

# **Determinación de las fallas más comunes en motores de inducción de utilizando el software estadístico SPSS (Statistical package for social sciences).**

**Maria Gabriela Mago**

**Eva Elena Monagas**

[mmago@uc.edu.ve](mailto:mmago@uc.edu.ve)

[emonagas@uc.edu.ve](mailto:emonagas@uc.edu.ve)

Departamento de Potencia, Universidad de Carabobo

Facultad de Ingeniería, Avenida Universidad, Naguanagua, Valencia – Venezuela

**RESUMEN.** Los más eficientes procesos industriales actualmente exigen mayores niveles de calidad y productividad y la operatividad de los mismos, está influenciada por el uso eficiente de los equipos, así como también de programas de mantenimiento. Esta investigación agrupa datos estadísticos aportados por seis (6) empresas del sector industrial del Estado Carabobo para la determinación de las fallas más comunes en motores de inducción utilizados en los procesos industriales con una muestra de setenta y tres (73) motores fallados. Una vez recopilados los datos, se calcularon y conformaron los índices más relevantes de fallas que pueden ser base para el diseño de programas de mantenimiento predictivo.

**ABSTRACT.** The most efficient industrial processes at the moment demand greater quality levels and productivity and the operativity of such, is influenced by the efficient use of the equipment, as well as of maintenance programs. This investigation groups statistical data contributed by six (6) companies of the industrial sector of the Carabobo State for the determination of the faults most common in used motors of induction in the industrial processes with a sample of seventy and three (73) failed motors. Once collected the data, the most excellent indices of faults calculated and conformed than they can be base for the design of programs of predictive maintenance.

**Palabras claves:** motor de inducción, ambiente, fallas, causas, mantenimiento predictivo.

## **1. INTRODUCCION**

El presente trabajo es una investigación realizada en el área de motores de inducción donde el principal objetivo consiste en determinar los índices de las fallas más comunes en motores de inducción así como indicadores del comportamiento de las empresas respecto a los programas de mantenimiento del sector industrial del Estado Carabobo.

En este sentido fue recopilada la información de motores fallados, durante el lapso agosto 2002 a noviembre del año 2003, en empresas de los sectores papelero, alimentos y automotriz (ensambladora y autopartista) usando la técnica de muestra dirigida. El estudio se centra en el parque industrial de motores trifásicos de jaula de ardilla de empresas industriales medianas y grandes.

## **2. BASES TEÓRICAS**

Las bases teóricas necesarias para la elaboración de esta investigación son: a) partes constitutivas del motor de inducción [1] para identificar los componentes que típicamente causan la suspensión de la operatividad del motor [2], b) principio de funcionamiento y operación [3] para determinar las características propias de funcionamiento que pueden actuar para afectar la operación [4], c) tipos de falla identificadas nacional o internacionalmente en estos equipos, d) causas que originan la suspensión de la operación del motor [5], e) principios para elaboración de programas de mantenimiento predictivo [6], parámetros estadísticos que deben ser tomados para la elaboración de programas de mantenimiento predictivo [7], así como identificar el interés de las empresas del sector en el desarrollo de estos planes [8], y f) los principios presentes para realizar análisis estadístico de los datos recopilados[9,10].

## **3. METODOLOGÍA.**

Para esta investigación, que de acuerdo a sus características se define como exploratoria [11], fueron diseñadas tres fases metodológicas que consisten en: a) identificar los tipos de fallas en motores de inducción que se presentan comúnmente en la industria, b) recopilar y clasificar la información del sector industrial del Estado Carabobo, c) determinar fallas comunes del sector industrial seleccionado según la muestra, presentar los resultados y analizar los resultados.

Por otra parte, se establece como unidad de análisis a los grupos de empresas o industrias que requieren el uso de motores de inducción. La población está conformada por empresas industriales y comerciales medianas y grandes afiliadas a la Cámara de Industriales del Estado Carabobo (CIEC-Septiembre 2003). La población total corresponde a doscientos cincuenta y siete (257) empresas las cuales se discriminan de acuerdo a sus procesos productivos.

La muestra seleccionada para este estudio es la muestra “no probabilística” o muestra dirigida [11]. Aunque con la muestra no probabilística no se puede hacer inferencia sobre la población se selecciona para este estudio por las siguientes razones: recoge controladamente la información de empresas con características específicas, por razones prácticas de aplicación en el tiempo de investigación y de recursos, y por ser un estudio exploratorio el objetivo es la profundidad y calidad de la información en los sectores seleccionados más que la cantidad y estandarización.

En la tabla N° 1 se indica la muestra seleccionada:

**Tabla 1. Muestra de empresas y motores fallados por sector.**

Sector	N° de Empresas	N° de motores fallados
Papelero	3	39
Ensambladora	1	11
Autopartista	1	11
Alimentos	1	12
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>73</b>

La recolección de la información se realiza a través de dos instrumentos diseñados y aplicados los cuales son: a) planilla Tipo A para la recolección de datos generales de la industria y b) planilla Tipo B para la recolección de datos de los motores fallados de la industria.

La información recopilada fue organizada y conformada en dos bases de datos que corresponden a: 1) base de datos generales de la industria y 2) base de datos de motores fallados. La misma es analizada en el software estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versión 10.1, para sistemas Windows. Para el ingreso se convierte toda la información adquirida en variables numéricas para que sean procesadas por el programa.

#### **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

En general y para todas las empresas de la muestra seleccionada, aunque el instrumento fue diseñado para obtener la fecha de instalación de los motores de inducción, ninguna de las empresas suministró esta información.

##### **4.1. Resultados y análisis de resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo A.**

###### **4.1.1. Número de motores por empresa.**

De acuerdo a la tabla de frecuencias de motores instalados se observa que el 83,3% de las empresas en estudio tienen menos de 2000 motores de inducción instalados en la planta.

Del histograma de frecuencias se observa que existen dos tendencias comunes respecto al número de motores instalados: 1) empresas con menos de 500 unidades instaladas y 2) empresas con un número típico de unidades instaladas entre 1000 y 2000 unidades.

#### **4.1.2. Empresas con certificaciones de Calidad.**

Los resultados muestran que las empresas certificadas corresponden en igual proporción con las no certificadas para la muestra seleccionada.

#### **4.1.3. Ejecución de programas de mantenimiento preventivo a motores.**

Los resultados de la tabla de frecuencias indican el 50% de las empresas estudiadas realizan mantenimiento preventivo a más del 75% de los motores instalados.

En el histograma de frecuencias de mantenimiento preventivo se observa que más del 66,7% de las empresas efectúa mantenimiento preventivo a más del 50% de los motores instalados (la suma de porcentaje acumulado de los reglones 3 y 4).

#### **4.1.4. Ejecución de programas de mantenimiento correctivo a motores.**

En la tabla de frecuencias de mantenimiento correctivo se obtuvo que el 66,7% de las empresas estudiadas realizan mantenimiento correctivo a menos del 10% de sus motores instalados.

#### **4.1.5. Ejecución de programas de reemplazo de motores.**

En la tabla de frecuencias de reemplazos se obtiene que el 83,3% de las empresas estudiadas realizan el reemplazo de menos del 5% de sus unidades lo que coincide con lo expresado por los autores consultados referente a que son motores altamente confiables.

En el histograma se observa que la moda o lo que más se repite entre las empresas es que se realizan entre 0 a 5% de reemplazos.

#### **4.1.6. Monto de Bolívares destinados a programas de mantenimiento.**

En la tabla de frecuencias de montos invertidos en programas de mantenimiento se observa que el 50,1% de las empresas estudiadas destinan anualmente entre 40 y 70 millones de Bolívares o su equivalente en dólares americanos (tasa vigente a la fecha de la investigación) de 25.000\$ USA a 43.750\$ USA en programas de mantenimiento de sus motores.

El histograma indica que la media se ubica en el monto de Bs. 47.833.333 y la mediana en Bs 50.000.000,00.

### **4.2. Resultados y Análisis de Resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo B.**

#### **4.2.1. Estadística descriptiva:**

A continuación en la tabla N° 2 se presenta el resumen de frecuencias de partes falladas en los motores de inducción obtenidos en la presente investigación:

En la tabla se observa lo siguiente: el renglón porcentaje de falla corresponde a la frecuencia que presentó la parte fallada en la muestra analizada. El más alto índice de falla en el estator ocurre en los devanados del mismo con un 50,7 por ciento. En el rotor la falla que presenta mayor porcentaje es la del eje, con un 12,3 por ciento, mientras que las fallas de tipo mecánico por daño de rodamientos son las que presentan el porcentaje más elevado con un 71,2 por ciento. Aunque se observaron partes que no fallaron en la muestra analizada se mantienen en los instrumentos de recolección de información debido a que el estudio realizado por Micalizzi [12] recoge información de fallas en bridas, jaula de ardilla y babitts para una empresa del sector papelerero.

**Tabla N° 2. Tabla de frecuencias de partes falladas de los motores en estudio.**

PARTES FALLADAS DEL MOTOR DE INDUCCIÓN		FRECUENCIA	PORCENTAJE DE FALLA
Estator	Devanados del estator	37	50,7%
	Núcleo del estator	23	31,5%
	Cuerpo sujetador del núcleo	17	23,3%
	Bornera	2	2,7%
	Otros	4	5,5%
Rotor	Eje	9	12,3%
	Anillos cortocircuito de la jaula	0	0%
	Barras de la jaula	1	1,4%
	Núcleo del rotor	0	0%
	Bridas	0	0%
Tapas	Rodamientos	52	71,2%
	Sujetador Cojinete	2	2,7%
	Bocina	1	1,4%
	Ventilador	2	2,7%
	Tapas	43	58,9%
	Babbitts	0	0%

#### **4.2.2. Resultados del Análisis Factorial:**

Del análisis factorial se obtiene la matriz de correlaciones donde se observan correlaciones aceptables solo en los siguientes casos: a) las fallas en el núcleo del estator está relacionadas con las fallas en los devanados del estator, con las del cuerpo sujetador del núcleo y tapas, b) las fallas en rodamientos están correlacionados con las fallas en las tapas.

También se conforma la matriz de correlaciones entre todas las variables incluyendo las recopiladas en el instrumento tipo "A". Las correlaciones con coeficientes superiores a 0,70 son: a) existe correlación entre el monto invertido en programas de mantenimiento con el sector, la certificación de calidad y el porcentaje de motores con mantenimiento correctivo con que la empresa posea certificación de calidad; b) existe correlaciones de variables entre el mantenimiento correctivo con la

certificación y los reemplazos; c) también existe correlación entre el sector y la certificación de calidad.

Se observa que los datos del instrumento tipo B no llegan a correlacionarse con los datos del instrumento tipo A.

#### **4.2.3. Resultados del Análisis discriminante**

Con este análisis se busca una función que, basada en toda la información obtenida, permita predecir a qué sector pertenece un motor de acuerdo a las características de partes falladas. En este caso se observa que existen tres funciones discriminantes que identifican las partes falladas de un motor con los sectores productivos. Sin embargo, la función que ofrece mejor varianza y correlación es la siguiente:

$$\text{“Sector”} = -0,652 + \text{Bocina}*(4,515) + \text{Bornera}*(-0,731) + \text{eje}*(3,175) + \text{devanados del estator}*(-1,016) + \text{núcleo del estator}*(2,084) + \text{cuerpo sujetador del núcleo del estator}*(-1,209) + \text{rodamientos}*(-0,221) + \text{rotura de barras de la jaula}*(2,083) + \text{cuerpo suj. Del rotor}*(0,285) + \text{tapas}*(0,743) + \text{ventiladores}*(-0,223) + \text{otros}*(0,885)$$

El resultado numérico es comparado con las funciones centroides que determinan en valor centro del sector. Cuando los resultados se aproximan al valor del centroide del sector se obtiene la procedencia del motor. Los valores centros de cada sector son: a) papelerero -0.67, b) alimentos -0.35, c) ensamblador 0,01 y d) autopartista 2,75.

**4.2.4. Resultados del Análisis por conglomerados:** efectuando el análisis por conglomerados se observa que resultan dos grupos con los siguientes perfiles:

GRUPO 1: Grupo de motores que presentan fallas en cualquier parte del estator y rotor, y además presentan fallas en las bocinas y ventilador. El perfil de grupo indica que en el 70,8% de los casos son motores menores a 100 HP (tabla de frecuencias HP), existe un 31,3% de probabilidad que sea marca Siemens (tabla de frecuencias de marca), su velocidad es mayor a 875 rpm en el 93,7% de los casos (tabla de frecuencia RPM), tiene 50% de posibilidades de ser del sector papelerero (tabla de frecuencia sector), y está ubicado normalmente en el exterior.

GRUPO 2: Grupo de motores que presentan fallas en rodamientos y tapas. El perfil de grupo indica que: en el 76% de los casos son motores menores a 50 HP (tabla de frecuencias HP), existe un 68% de probabilidad que sea marca Siemens (tabla de frecuencias de marca), su velocidad es menor a 1800 rpm en el 84% de los casos (tabla de frecuencia RPM), existe muy poca posibilidad que sea del sector autopartista (tabla de frecuencia sector), y está ubicado normalmente en el exterior.

**4.2.5. Resultados del análisis por regresión múltiple:** El objetivo de realizar este análisis fue verificar la posibilidad de obtener una ecuación que prediga la probabilidad de falla en los devanados o en rodamientos de un motor de acuerdo a las características de la empresa. De acuerdo a los resultados los valores del coeficiente

de correlación múltiple “R” y R cuadrado son menores a 0,500 por lo cual las variables no están suficientemente correlacionadas como para obtener la función en ninguno de los dos casos.

## **5. CONCLUSIONES**

Al realizar la evaluación del sector industrial, fueron seleccionadas seis (06) empresas, las cuales presentaron un total de setenta y tres (73) unidades falladas. Estas unidades falladas fueron evaluadas de acuerdo a los resultados obtenidos en la parte estadística utilizada para la presente investigación donde se obtienen los siguientes resultados relevantes:

- ✓ El 83,3 por ciento de las empresas en estudio poseen menos de dos mil (2000) motores de inducción. Las empresas que poseen certificaciones de calidad están en igual proporción con las que no poseen certificación. El 50 por ciento de las empresas consultadas realiza mantenimientos preventivos a más del 75 por ciento de sus motores instalados, así como también, el porcentaje de las empresas consultadas en un 66,7 por ciento efectúa mantenimiento preventivo a más del 50 por ciento de sus motores. Los presupuestos que las empresas seleccionadas destinan para el mantenimiento preventivo indican que los montos oscilan, en dólares americanos, entre 25.000\$ USA a 43.750\$ USA.
- ✓ Los resultados obtenidos en cuanto a la frecuencia de partes falladas indican que las fallas mecánicas por daños de rodamientos ocupan el porcentaje más alto (71,2%). En el rotor del motor de inducción la sección que presenta mayor porcentaje de falla es el eje, con un 12,3 por ciento, mientras que en el estator esto corresponde a los devanados, con un 50,7 por ciento.
- ✓ Para predecir el sector productivo al cual pertenece un motor de acuerdo a las características de partes falladas del mismo se ha obtenido una función o ecuación que permite calcularlo. Esta función fue determinada basada en el análisis discriminante de los datos.

## **6. RECOMENDACIONES**

Para realizar inferencia estadística y poder generalizar a toda la población estudiada se recomienda extender el estudio utilizando la técnica de muestra probabilística estratificada. En este sentido, también pudiera ser ampliado el estudio hacia otros sectores de producción que tengan importancia en el desarrollo económico de la Región y/o Nación tales como Instituciones Portuarias, de Transporte, Empresas Petroleras y pequeñas y medianas empresas (PYMES).

Desde hace más de diez años ya Raga, J,- Ruiz, C. [13] habían determinado que la intensidad de falla en motores es un parámetro que depende tanto de características internas del motor como de las condiciones externas vinculadas al ambiente de trabajo. En este sentido, recomendamos actualizar el estudio por lo menos cada dos años y ampliarlo hacia

la determinación de intensidad de fallas discriminando el ambiente donde se ubica el motor a fin de verificar las correlaciones no observadas con la muestra de este estudio.

Se recomienda iniciar una campaña de registros de información de fallas en motores de inducción de manera conjunta con el sector industrial. Estos registros deben contener por cada motor la fecha de instalación desde que está nuevo y la fecha de desincorporación por daños irreparables. Durante ese lapso deben registrarse todos los ensayos y/o pruebas de mantenimiento preventivo y verificados los resultados de acuerdo a la norma NEMA IPact [4]. También deben registrarse las fallas ocurridas en ese lapso de acuerdo al instrumento de recolección de datos propuesto en esta investigación.

De esta manera, se podrá conformar la información base para preparar Programas de mantenimiento predictivo a grupos de motores con características homogéneas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a una serie de personas y Empresas, entre las que tenemos al Ing° Umberto Micalizzi de Sidelca, Ing° Morella Ruiz de Ford Motors de Venezuela, Ing° Alfredo Jaspe Gorth de Brigestone Firestone Venezuela, Ing° Jorge Mireles de Empresas Polar (Mavesa Alimentos), Ing° Jhonny Ojeda y TSU Ebber Araujo de Manpa, Ing° José Darío Rincón de Venepal.

## REFERENCIAS

- [1] Enciclopedia CEAC de Electricidad (1973). *Máquinas de Corriente Alterna*. (1ª edición). Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, España.
- [2] Rosenberg, R. (1976). *Reparación de motores eléctricos*. (7ma Edición). Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España.
- [3] Chapman, Stephen J (2000). *Máquinas Eléctricas* (3ª edición). McGraw Hill Interamericana, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- [4] National Electrical Manufacturers Association (*Nema Standards Publication Application Guide AC Adjustable Speed Drive Systems*). 1300 N. 17 Street, Suite 1847 Rosslyn, VA 22209.
- [5] Bonnett, Austin (1992). *Cause and Análisis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, N° 4, Julio.
- [6] Fernández, García, Alonso, Cano, Solares. *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. (1ª edición). Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, España.
- [7] Muñoz R., A. (2002). Nuevos aspectos asociados a la calidad y eficiencia de instalaciones y equipos industriales. Santiago de Chile, Chile. Seminario sobre Seguridad Eléctrica y Calidad de Energía. Trabajo no publicado del Centro de Ingenieros del Estado Carabobo.
- [8] Giordanelli, Francisco (1997). *Mantenimiento Predictivo de Equipos Rotativos basado en el Análisis de Vibraciones*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, Universidad Simón Bolívar.
- [9] Millar, I-Freund, J- Johnson, R (1992). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. (4ta Edición). Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Naucaplan de Juárez, México.
- [10] Montgomery, D-Runger, G (1996). *Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería*. (1ª edición) Mc Graw-Hill, Interamericana, México.
- [11] Hernández Sampieri, Fernández, Baptista. (1999). *Metodología de la investigación*. (1ª edición) Mc Graw-Hill, DF, México.
- [12] CIEC- Directorio telefónico. Obtenido en la Red el 23 de Septiembre de 2003. <http://www.ciec.org.ve/directorio/default4.asp>.

[12] Micalizzi, Humberto (2003). Trabajo de investigación realizado para la Empresa Servicios Industriales de Electricidad (SIDELCA). Informe de fallas del Cliente Cartones Nacionales, C.A. Trabajo no publicado Valencia, Venezuela.

[13] Raga, J.- Ruiz, C. (1992). Formulación de Normas y Procedimientos orientados a la reducción de la frecuencia de fallas en el parque de motores de Alcasa. Trabajo de investigación realizado para la Empresa Vireyca Ingeniería, C.A. Trabajo no publicado Valencia, Venezuela.