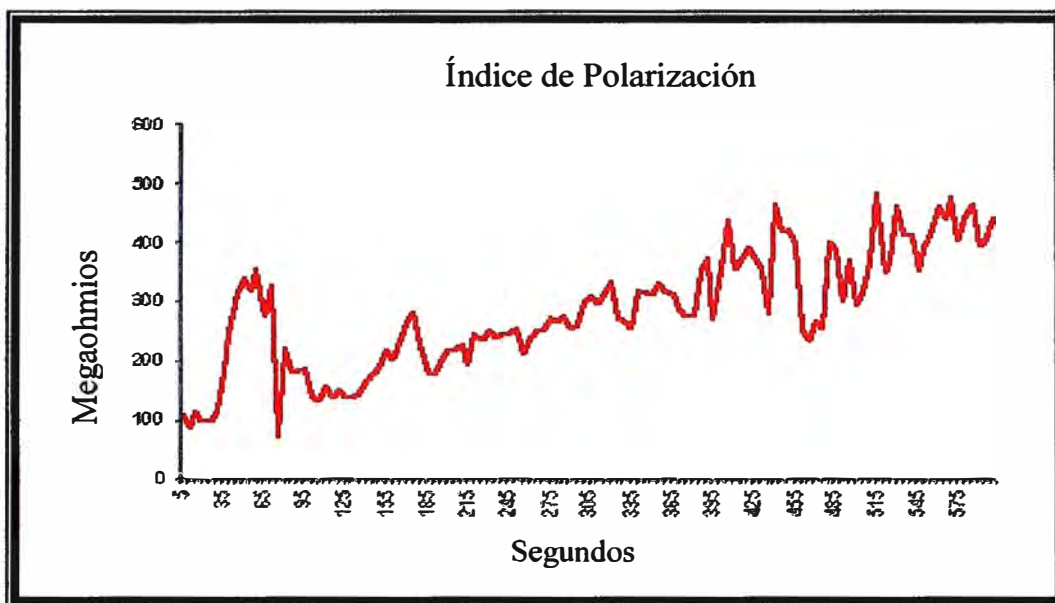


Figura 3.4 Medición del Índice de Polarización

En un estator es importante el diagnosticar: los devanados, el aislamiento entre vueltas, juntas de soldado entre las espiras y el núcleo del estator o laminaciones.

La falla más común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, ruido y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor. Generalmente este tipo de cortos aumenta la temperatura y el corto se expande a un corto entre espiras y daña completamente el motor.

Otra falla observada es la falla entre fases, un corto de este tipo acelera rápidamente el daño al motor eléctrico.

Fallas de este tipo pueden ocurrir varias veces en un motor y no resultan en una falla a tierra. Debido a esta razón, el utilizar solamente un Meghometro Digital como herramienta predictiva es insuficiente ya que este tipo de fallas pueden ser pasadas por alto. Sí el núcleo del motor se llegase a dañar el reemplazo del motor sería total.

El diagnóstico de esta zona de falla puede ser efectuada directamente en los terminales del motor o desde el Centro de Control de Motores (CCM).

La prueba estática involucra mediciones de inductancia entre fases, para esto se envían señales de CA a alta frecuencia, y se calcula un desbalance inductivo. Un desbalance presente implica que las fases producen campos magnéticos desbalanceados y que muy probablemente tiene cortos entre vueltas o espiras. También como parte de la prueba se

toman valores de resistencia, si excede un valor predeterminado indica que pueden existir conexiones de alta resistencia en el circuito hacia el motor o en las juntas de soldado.

3.5 Rotor

Cuando nos referimos a la condición de un rotor se deben de revisar; las barras, laminaciones y los anillos de corto circuito.

Un estudio del EPRI mostró que un 10% de fallas en motores se debió al rotor. Una barra rota genera un calor intenso en la zona de ruptura y puede destruir el aislamiento cercano a las laminaciones y el devanado estático colapsara.

Usualmente, muchas veces, los problemas en las barras del rotor no son fácilmente detectables con tecnologías comunes y se obvia como causa-raíz. Hemos tenido la experiencia de muchas empresas que rebobinan varias veces un motor sin saber que la raíz del problema en el devanado estaba en el rotor.

Una prueba de magnetismo detecta un problema en el rotor. La prueba es estática y relaciona el magnetismo entre el rotor y el estator. Ver Figura 3.5.

La prueba se realiza al rotor en incrementos específicos (determinados por el número de polos del motor) y tomando la lectura en el cambio de inductancia para cada fase.

Dinámicamente se identifica las barras rotas en un análisis de corriente del motor, esta se desarrolla al tomar la señal corriente de las tres fases del motor y se pasa al dominio de la frecuencia (FFT). Ver Figura 3.6.

El análisis dinámico identifica una falla en el rotor como una banda lateral, a la frecuencia de línea a una frecuencia llamada frecuencia de paso de polo (F_p).

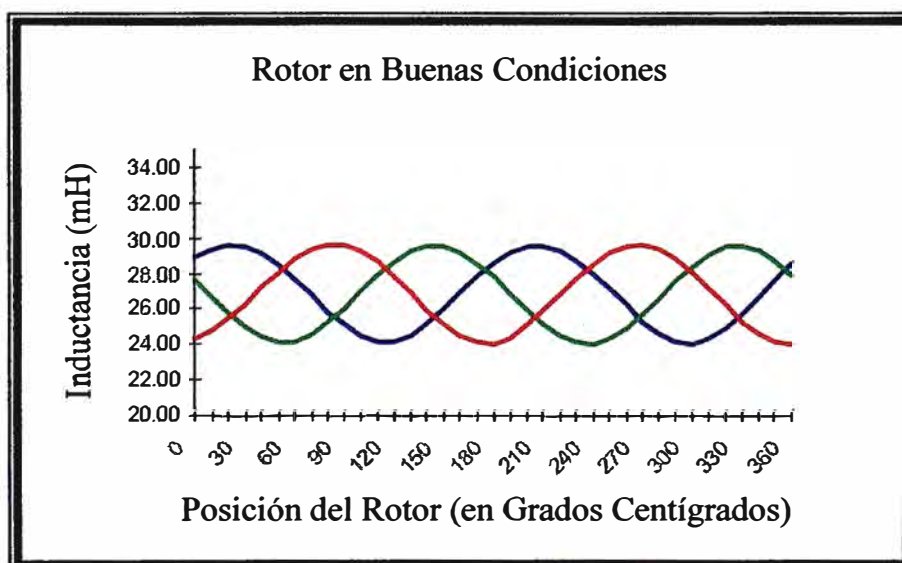


Figura 3.5 Prueba de Magnetismo – Rotor en Buenas Condiciones

Al utilizar tanto el análisis estático como dinámico para diagnosticar un problema en un rotor se tiene un alto nivel de confianza, especialmente cuando se tiene que sacar un motor importante de servicio.

Una prueba de Magnetismo del Motor se puede representar de la siguiente forma, para el caso de un motor normal.

Una prueba de Magnetismo del Motor con barras rotas muestra valores de inductancia erráticos y periódicos causados por la distorsión del flujo alrededor de la barra rota.

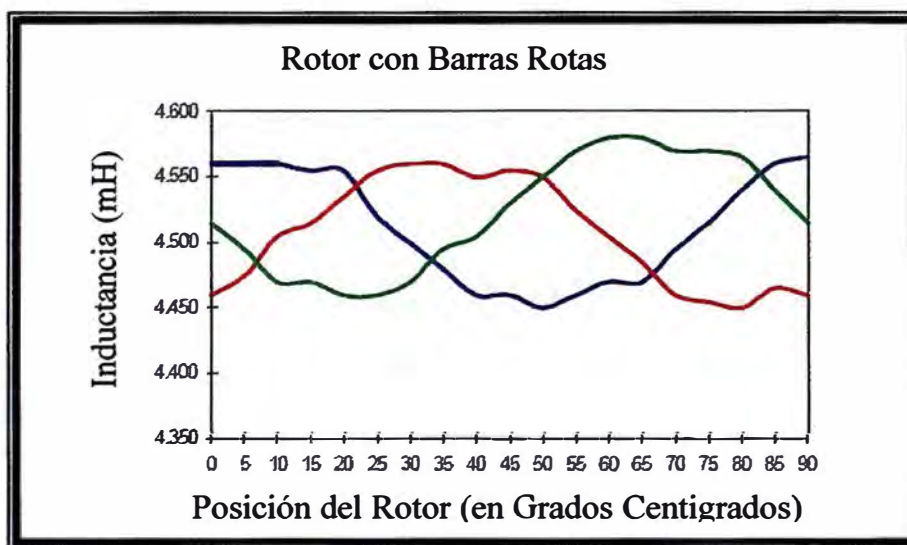


Figura 3.6 Prueba de Magnetismo – Rotor con Barras Rotas

La Figura 3.7 muestra problema en un rotor obtenido mediante un análisis de corrientes.

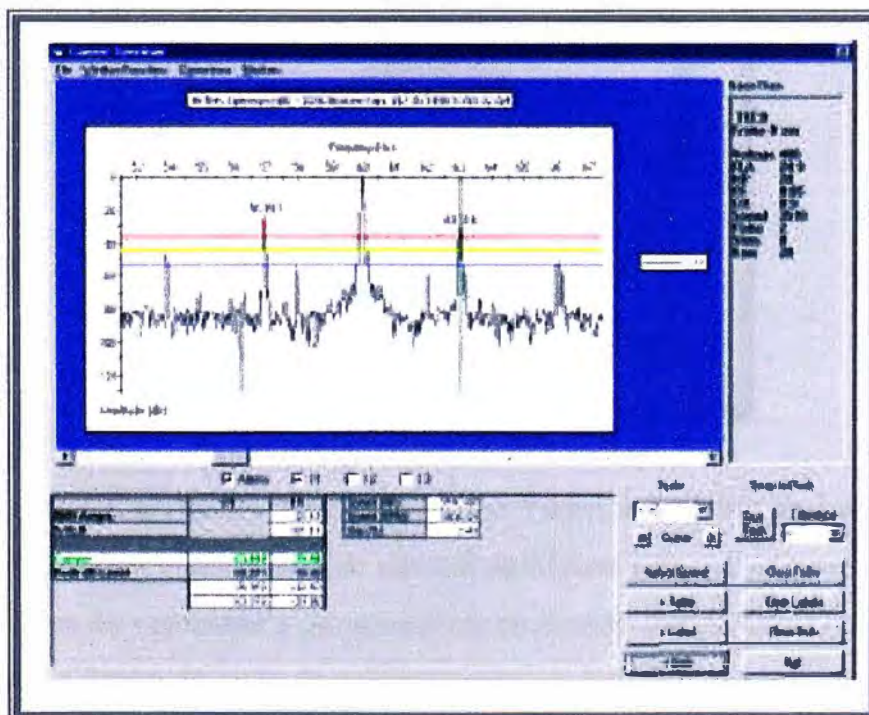


Figura 3.7 Análisis de Corrientes – Fallas en el Rotor

3.6 Excentricidad

El rotor de un motor / generador debe estar centrado, existe un pequeña luz entre ellos a los 360° uniformemente.

Si esta luz no se encuentra correctamente distribuida uniformemente se producen campos magnéticos desiguales o rozamiento con el estator con daños graves en ambas partes.

Se ha discutido ampliamente el efecto adverso que provocan estos campos magnéticos desiguales que a la larga resultará en una falla en el aislamiento y falla en los rodamientos.

El problema que se presenta se conoce como un problema de excentricidad y se tiene 02 tipos:

Excentricidad estática, en la cual el rotor esta descentrado pero fijo en un lugar generalmente este tipo de problemas es causado cuando los alojamientos de los rodajes están desalineados por un inadecuado alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcida cuando se instalo en su base. Figura 3.8.

Excentricidad dinámica, en la cual el rotor se balancea dentro del estator lo cual genera una variación de la inductancia. es causado por un eje doblado (deflexión del eje) Ver Figura 3.8

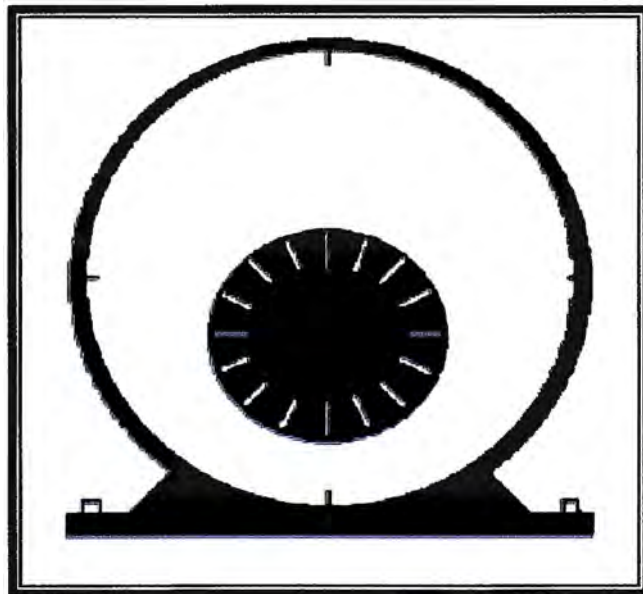


Figura 3.8 Excentricidad Estática

3.7.- Influencia de las Corrientes Armónicas en el Funcionamiento de los Motores.

Los equipos de control electrónicos de control de Motores de nueva generación tales como Variadores de velocidad y Arrancadores de Estado Sólido crean distorsiones importantes en la forma de onda de voltaje, a estas se les conoce como armónicas. Ver Figura 3.10

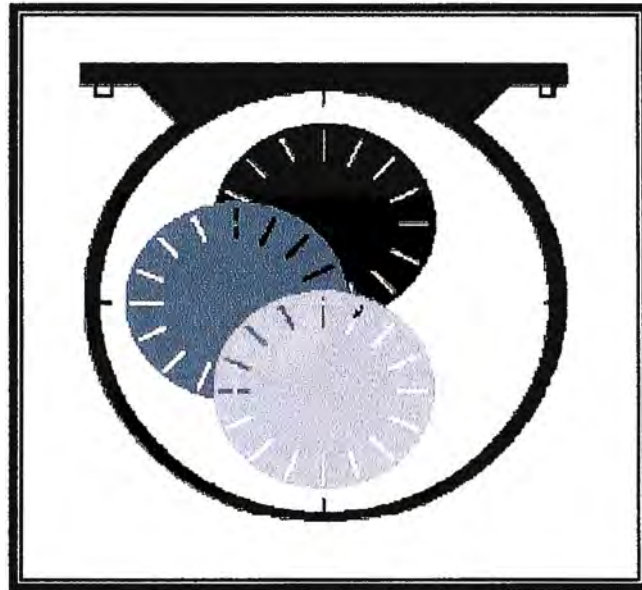


Figura 3.9 Excentricidad Dinámica

El parámetro que se emplea es la distorsión armónica Total (THD, en inglés) en términos simples es el valor RMS de la señal con la frecuencia fundamental removida. O sea, una onda sinusoidal perfecta de 60Hz tendría un THD de 0%. Cualquier otra onda presente junto con la fundamental se le considera distorsión armónica.

Las Armónicas como todos sabemos son señales que distorsionan a la onda fundamental, tienen una forma sinusoidal y están presentes en múltiplos de la fundamental. El siguiente gráfico muestra la onda fundamental a 60Hz pero con otra onda sobrepuesta, esta última completa 2 ciclos en el mismo tiempo que la fundamental completa uno. Si se observa la fase 1 de la fundamental (gris), la armónica forma los dos ciclos (verde) A la onda sobrepuesta se le conoce como la 2da. Armónica $2 \times 60\text{Hz} = 120\text{Hz}$.

Las armónicas existen en todos los sistemas trifásicos y son generadas por cargas no-lineales como:

- Convertidores de potencia electrónicos: rectificadores y vaciadores de frecuencia (VFD)
- Fluorescentes.
- Hornos de arco.
- UPS, etc.

Existen tres tipos de armónicas:

- Secuencia positiva: Crea un campo magnético en la dirección de rotación, por lo tanto ayuda al torque del motor eléctrico. Ver Tabla 3.1
- Secuencia negativa: Se opone a la rotación del motor e incrementa la demanda de corriente a una carga determinada. Ver Tabla 3.1

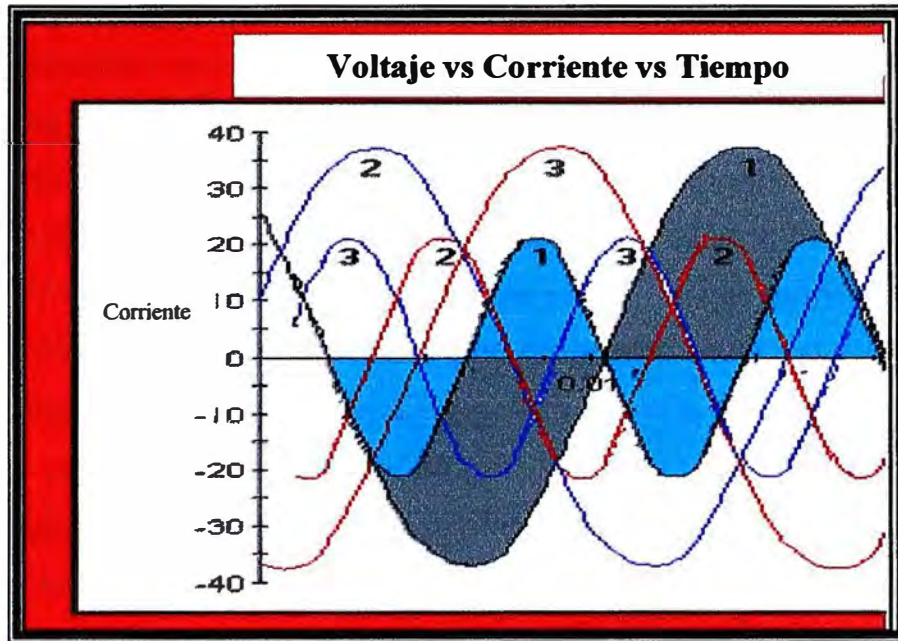


Figura 3.10 Tensión y Corriente vs Tiempo

- Secuencia cero: No produce ningún trabajo, pero causa calentamiento y retorna al transformador de alimentación y sobre carga al nuestro. Produce por lo tanto calentamiento en el transformador también.

La siguiente tabla muestra la clasificación de cada armónica para un sistema:

Tabla 3.1 Clasificación de Armónicas

Armoni	HZ	Secuen	Armoni	HZ	Secuen
1	60	+	7	420	+
2	120	-	8	480	-
3	180	0	9	540	0
4	240	+	10	600	+
5	300	-	11	660	-
6	360	0	12	720	0

El fenómeno de las armónicas que más afecta para el caso de los motores eléctricos es el excesivo calor que se produce por las demandas de corriente anormales. Un motor diseñado para consumir a plena carga 150amp. Podría consumir 180 A. (20% mas) si el THD es alto. Este aumento de corriente podría no ser tolerado por el motor y provocaría daños severos al aislamiento y posible colapso del mismo.

Si este alto THD no es corregido, al instalarse un nuevo motor en este circuito, el fenómeno se repetiría y sería de nunca acabar, por esto un análisis de la calidad de energía que le llega a un motor es irremplazable.

Existe un factor de reducción conocido como el factor de voltaje armónico (HVF, en inglés), el cual se utiliza para reducir la potencia del motor en presencia de un THD alto.

El estándar IEEE519-1992 reconoce que son las cargas las que introducen armónicas al sistema y nos da ciertos límites que se deberían de manejar en las industrias. En este caso la distorsión armónica de voltaje es más importante, según la tabla 3.3.1 de este estándar, el THD para sistemas operando a menos de 69kV debería ser no mayor a 5%. Aun recomiendan que cada armónica de voltaje individual no exceda de un 3%.

Una correcta identificación de las armónicas presentes en el circuito de distribución permitirá a los ingenieros de calidad de energía, diseñar filtros pasivos y activos para eliminar el efecto anteriormente discutido.

3.8 Análisis Vibracional en Motores Eléctricos, Fallas Frecuentes.

El Análisis Vibracional es en la actualidad una de las pruebas mas importantes que se realizan en motores eléctricos en Servicio.

Las Pruebas de análisis vibracional consisten en la ubicación de sensores en los cojinetes del motor para medir la vibración mecánica.

Mediante el Análisis Vibracional se puede determinar las fallas que ocasionan los altos niveles de vibración como: Desbalances en el motor, desalineamiento de ejes, ejes flexionados, rodamientos defectuosos, rodamientos con holguras fuera de tolerancias, problemas eléctricos en motores, entre otros. Figura 3.11.

La vibración en los rodajes genera el desgaste de los mismos. Cuando la vibración es excesiva los rodajes pueden llegar a destrozarse completamente si no se observa a tiempo. En nuestra experiencia se han observados muchos de estos casos donde no solamente se ve afectado el rodaje, sino, el rotor por rozamiento con el estator dañando gravemente a los componentes.

El análisis vibracional permite obtener mediante niveles permisibles o aceptables los puntos de falla tomando como referencia los puntos donde los rodamientos se encuentran instalados. Figura 3.12

Sin embargo, se tiene en cuenta que el causante de la vibración puede no ser el rodaje sino, un mal alineamiento de la maquina, un mal armado del motor eléctrico.

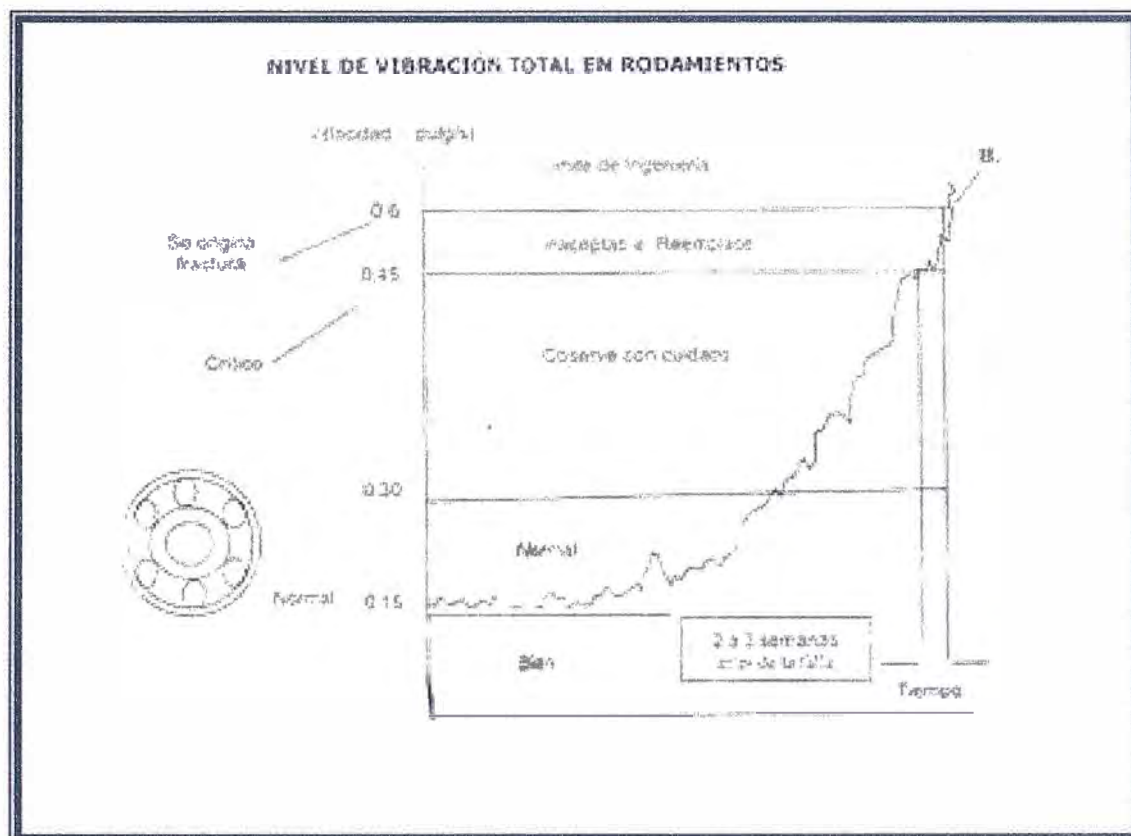


Figura 3.11 Nivel Vibracional en Rodamientos

Durante el análisis vibracional se tiene en cuenta estos detalles para una correcta medición:

- **Rigidez de la estructura de soporte.** Si el equipo está montado sobre una base flexible, las lecturas podrán ser mayores para condiciones relativamente similares. Por lo tanto hay que tener cuenta en el análisis el punto de referencia a analizar para la medición.
- **Lectura horizontal vs lectura vertical.** En algunos casos, una lectura de vibración horizontal puede ser hasta el doble del nivel de vibración en el plano vertical para un punto dado en una máquina.
- **Frecuencia de vibración.** En el caso de máquinas operando a valores menores que 1000 rpm, los niveles de vibración disponibles deben ser reducidos. Una regla sencilla es un 10% de reducción por cada 100 rpm.
- **Máquinas reciprocantes.** Debido a su diseño básico, las máquinas reciprocantes, tales como motores de bombas y compresores, normalmente tienen valores de vibración superiores a las máquinas rotativas.
- **Fuerzas externas.** Normalmente, las máquinas no son montadas solas, en el medio del piso de una planta; usualmente hay otros equipos cerca. Los otros equipos pueden afectar la máquina que analiza. Tuberías conectadas, ductos y estructura montadas transmiten vibraciones de máquina en máquina en máquina

- **Puntos de medición.** Para el caso de máquinas verticales, las lecturas deberán ser tomadas en el cojinete que dé las lecturas máximas.
- **Condiciones de operación.** Las mediciones deberán realizarse cuando la máquina alcance su temperatura normal de operación. La máquina debe operar a su rpm, flujo y presión normal. En máquinas con cargas o velocidades variables, las mediciones se deben tomar en todas las condiciones de carga y velocidad. La lectura mayor será la más representativa.
- **Instrumentación.** Debe emplearse el mismo tipo y modelo de instrumento para poder comparar las lecturas tomadas, tener en cuenta que 2 instrumentos no son exactamente iguales. Cada instrumento tiene su propio rango de operación y sensibilidad a varias frecuencias de operación
- **Lecturas relativas.** La razón de cambio en los niveles de vibración pueden ser tan importantes como los valores absolutos de vibración de 2.0 mm/s.
Si el nivel de vibración obtenido es de 1.0 mm/s un día antes de la medición y ha variado en un tiempo muy corto (ejemplo 24 hrs.), el análisis puede dar a lugar la existencia de un problema en el conjunto.
- **Sentido común.** Usualmente en base a la experiencia se toman en cuenta parámetros repetitivos.

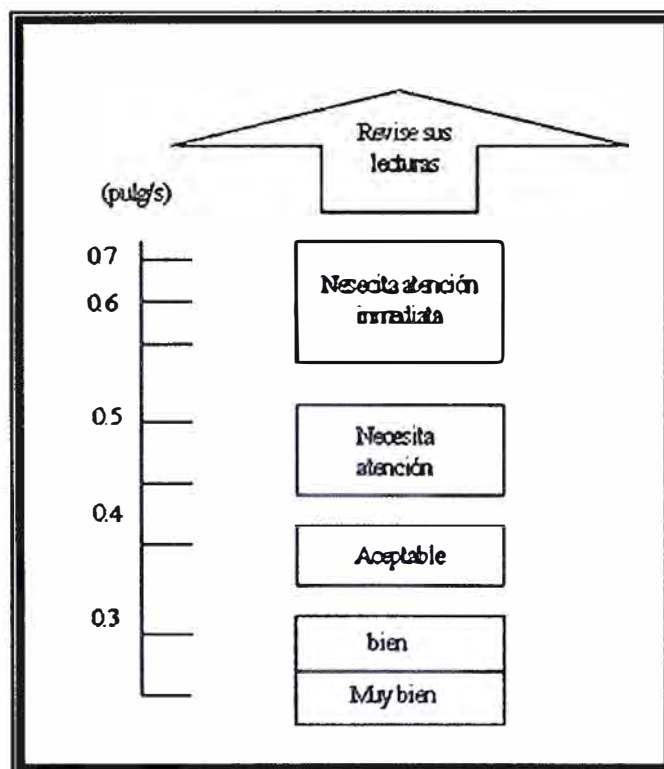


Figura 3.12 Escala de Valores – Análisis Vibracional

3.9 Análisis espectral FFT (Fast Fourier Transformation)

Las nuevas tecnologías permiten analizar las vibraciones a través de análisis espectrales. El equipo permite descomponer la vibración obtenida en diferentes componentes de frecuencia dependiendo del tipo. El concepto es que cada vibración tiene una frecuencia característica.

Esto se logra con filtros de frecuencias, ya que cada vibración tiene en general una frecuencia distinta. Dichas frecuencias se descomponen normalmente en armónicos de la frecuencia de giro de la máquina (múltiplos de la frecuencia de giro). Las señales se descomponen en componentes secuenciales con su respectiva amplitud vibracional. Ver Figura 3.7

El espectro FFT, muestra gráficos que nos dan la amplitud de vibración en función de los múltiplos de la frecuencia de giro de la máquina ($1x$, $2x$, $3x$,.....) y que tienen algunas formas ya casi definidas tal como podemos ver en los siguientes gráficos.

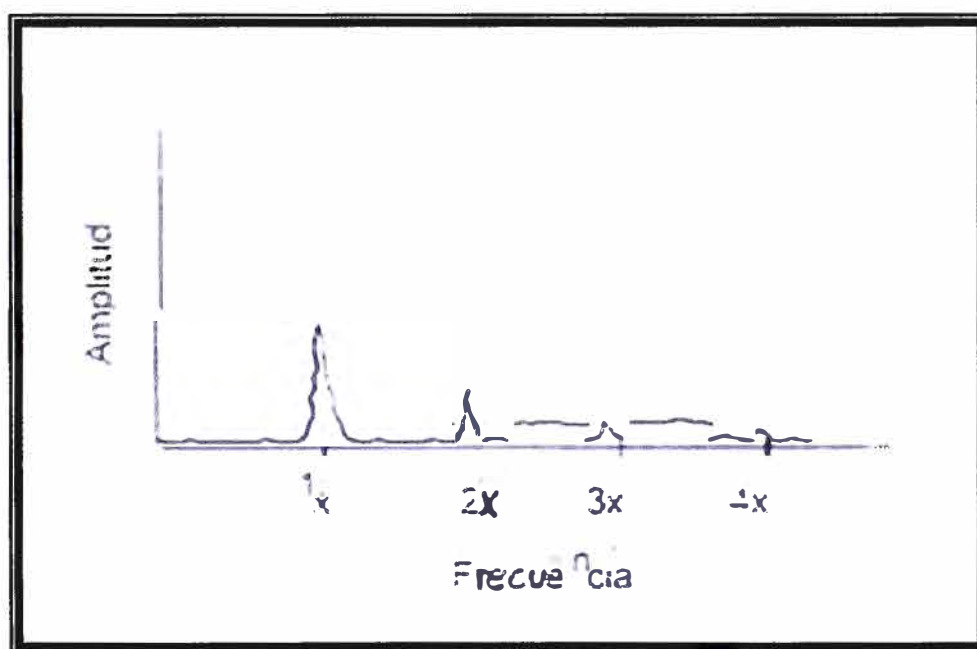


Figura 3.13 Espectro Simple de Baja Frecuencia

En la Figura 3.13 se muestra un espectro FFT simple de baja frecuencia con picos a la velocidad de giro de la máquina y múltiplos (armónicos) en condiciones normales de funcionamiento como se puede apreciar en las frecuencias añadidas a $2x$, $3x$,....., la amplitud va disminuyendo aproximadamente en $1/3$ de la amplitud a la frecuencia de giro, lo cual es un comportamiento normal.

En la Figura 3.14 se muestra que La vibración a dos veces la velocidad de giro implica desalineamiento. Si la amplitud a dos veces la velocidad de giro es más de 75% de la

velocidad de giro, está a punto de ocurrir una falla. La condición debe ser monitoreada de cerca y corregida a la primera oportunidad.

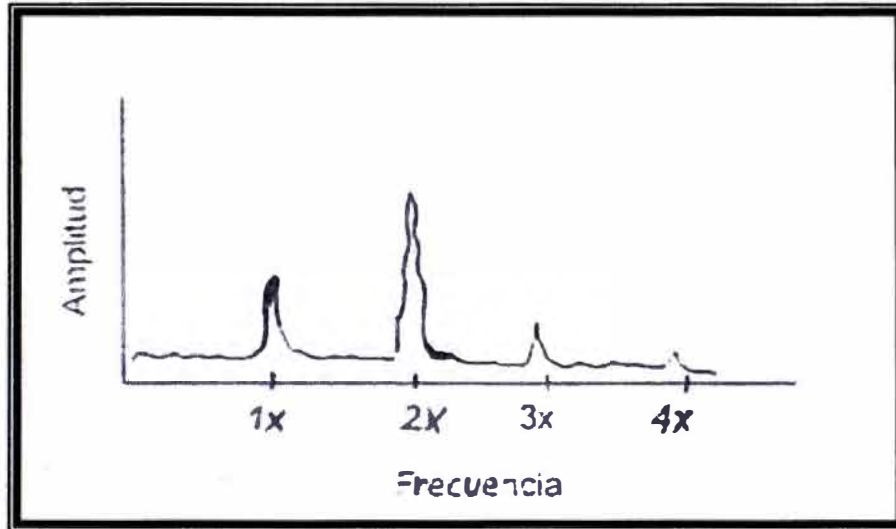


Figura 3.14 Espectro - Desalineamiento

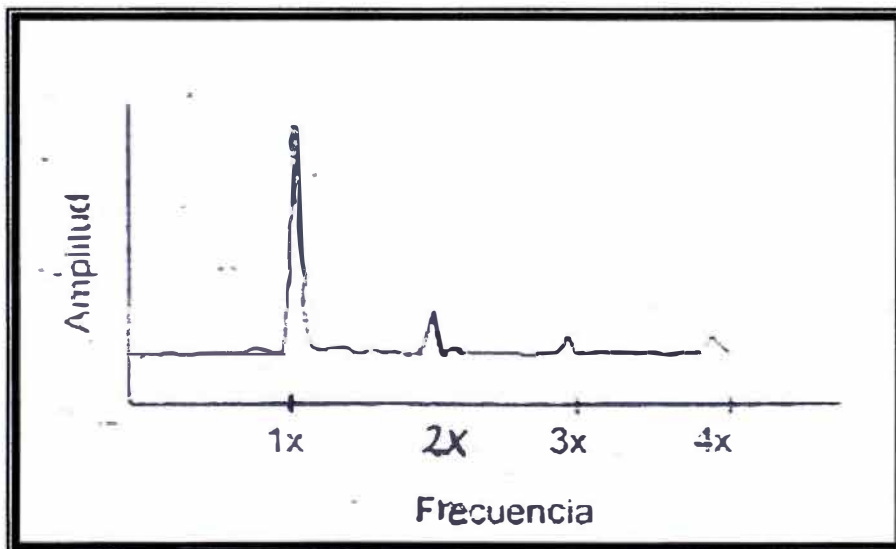


Figura 3.15 Espectro Simple Desbalance

El desbalance casi siempre se observa como una alta amplitud a la velocidad de giro y medida en dirección radial. Figura 3.15. Muchas máquinas de marcha suave muestran esta condición debido al desbalance inherente. Es necesario comparar espectros actuales con los espectros base medidos cuando la máquina estaba en buenas condiciones de balance.

La soltura mecánica generalmente se caracteriza por una larga cadena de armónicos de la frecuencia de giro con altas amplitudes anormales. Ver Figura 3.16

3.10 Motores Eléctricos Especiales, Pruebas en Servicio.

Concepto Técnico Breve:

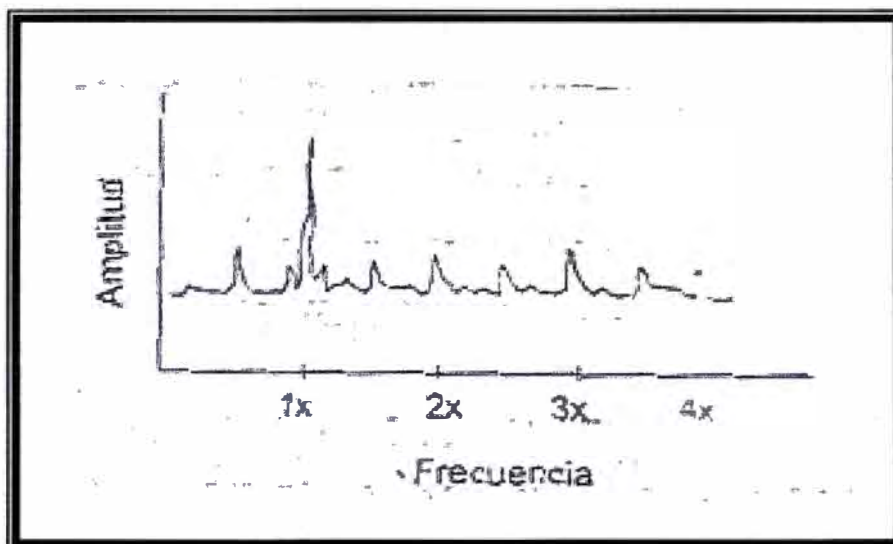


Figura 3.16 Espectro Simple Soltura Mecánica

3.10.1 Motores Eléctricos de Electrobombas Sumergibles

Son motores eléctricos que operan sumergidos parcial o totalmente en Agua. Ver Figura 3.18 .Poseen una forma de bobinado similar a los motores de Inducción pero con bobinas formadas por alambres aisladas con PVC; este tipo de alambre es conocido como “Alambre Plastificado” viene suministrado de diferentes calibres siendo su selección de la siguiente forma:

Característica de Pedido del Alambre = Espesor de Alambre CU (mm) x Espesor incluido Chaqueta.

Ejemplo:

Alambre 2.3x4.0mm. (3.1)

Indica que el calibre solo del Alambre de Cobre es de 2.3mm y el calibre total del cable es de 4.0mm (incluye espesor de alambre y chaqueta de PVC) Figura 3.17 Alambre Plastificado

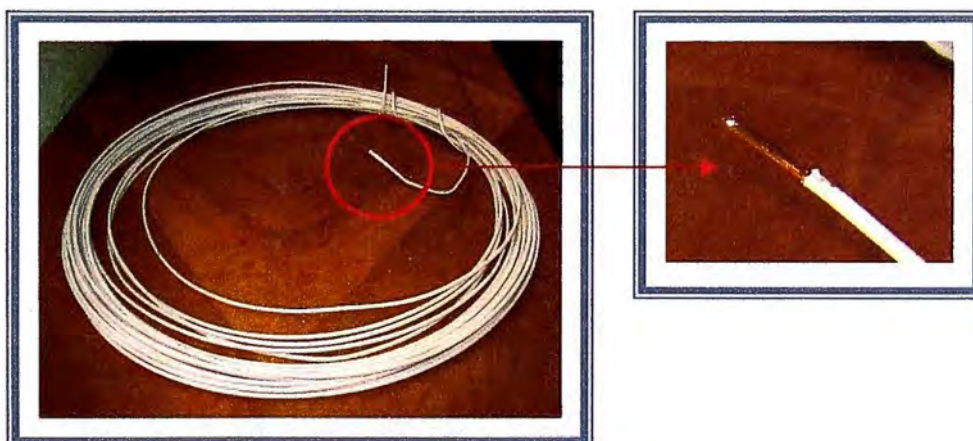


Figura 3.17 Alambre Plastificado

En nuestra Experiencia se ha tratado estos motores, los cuales son empleados para Sistemas de Tratamiento de Agua Servidas o Pozos de Agua Potable. (Sedapal – SedaChimbote u otras empresas con Sistemas de Extracción Agua en Pozos)

- Pruebas realizables en este tipo de Motores eléctricos:

a). Mediciones de Parámetros Operación y Consumo (kW,kVAR, V, I, $\cos\theta$).

De igual forma que un motor estándar las medidas son tomadas en la caja de borneras o en el tablero de control de este equipo.

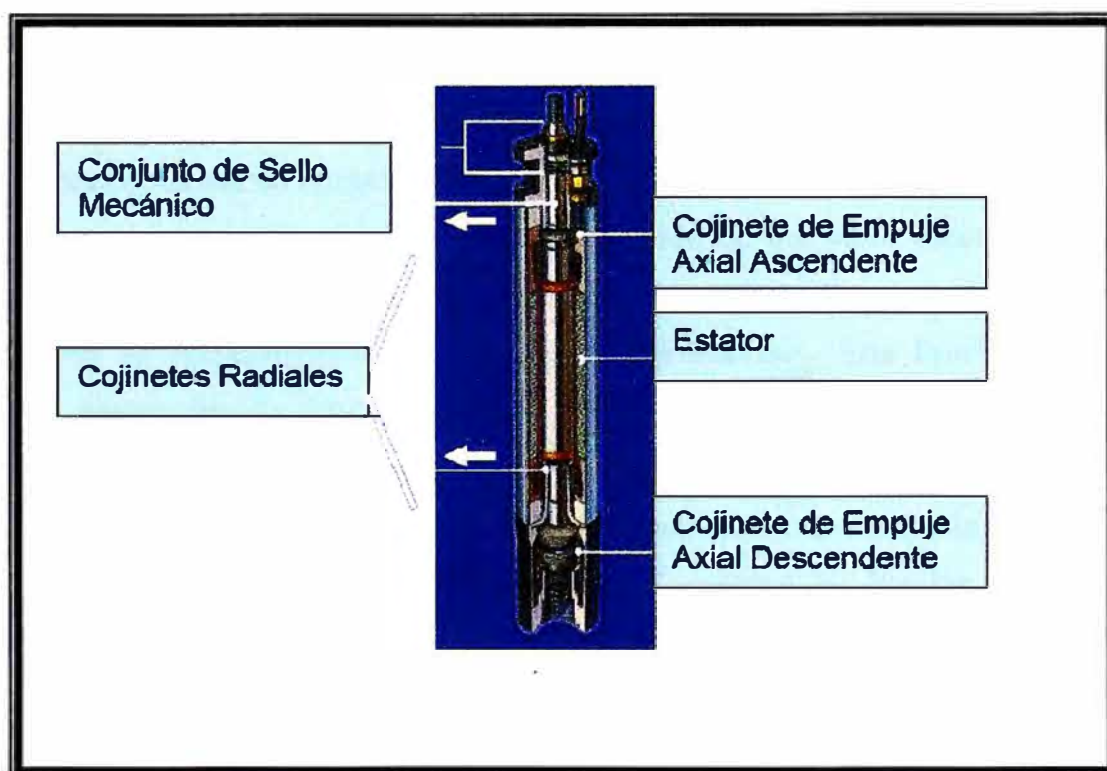


Figura 3.18 Partes de Motor Eléctrico Sumergible

b). Chequeo de la secuencia de fases en la caja de bornes de la máquina.- Se emplea el secuencímetro. Prácticamente la Secuencia de Giro se realiza teniendo en cuenta si es que el equipo bombeo o no el caudal de Agua Deseado.

En la práctica si el caudal es mucho menor o menor que el usual, el sentido de giro puede estar invertido.

c). Medida de ruidos.- Al estar estos equipos en cámaras de Agua el nivel de ruido no debe ser excesivo; el exceso de ruido indica falla en el motor.

d). Medida de resistencia en continua de las fases del estator.- Usualmente se ha podido comprobar en estos tipos de motores que una alta resistencia es símbolo de recalentamiento

o falla del Motor. En un caso se logro medir hasta una resistencia de 150 Ohmios. (Motor Eléctrico 220Vac, 80HP 3600RPM Pozo 305 – Sedapal)

e). Nivel de Aislamiento Devanado Estator.- Se tiene en cuenta por catalogo del fabricante que el aislamiento de un motor eléctrico de estas características debe estar por encima de 01 Mohms, prácticamente se toman referencia de medida para el caso de motores reparados con valores mayores a los 10Momhs a motor sumergido completamente.

f). Prueba de Hermeticidad de la Cámara de Aceite.- Esta Prueba se realiza en motores sumergidos de Electrobombas Tipo Balde. La Prueba consiste en someter a la cámara de Aceite a una Presión de Agua de mayor a 1.5Bar; esto es debido a que la contaminación existente en la cámara de agua no debe ingresar a la cámara de aceite y el aceite contenido en la cámara de aceite no debía ingresar al estator de motor.

La Prueba es para determinar la correcta instalación de los sellos mecánicos en ambas cámaras, lo cual debe superar una prueba mínimas Mayor a 1.0Bar.

g). Prueba de Hermeticidad de la Carcaza del Estator.- Esta Prueba se realiza en motores sumergidos de Electrobombas Tipo Balde. Ver Figura 3.19 .El Motor por encontrarse sumergido por Momento Parcial o Totalmente en Agua de tal forma que a fin poder comprobar la hermeticidad en el estator se somete a una Prueba igual a la anterior. Ver Figura 3.20. La Prueba consiste en someter al estator a una Presión de Aire mayor a 1.0Bar; El resultado es que No debe presentarse fugas de Aire; la presencia de alguna Fuga a esta presión indicaría que el agua puede ingresar al estator causando su degradación.

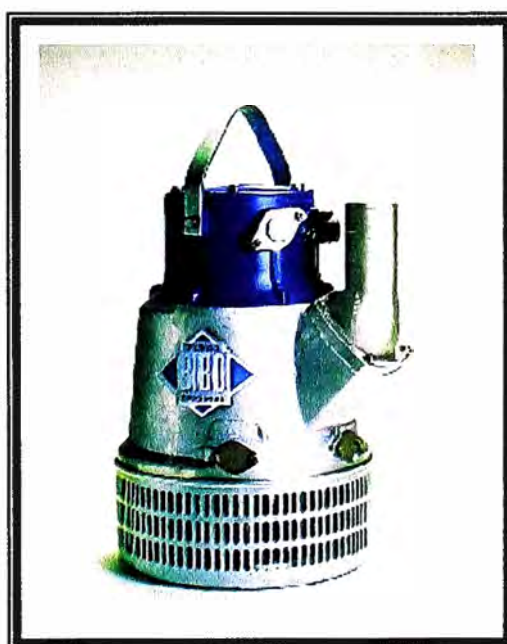


Figura 3.19 Electrobomba Tipo Balde

La Prueba es para determinar la correcta instalación de la caja de borneras, la cual va sellada y la comprobación de la correcta instalación de la cámara de aceite.

3.10.2. Fallas Comunes en Motores Eléctricos Sumergibles

Podemos agruparlas en 02 tipos:

- a) Fallas Eléctricas.
- b) Fallas Mecánicas.

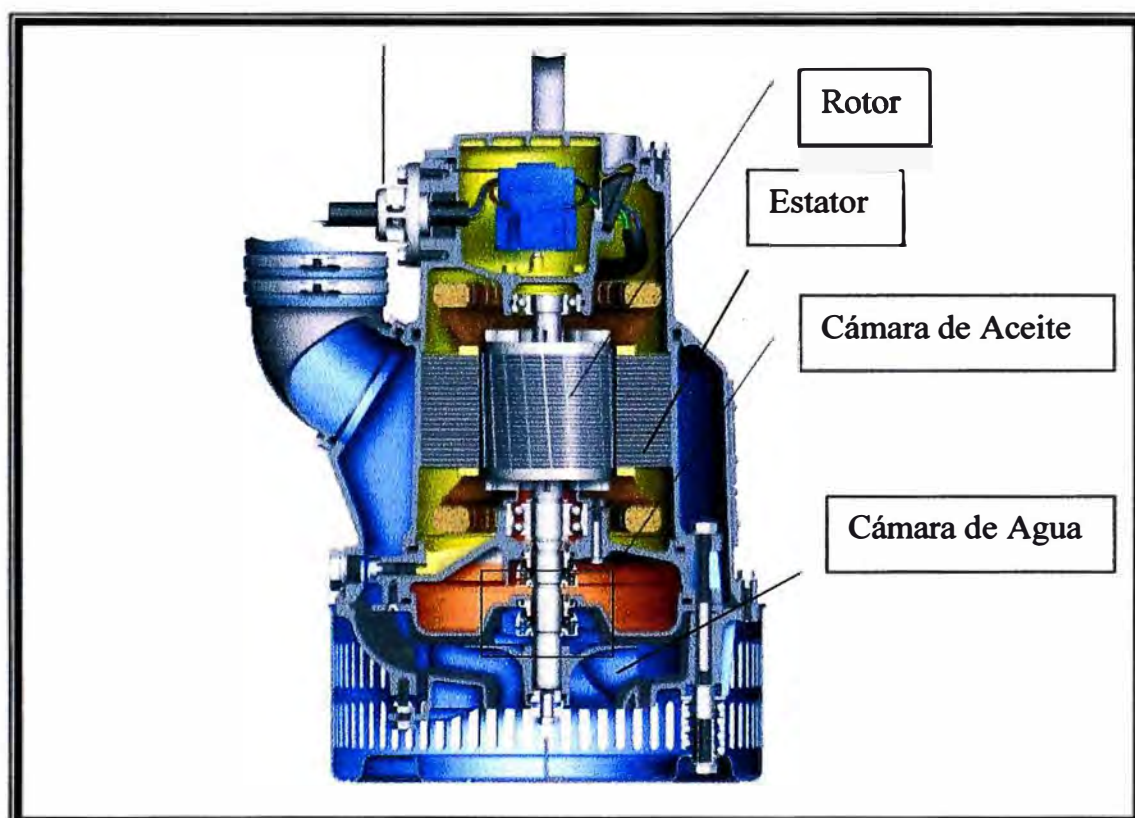


Figura 3.20 Vista de Partes Electrobomba Tipo Balde

a) Fallas Eléctricas

El 80% de las fallas eléctricas son relacionados con la quemadura del estator del motor. La mejor manera de prevenir estas fallas es proteger al motor instalando seccionadores con fusibles o interruptores magnéticos (sobrecarga) debidamente dimensionados y recomendados por los fabricantes.

Las conexiones a tierra para estos casos es un factor importante; una buena conexión a tierra es indispensable. Se ha observados casos en que se instala varilla introducida en el suelo, lo cual no necesariamente es el mejor camino para que las trascientes fluyan al agua subterránea. En el peor caso, su motor presenta un mejor conductor hacia tierra y el trasciente se descargará a través de su motor. La mejor forma de hacer Tierra es a través de

la conexión Tierra del motor. Si no se tiene disponible, se puede conectar la tierra del gabinete o supresor al casing del pozo (debe ser de metal) o a la tubería de impulsión (inmersa en el pozo).

Las Pérdidas de fase suelen ocurrir por una sobrecarga en una de las fases, lo que origina la apertura de un fusible. También puede deberse a daños en los sistemas de interconexión, borneras, interruptores, contactores, etc.

Un motor trifásico al perder una fase continua girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes. El protector térmico debe ser sensible a ésta pérdida y protegerá al motor siempre y cuando sea el adecuado y este regulado a la “corriente de trabajo” en caso de arranque directo y para arranque estrella-triángulo se regulará el relé térmico del arrancador a la corriente de trabajo multiplicado por 0.58.

Las Variaciones en la tensión, tanto el alto o bajo voltaje, causan un incremento en la corriente absorbida por el motor y el sobrecalentamiento de los arrollamientos. Aunque los motores permiten cierta variación en el voltaje (comunmente $\pm 10\%$ del voltaje nominal) no se puede predecir el tiempo en que va a fallar el motor si se opera a fuera de este rango permisible.

Picos y descargas de voltaje: Las descargas de alto voltaje y los picos de voltaje son el resultado de rayos que caen cerca de algún elemento del suministro eléctrico, interruptores que abren las líneas de energía, interruptor rápido que limitan el paso de la corriente, o el retiro de grandes cargas inductoras de la línea de energía. Estas descargas y picos pueden trasladarse hacia los devanados del motor donde pueden acabar con la resistencia de aislamiento. Los motores Franklin pueden soportar descargas de voltaje de hasta 1,000 voltios, pero desgraciadamente estas descargas no se limitan a estos voltajes. Esta es la razón por la cual se necesita un supresor de picos de voltaje, capaz de absorber múltiples impactos. Nuestros motores monofásicos de 4” cuentan con un supresor de picos interno, por lo cual no necesitan otro adicional. Recuerde que no hay muchas ventajas si el supresor de picos se instala y no se aterriza a los estratos de agua. Muchos usuarios usan el termino “pararrayos” cuando se refieren a un supresor de picos. Aunque la caída de un rayo de millones de voltios directamente en el motor es difícil de detener, el supresor de picos bien aterrizado a los estratos de agua si previene que los motores sumergibles fallen prematuramente debido a picos o descargas de voltaje.

Ahora que ya hemos abordado el tema de fallas eléctricas en los motores sumergibles (edición pasada y esta), nos enfocaremos en como los problemas mecánicos pueden afectar la vida de los motores.

Un desbalance en el voltaje de tan solo 1%, causa un desbalance en la corriente de 10%. A partir de 5% desbalance de corriente, las bobinas del motor sufrirán sobre-calentamiento excesivo (a plena carga). Por cada 10°C de aumento de temperatura del bobinado, la vida del motor disminuye en un 50%. Por ejemplo: si el motor esta diseñado para una temperatura nominal de 100°C en el estator para un tiempo de vida de 10 años, un aumento permanente de la temperatura a 110°C disminuirá el tiempo de vida a 5 años.

b) Fallas Mecánicas

Daño al eje, y más específico el estriado del eje, son relacionados con depósitos de arena y arcilla, alineamiento incorrecto motor-bomba, empuje axial, acoplamiento con juego, o una combinación de los anteriores. Se recomienda usar lubricantes resistentes al agua antes de acoplar la bomba al motor para evitar el ingreso de arena y arcilla

Eje fracturado o torcido es típicamente el resultado del arranque del motor mientras está girando al revés, contactores que cascabelean o daño resultado de una carga radial al eje. Un motor puede girar al-revés cuando las válvulas check son defectuosas o están ausentes. Al apagar el motor, la columna de agua se descarga a través de la bomba, causando un giro en el sentido contrario. Una carga radial al eje puede ser originado por pernos sueltos en la bomba, acoplamiento mal alineado o eje flexionado. Se reconoce por desgaste excesivo en el cojinete superior del motor.

La falla del cojinete superior comúnmente es el resultado de arena ó sólidos que ingresan en el cojinete después de que el Sello Mecánico se haya desgastado. Ojo, que restos del cojinete destruido pueden entrar al cojinete de empuje axial causando desgaste anormal y falla del mismo.

Falla del cojinete de empuje axial, puede tener varias causas: El famoso golpe de ariete (onda de presión en la línea de descarga producto del cierre de una válvula, por ejemplo) puede fracturar el cojinete de empuje axial. Operar la bomba a cero caudal o con insuficiente flujo, puede sobrecalentar el líquido del motor. Una vez que el líquido refrigerante empieza a hervir, pierde todas sus características lubricantes y perjudicará el cojinete de empuje-axial. Las causas más frecuentes son: operar con válvula de descarga cerrada, tubería de descarga congelada o descarga obstruida. Además la instalación del motor debajo de los filtros del casing, motor cubierto de arena/lodo o motores instalados en

aguas abiertas, no permiten suficiente flujo por el motor para enfriarlo y deberían ser equipados con camisetas de inducción de flujo.

En algunos casos, al apagar la electrobomba, el giro contrario a bajas RPM del motor, restringe la función refrigerante del líquido del motor.

El empuje axial ascendente ocurre cuando la bomba está funcionando muy a la derecha de su curva (demasiado caudal). Aunque algunos modelos de motores (Franklin / Grundfos) tienen cojinetes de empuje axial ascendente, la prolongada existencia de esta condición, causará desgaste excesivo y finalmente falla prematura del cojinete de empuje axial por residuos sólidos de los cojinetes.

Rara vez fallas eléctricas causan fallas mecánicas pero el caso contrario sí ocurre. Por ejemplo un desgaste excesivo de los cojinetes radiales permite que el rotor gire contra el estator, al final causará que el estator se ‘vaya a tierra’.

Eje Dañado: El desgaste en el acoplamiento bomba/motor puede ser causado por depósitos de arena u otros abrasivos, un desajuste (mala alineación) entre la bomba y el motor, empuje ascendente, un acople suelto, o cualquier combinación de estos. Antes de ensamblar la bomba con el motor, es importante recordar una cosa: El acople debe de ser llenado de grasa no toxica a prueba de agua (de preferencia aprobada por la FDA). La grasa Mobil FM102 y la Texaco Cygnus 2661, son ejemplos de grasas aprobadas. La aplicación correcta de la grasa impide la entrada de arena u otros abrasivos al área del acoplamiento.

Eje roto o doblado: Un eje roto o doblado casi siempre es el resultado de un motor que arranca mientras giraba en sentido contrario, un arranque con “traqueteo”, un tanque en malas condiciones, o una carga transversal continua en la flecha (eje).

Los motores giran en sentido contrario cuando la instalación no cuenta con una válvula check, o cuando la válvula check falla. Si un motor arranca al estar girando en sentido contrario causa un enorme esfuerzo en el acoplamiento de la bomba con el motor, lo cual termina por dañar la flecha (eje).

El arranque / paro ultra rápido, o “traqueteo” causa un enorme esfuerzo en la flecha (eje) del motor, en el acoplamiento, y en la flecha (eje) de la bomba. La causa de este traqueteo es un problema en el circuito de control, y es provocada por conexiones flojas o corto circuitos temporales a tierra.

Un tanque de presión descompuesto causa ciclaje rápido en el motor y también puede ser una causa para la falla de la flecha (eje). Esta condición provoca carga de impacto en la

chumacera de empuje, lo cual puede contribuir también a la falla de esta chumacera que a lo largo provoca que el motor falle.

Una carga transversal permanente en el motor puede causar una falla en el rotor o las chumaceras radiales del motor. Cuando hay tornillos sueltos mientras funciona una bomba, un desajuste entre la bomba y el motor, o cuando las flecha (eje)s están dobladas, se pueden dar las condiciones de carga transversal permanente. Esta carga puede dañar la chumacera radial superior, lo cual a su vez puede hacer que la flecha (eje) se sobrecaliente y se desalinee en esta área.

Daño en chumaceras radiales: La mayoría de las veces una falla en las chumaceras radiales es provocada por la entrada de arena u otros abrasivos al motor una vez que el sello mecánico se desgasta. De cualquier modo, las cargas transversales permanentes, como ya se mencionó, puede causar la falla de las chumaceras radiales antes de que la flecha (eje) se rompa. Una vez rota la chumacera radial, los fragmentos de ésta se pueden depositar en la chumacera de empuje provocando que el motor deje de funcionar.

Daño en chumacera de empuje (rangua): Además de los tanques de presión descompuestos, mencionados con anterioridad, el golpe de ariete, baja carga en la bomba, insuficiente flujo de agua por las paredes externas del motor, y la rotación a baja velocidad debido a que se regresa el agua (falta de válvula check), dañan la chumacera de empuje. La onda de choque generada por el golpe de ariete despedaza la chumacera de empuje. La onda de choque viaja por la columna de agua pasa por la flecha (eje) de la bomba hasta llegar a la chumacera de empuje del motor. La onda de choque es como el motor de un tren ensamblándose a los vagones de carga. Cuando el motor golpea el primer vagón, también golpea el segundo, y así sucesivamente, hasta llegar al furgón de cola. La chumacera de empuje es el furgón de cola de un motor sumergible.

La baja carga (encender el motor sin mover agua) y un flujo insuficiente por las paredes externas del motor causa un sobrecalentamiento del líquido que llevan los motores por dentro. La baja carga se pueden dar por varias razones: Encender la bomba cuando hay una válvula cerrada, tubería congelada, o tubería/descarga tapada. Cuando un motor es instalado en un depósito de agua muy grande (lago, cisterna, etc.), en un pozo que se alimenta de su parte superior, o enterrado en lodo o arena, el flujo de agua que pasa por el motor es insuficiente para enfriarlo, al menos que se utilice una camisa de enfriamiento. Una vez que el líquido del motor se evapora se pierde toda lubricación del motor y los sistemas de chumaceras fallan.

El giro en sentido contrario de la bomba permite que la columna de agua baje hasta el nivel estático. Mientras que el agua se drena por la bomba, la bomba hace que el motor gire a muy bajas revoluciones. Esta baja velocidad no permite que las chumaceras del motor sean lubricadas correctamente, lo cual a su vez lleva a fallas de las mismas.

Daño al sistema de Empuje ascendente: Hay empuje ascendente cuando la bomba esta moviendo más agua de lo que su diseño permite. En las curvas de la bomba, esto quiere decir que la bomba esta trabajando en un punto por la derecha de la curva, con menos carga o menos presión de la que requería la bomba. En la mayoría de las bombas, esto provoca un levantamiento o empuje ascendente del ensamble flecha (eje)/impulsores en la bomba. Debe de ser prevenido al máximo para evitar desgaste en la bomba y el motor. El exceso de empuje ascendente daña la chumacera de empuje ascendente y puede lanzar pedazos de ella dentro del motor haciendo que falle la chumacera de empuje y falle finalmente el motor.

La última categoría de fallas es la de problemas mecánicos que se convierten con el tiempo en fallas eléctricas. En la situación de ¿Qué fue primero, la gallina o el huevo? Para motores sumergibles muy rara vez una falla eléctrica es la causa de una falla mecánica. Sin embargo, muchas fallas mecánicas progresan hasta convertirse en fallas eléctricas, como cuando las chumaceras de empuje se desgastan lo suficiente como para dejar que el rotor toque la parte interna del estator. Cuando la capa interior del estator se rompe, el motor se aterriza y deja de funcionar.

A lo largo de nuestro proceso de revisión de motores y análisis de sistemas también rastreamos fallas en los devanados de los motores y su relación directa a problemas en los circuitos de control. Cuando hay problemas en los circuitos de control es muy común encontrar fallas en los devanados de los motores a través de un incremento en su temperatura debido a los picos de corriente que se provocan.

Esto causa daños en los contactos del arrancador y puede provocar un bajo voltaje o una pérdida de fase.

CAPITULO IV

NUEVAS TECNOLOGIAS EN EL ANALISIS DE FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS, TERMOGRAFIA EN LOS MOTORES ELECTRICOS Y ANALISIS ESPECTRAL DE CORRIENTES.

4.1 Termografía en los Motores Eléctricos

Otro de los métodos utilizados para complementar el diagnóstico del circuito de potencia es la termografía IR, sin duda una de las técnicas más conocidas para detectar falsos contactos. Ver Figura 4.1 Termografía – Calentamiento de Línea por Falso Contacto

La termografía en motores eléctricos es una técnica predictiva rápida. Sin embargo la calidad de información de un análisis termográfico es sujeta a evaluación tomando como referencia los parámetros de medición tratados en el capítulo II y capítulo III.

Podemos analizar algunos casos experimentados en la Práctica:

4.1.1 Caso 1

Falso contacto en fusibles de protección de un Motor Eléctrico. Ver Figura 4.1. La Falla se puede deber a distintas causas:

Portafusible en malas condiciones.

Terminales de conexión flojos.

Desbalance de Fases.

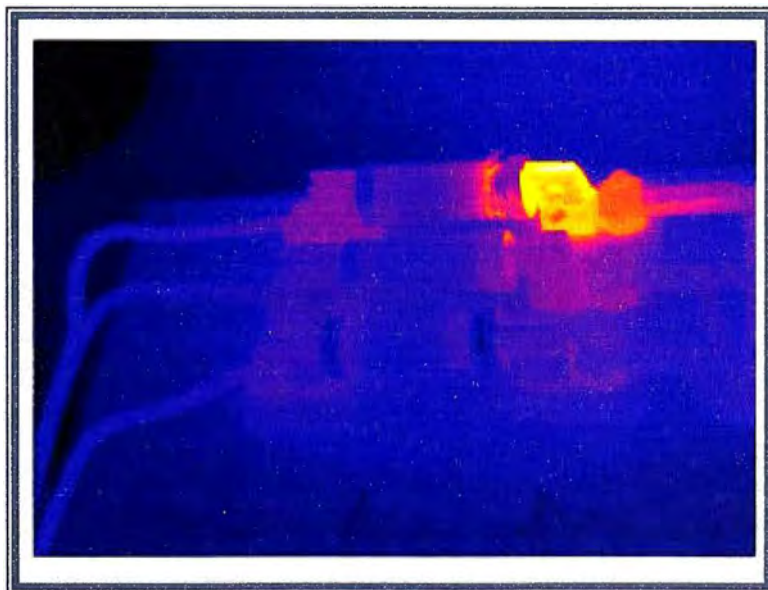


Figura 4.1 Termografía – Calentamiento de Línea por Falso Contacto

En este caso la revisión de las conexiones indicó que existía una conexión floja en el Terminal de conexión.

4.1.2 Caso 2

Calentamiento carcasa de Motor eléctrico Lado Acople de Compresor. Tomografía – Calentamiento de Línea por Desalineamiento Figura 4.2; se puede deber a las siguientes causas:

Rodamiento en Malas condiciones.

Problema de excentricidad del Rotor.

Problema de alineamiento.

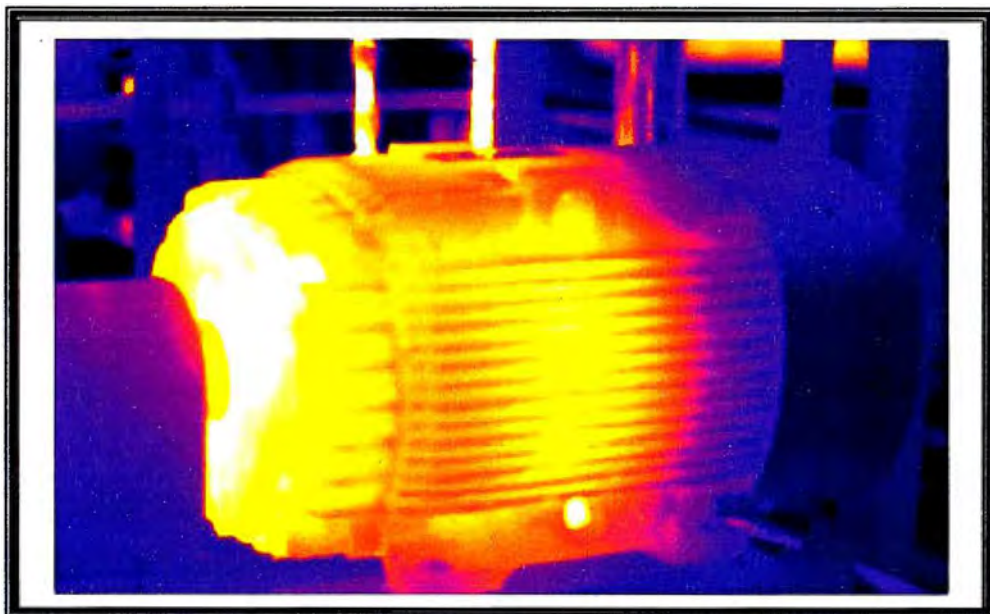


Figura 4.2 Tomografía – Calentamiento de Línea por Desalineamiento

Para este caso la revisión del alineamiento indicó una lectura de desviación de 3 centésimas, lo cual generó un severo daño en el rodaje en el Lado de Acoplamiento. Ver Figura 4.2

4.1.3 Caso 3

Calentamiento General de carcasa de Motor eléctrico; se puede deber a las siguientes causas:

Rodamiento en Malas condiciones.

Problemas de aislamiento.

Problema de excentricidad del Rotor. (rozamiento moderadamente leve con estator)

Sobrecarga

El análisis dio lugar que existía un rozamiento de rotor con estator; el desalineamiento dañó los rodajes generando un falla grave. Ver Figura 4.3

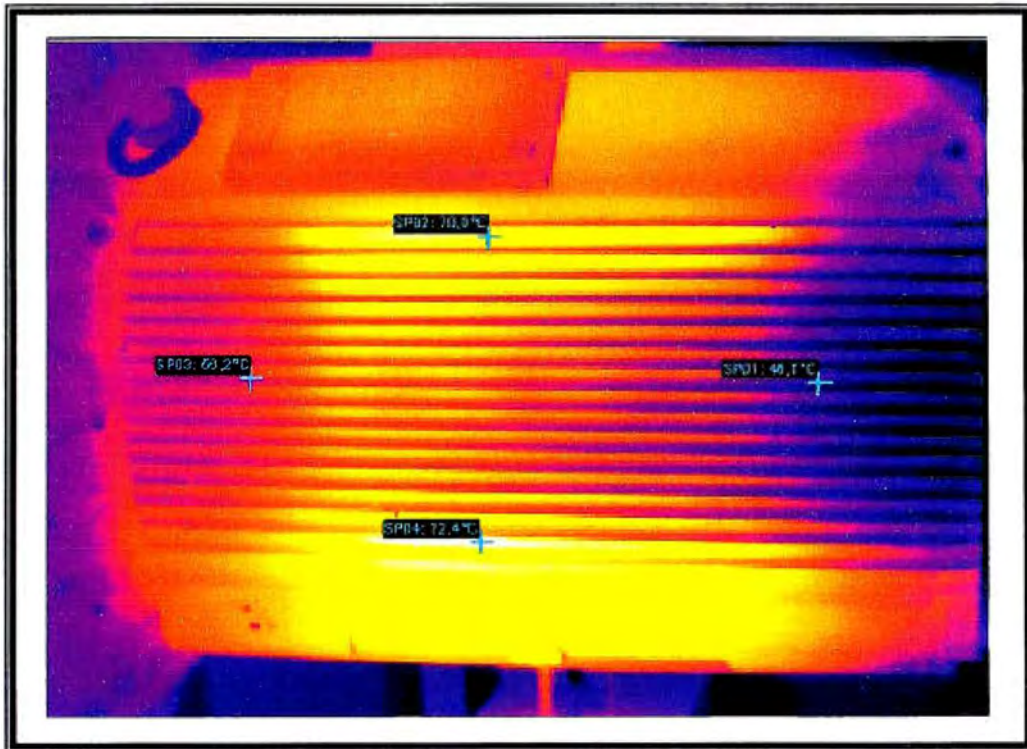


Figura 4.3 Termografía – Calentamiento de Línea por Rozamiento Estator

4.2 Investigación al Desarrollo de una Nueva Teoría; Diagnóstico De Motores Eléctricos Mediante Análisis Espectral De Las Corrientes.

Actualmente se está desarrollando la técnica de análisis de corrientes del estator; y parte del siguiente concepto; cualquier agente que afecte el campo magnético en el entrehierro de un motor se verá reflejado en componentes de frecuencia características en el espectro de las corrientes del estator. De esta forma, una falla en barras de rotor o en la pista de un rodamiento causará cambios en la densidad de flujo magnético a través del entrehierro.

Esto a su vez ocasionará la aparición de componentes de frecuencia características en el espectro de corrientes del estator. Estas componentes de frecuencia están relacionadas con posibles defectos por modelos matemáticos basados en teoría general de máquinas eléctricas y dependen básicamente de la frecuencia de suministro de corriente, la velocidad del motor y su configuración (dimensiones del rodamiento, número de bolas, número de polos). Tabla 4.1

La frecuencia de falla tiene una amplitud claramente distinguible frente a las demás frecuencias y nos permite realizar un diagnostico antes que la maquina falle.

Ejemplo de Falla experimentales:

Tabla de Interpretación de frecuencias observadas en la corriente de un Motor Eléctrico

Tabla 4.1

Tabla 4.1 Valores de Interpretación de Fallas por Medio de Análisis Espectral

Análisis Clásico Frecuencia	Análisis Envolvente Frecuencia	Causa
f	0	Frecuencia de la red
$nf_r \pm f$ $1 < n < 2$	nf_r	Discretización campo magnético y ranurado del rotor.
$f \pm f_{mec}$ $(2n+1)f$ $1 < n < 5$	f_{mec} $2nf$	Excentricidad Dinámica. Saturación
$f_r \pm f$ $f_r \pm f_{mec} \pm f$	f_r $f_r \pm f_{mec}$	Ranurado de rotor Ranurado de rotor y excentricidad dinámica
$f_r \pm (2n+1)f$	$f_r \pm 2nf$	Ranurado de rotor y saturación
$f(1 \pm 2s)$ $f_r \pm f$ $f_r \pm f(1 \pm 2s)$	$2sf$ f_r $f_r \pm 2sf$	Barra cortada. Ranurado de rotor Ranurado de rotor y barra rota
$f \pm nf_o$ $1 < n < 3$	nf_o	Falla en pista externa
$f \pm nf_i$ $1 \leq n \leq 3$	nf_i	Falla en pista interna
$f \pm nf_o$ $1 < n < 3$	nf_o	Falla en pista externa
$f \pm nf_i$ $1 < n < 3$	nf_i	Falla en pista interna
$[k \pm n(1-s)/p]f$ $1 \leq n \leq (2p-1)$ $k=1,3$	$[n(1-s)/p]f$ para $k=1$ $[k \pm n(1-s)/p]f$ para $k=3$	Falla en bobinas de estator

De la Tabla 4.1 se puede analizar diferentes fallas como se muestra en la Figura 40.4 y Figura 4.5

Se aprecia que en el análisis de la corriente del motor de la Figura 4.5, existe una Rotura de Barra detectada a una frecuencia de 4 Hz y una excentricidad marcada a una frecuencia de 37Hz.

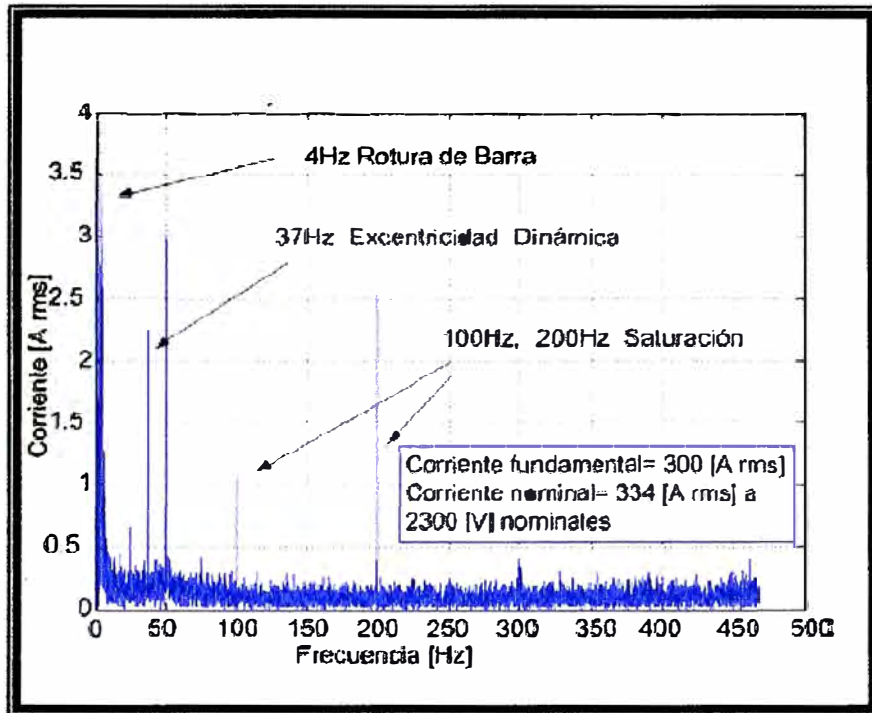


Figura 4.4 Análisis de Fallas

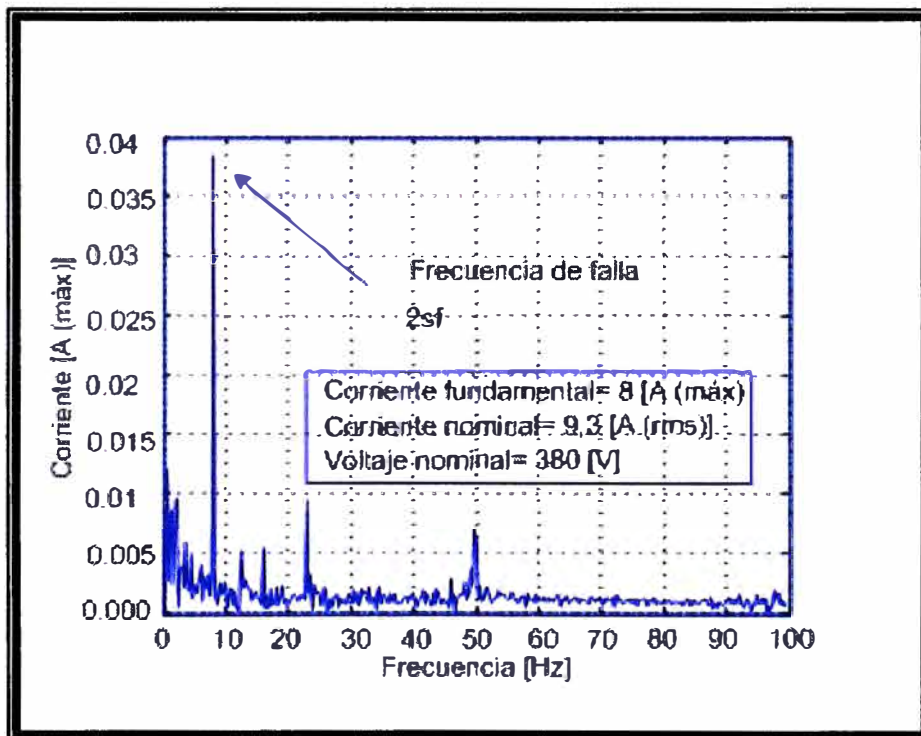


Figura 4.5 Análisis Espectral de Fallas

CAPITULO V

CASOS RELACIONADOS CON LAS PRUEBAS DE MOTORES ELECTRICOS

5.1 Situación de 01, Motor Eléctrico 60HP 220Vac 1800RPM - Bomba Circuladora B/T “Isabel Barreto” Cliente Petrolera Transoceánica S.A.

El Antecedente indicaba que el Motor Eléctrico había sido reparado mediante un Rebobinado Integral con Alambre clase H en 02 oportunidades anteriores por 02 Empresas del Rubro.

La Falla del Motor se presentaba al cabo de un tiempo de la reparación y durante el funcionamiento a plena carga del Motor Eléctrico. El Motor empezaba a presentar calentamiento por la carcasa y el bobinado se iba a tierra. Ver Figura 5.1

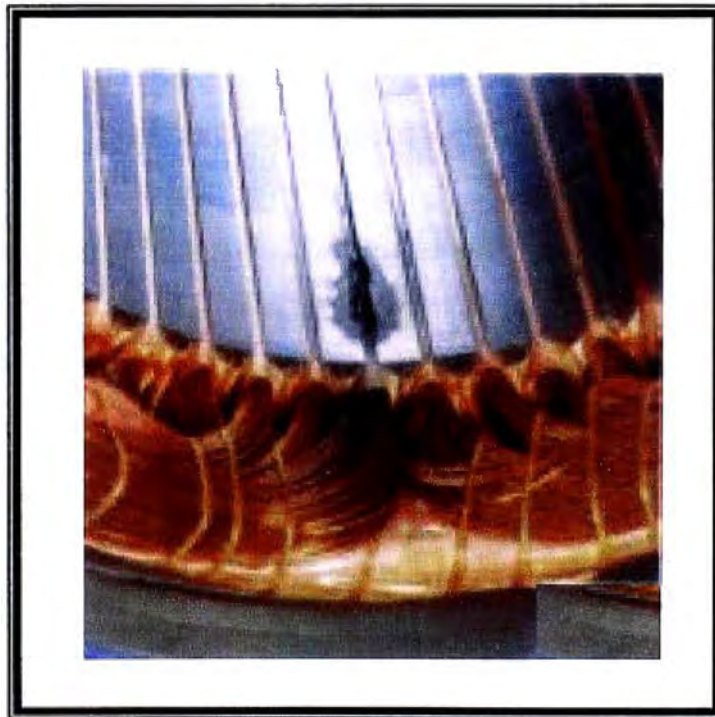


Figura 5.1 Ejemplo de línea a Tierra

5.1.1 Ensayo de Calentamiento Aplicado por Inducción

Según se pudo observar existía una socavación en el estator el cual posiblemente había sido generado por un cortocircuito en las bobinas afectando las placas del Estator. Ver Figura 5.2



Figura 5.2 Caso Cliente

Debido a la indicación por parte del Cliente de existencia de Calentamientos en determinada zona en el funcionamiento se realizó la prueba de calentamiento por Inducción aplicando tensión continua en el estator.

El resultado de la Prueba fue la presencia de calentamiento en la carcasa a temperaturas mayores a los 50°C sin bobinado externamente. Internamente se apreciaba que este calentamiento se iniciaba en el sector con la socavación existente.

La Solución fue la reparación de las láminas que conforman el estator mediante el retiro de los seguros y retiro integral de las Láminas de Hierro Silicoso.

Esta reparación se concibió con la idea de distribuir la falla; es decir, siendo 54 las placas ubicadas en el sector de socavación las cuales estaban afectadas; estas se distribuirían uniformemente a lo largo del estator mezclándose con otras placas.

Terminado la reparación se realizó la segunda prueba de Impulso dando como resultado la desaparición del Sector de Alta Temperatura.

5.1.2 ¿Como se hace la Prueba de Calentamiento por Inducción?:

Retirado el Rotor se arrolla desde el exterior al núcleo un grupo de conductores eléctricos en forma de bobina. La Aplicación de corriente a los extremos del arrollamiento provoca la inducción de campo magnético entre las laminas de hierro silicoso que conforman el

Estator. El campo magnético generado produce efectos similares al campo magnético real al cual esta sometido el Motor eléctrico generándose calentamiento. El análisis por **Láser de Temperatura o Termografía** debe indicar que el calentamiento debe ser uniforme a lo largo de la carcasa y en todo su diámetro; lo opuesto es un indicativo de falla por cortocircuito entre las láminas del estator.

5.2 Situación 02, Motor Eléctrico 160HP 220Vac 1800RPM - Electrobomba de Agua Escuela de Oficiales – Fuerza Aérea del Perú.

La situación que se presento fue la Falla con Daño en el estator y rotor de un Motor Eléctrico de Electrobomba de Agua. Ver Figura 5.3, Figura 5.4 y Figura 5.5



Figura 5.3 Cortocircuito en Láminas del Estator

5.2.1 Pruebas Realizadas de Comprobación

a). Prueba de Calentamiento por Inducción

A pesar del daño visible se realizó la Pruebas de Calentamiento por Inducción, presentándose 04 sectores con calentamiento superior a los 50°C, en el sector visible en la Imagen 5.2 y en otros 03 sectores en el lado de la falla.

La reparación de laminas del estar tuvo que realizarse a lo largo de 10cm del mismo. La reparación y pruebas finales fueron satisfactorias.



Figura 5.4 Rozamiento de Rotor con Estator, grave daño en las Laminas de Hierro Silicoso



Figura 5.5 Rozamiento de Rotor con Estator, Moderado Daño en el Rotor

b). Prueba de Magnetismo al Rotor

Se realizaron pruebas de magnetismo al rotor para observar el estado de la Jaula de Ardilla y el daño generado por el rozamiento con el Estator. Las pruebas fueron satisfactorias indicando solo un rozamiento superficial del Rotor.

c). Balanceo Dinámico del Rotor

Debido al daño producido era previsible un desbalance en el Rotor, por lo tanto, se realizo un Balanceo Dinámico Electrónico, el desbalance arrojado fue de 104 gramos en un plano de 30°. La corrección se realizó aplicando Masa en las aletas del estator para compensar el desbalance. El resultado Final fue de 0.4 mm/seg.

d). Rebobinado del Estator – Pruebas de Aislamiento.

Reparado el Rotor se realizo el rebobinado con alambre Clase H.

Las Pruebas de Aislamiento consistieron en la Aplicación de una tensión de 500Vdc por 01 y 10 Minutos arrojando los siguientes valores.

$$R_{\text{aislamiento}} (1 \text{ Minuto }) = 1252 \text{ Momhs.}$$

$$R_{\text{aislamiento}} (10 \text{ Minuto }) = 2562 \text{ Momhs.}$$

$$\text{Índice de Polarización} = 2.046$$

Siendo el resultado satisfactorio.

Las Pruebas de Puesta en Servicio se realizaron verificando las vibraciones mediante el empleo de un Viber (Equipo medidor de valores totales de vibración).

Los Resultados fueron:

$$\text{Rodaje Superior} = 1.2 \text{ mm/s}$$

$$\text{Rodaje Inferior} = 1.4 \text{ mm/s}$$

Las Pruebas de Carga y Tensión medidas con Multímetro Digital y Pinza Amperimétrica fueron:

$$V = 221 \text{ Volt.}$$

$$I = 252 \text{ A.}$$

CONCLUSIONES

1. Las Pruebas Termográficas de Motores Eléctricos en Servicio es una técnica muy útil, la cual nos permite en forma rápida detectar las situaciones de falla que se presentan durante la operación de los Motores Eléctricos; esto es, debido a que estas pruebas están relacionadas con la Temperatura; y es claramente observable a través de la Pantalla del equipo que realiza la Prueba; sin embargo, es importante saber interpretar estas fallas, ya que es usual la existencia de equipos o componentes asociados al funcionamiento del motor eléctrico, los cuales son causantes de las anomalías sin que el motor eléctrico se encuentre en malas condiciones.
2. Otras de las Pruebas modernas presentadas es la Prueba del Análisis Vibracional, como se puede observar esta prueba rápidamente nos puede dar un indicio de falla existente analizando las cajas de rodaje; sin embargo, y en igual forma que la prueba de termografía, la vibración debe ser interpretada meticulosamente, ya que los causantes pueden ser excentricidades del motor, un mal armado del mismo u otro causante externo.
3. Hemos presentando también la Prueba de Análisis por Espectros de Corriente; siendo una prueba muy técnica y especializada, para lo cual se requiere de amplio conocimiento en el análisis; sin embargo, el resultado resulta muy completo, ya que es capaz de poder brindar fallas muy puntuales existentes en el motor eléctrico. Personalmente considero que es una Prueba de las más completas que se pueden encontrar.
4. Se ha presentado otras pruebas de operación muy comunes y conocidas; sin embargo, el aporte es poder profundizar algunas de ellas, tales como la prueba de aislamiento; en la práctica es muy empleada; sin embargo, la prueba de mayor confiabilidad es el Índice de Polarización relacionada con la Prueba de Aislamiento.

5. Sin lugar a dudas el objeto de todas estas pruebas es poder lograr el más alto grado de confianza en la operación de un Motor Eléctrico; con el fin de que los procesos de una fábrica no se detengan.
6. Es muy importante indicar que en toda prueba en operación por más simple que sea debe tenerse en cuenta un grado de Nivel de Seguridad; una tensión de Prueba en continua puede ser muy peligrosa, para el caso de pruebas de motores con tensiones mayores a 500Vac nominal a nivel eléctrico. Al ser maquinas rotativas el daño que se puede producir en las manos o cuerpo puede ser muy grave. Personalmente recomiendo realizar las Pruebas bajo la Supervisión de un asistente mas.

BIBLIOGRAFIA

1. Merino Azcárraga, José María: “Arranque industrial de motores asíncronos. Teoría, cálculo y aplicaciones”. Ed. McGraw-Hill. Madrid, 1995.
2. J. Fraile, Máquinas Eléctricas. Ed. Mc-Graw Hill, 2003
3. Técnicas Para el Mantenimiento y Diagnostico de Maquinas Eléctricas, Fernández Cabañas, Manés ; García Melero, Manuel; Alonso Orcajo, Gonzalo, Ed. Marcombo, 1998.
4. Cabañas, M.F. “Técnicas para el Mantenimiento y Diagnóstico de Máquinas Eléctricas Rotativas”. BOIXAREU. 1998 primera edición
5. Handbook of Electric Motors, Hamid A. Toliyat and Gerald B. Kliman, Marcel Dekker; 2nd edition, 2004. ISBN: 0824741056
6. Diagnóstico de Avarias em Motores de Indução Trifásicos, Antonio João Marques Cardoso, Cimbra Editora, 1991.
7. Electric Machines: Fault Diagnosis and Condition Monitoring, Hamid A. Toliyat, CRC; 1st edition, 2006.
8. Adjustable Speed Drives, Applications Guide”. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE.
9. JOHN C. ANDREAS. “Energy-Efficient Electric Motor. Selection and Application”. 2nd Edition.
10. Apuntes e Información Técnica ADEMINSAC - Perú
11. Apuntes de Máquinas Eléctricas II y III. Universidad Nacional de Ingeniería - Perú
12. Reportes de pruebas Laboratorio Delcrosa S.A.
13. Recomendaciones de fabricantes Motores Sumergibles ITT Flygt & Water.
14. Recomendaciones de fabricantes Motores WEG - Brasil.