



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



# **FALLAS MÁS COMUNES EN LOS MOTORES DE INDUCCION DE EMPRESAS DEL SECTOR INDUSTRIAL DEL EDO. CARABOBO**

**ELABORADO POR:**

ING° EVA ELENA MONAGAS

ING° MARIA GABRIELA MAGO

**TRABAJO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA  
OPTAR A LA CATEGORIA DE PROFESOR ASISTENTE**

Línea de Investigación: Mantenimiento predictivo de sistemas y equipos

BARBULA, VENEZUELA

Enero 2004



## **DEDICATORIA**

A mi esposo Abel y mis hijos Priscilla, Abel y Gabriel, que son la fuente de inspiración y mi mayor orgullo....Los quiero.....

*María Gabriela.*

Este trabajo lo dedico a mi esposo, mis hijos, mis padres y hermanos que son el poder más grande que me impulsan a la superación... y por supuesto a mi querida Venezuela.

*Eva Elena.*



## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue posible gracias a una serie de personas y Empresas que nos permitieron recopilar la información necesaria que la sustentan. 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 Alberto Ojeda y TSU Ebber Araujo de Manufacturas de Papel (Manpa), Ing. José Rincón de Venepal.

También debemos agradecer a la Universidad Simón Bolívar, Universidad Central de Venezuela, Universidad de Oriente, Universidad de Carabobo por permitirnos acceder a investigaciones de temas similares, revistas, publicaciones, etc.

Igualmente, queremos agradecer a nuestros familiares quienes nos apoyaron en todo momento.

Finalmente, queremos agradecer a los profesores del Departamento de Potencia quienes en todo momento nos prestaron su apoyo y muy especialmente a las profesoras Lastenia de Laya y Milagros Peña siempre pendientes de nuestro avance.



## RESUMEN

**Palabras claves:** Motor de Inducción, ambiente, fallas, causas, mantenimiento predictivo.

Los más eficientes procesos industriales actualmente exigen niveles de calidad y productividad cada vez mejores y la operatividad de los mismos está basada en un uso adecuado y eficiente de los equipos que lo conforman, así como también, de unos adecuados programas de mantenimiento.

Con el mantenimiento se pueden evitar fallas en los equipos vitales y de esta manera limitar condiciones no deseadas que puedan ocasionar incumplimiento de las cuotas de producción. Los programas de mantenimiento se basan tanto en las recomendaciones suministradas por los fabricantes como en la información estadística obtenida durante la vida útil de los equipos.

Este trabajo de investigación agrupa datos estadísticos aportados por seis (6) empresas del sector industrial de 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.

La técnica de muestreo utilizada es la de muestra dirigida. Esta técnica aunque ofrece las ventajas de recoger controladamente la información de empresas con características específicas presenta la desventaja de no poder inferir estadísticamente sobre la población.

Para la realización del trabajo se realizó una revisión bibliográfica en las áreas de motores de inducción y estadística, así como, una revisión de estudios similares publicados en otras Universidades venezolanas o en Internet.



Una vez recopilados los datos suministrados por la industria, se calcularon y conformaron los índices más relevantes de fallas que pueden ser base para el diseño de programas de mantenimiento predictivo.

Los resultados obtenidos de la muestra analizada de motores fallados 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 12,3%, mientras que en el estator esto corresponde a los devanados, con un 50,7%.

Los resultados generales obtenidos acerca del comportamiento de las empresas donde se ubican los motores indican que el 83,3% de las empresas del 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% de las empresas consultadas realiza mantenimientos preventivos a más del 75% de sus motores instalados, y el 66,7% de las empresas consultadas efectúa mantenimiento preventivo a más del 50% de sus motores. Por otra parte, los costos que las empresas seleccionadas destinan a programas de mantenimiento indican que los montos anuales oscilan entre 40 y 70 millones de Bolívares o su equivalente en dólares americanos de 25.000\$ a 43.750\$.

Con los resultados se pretende: a) fortalecer premisas establecidas en los análisis de fallas en motores de inducción; b) orientar nuevas investigaciones en el área de análisis de fallas en motores de inducción; c) desarrollar procedimientos y programas de mantenimiento predictivo en motores de inducción sustentados en información analítica, modelación matemática y datos estadísticos.



## INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	1
Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Índice de general.....	5
Índice de tablas .....	7
Índice de figuras.....	8
Introducción.....	9
Capítulo I. Planteamiento del Problema.....	11
I.1 Definición del Problema de Investigación.....	11
I.2 Objetivo General.....	13
I.3 Objetivos Específicos.....	14
I.4 Justificación e impacto.....	14
I.5 Delimitaciones.....	15
Capítulo II. Marco Teórico.....	17
II.1 Antecedentes.....	17
II.2 Modelos y teorías referidas a la investigación.....	19
Capítulo III. Marco Metodológico.....	48
III.1 Clasificación de la Investigación.....	48
III.2 Diseño de las fases metodológicas de la Investigación.....	48
III.3 Unidad de Estudio y de Análisis.....	50
III.4 Técnicas de recolección, análisis, interpretación y presentación de la información.....	52
Capítulo IV. Determinación de los índices de fallas más comunes en motores de inducción.....	55
IV.1 Selección de las empresas.....	56
IV.2 Organización y procesamiento de la información.....	56
IV.3 Incorporación de datos en el programa estadístico.....	56
IV.4 Resultados y Análisis de Resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo A.....	58
IV.5 Resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo B.....	64
IV.6 Resultados del análisis factorial.....	66
IV.7 Resultados del análisis discriminante.....	67
IV.8 Resultados del análisis por conglomerado.....	68
IV.9 Resultados del análisis por regresión múltiple.....	69



---

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	70
V.1 Conclusiones.....	70
V.2 Recomendaciones.....	73
Referencias Bibliográficas.....	75
Anexos.....	78
Anexo N° 1 Instrumento de Recolección de Datos tipo A.....	79
Anexo N° 2 Instrumento de Recolección de Datos tipo B.....	80
Anexo N° 3 Base de datos de las empresas.....	81
Anexo N° 4 Base de datos motores fallados.....	82
Anexo N° 5 Frecuencias de partes falladas en motores de inducción .....	83
Anexo N° 6 Análisis Factorial. Matriz de correlaciones.....	88
Anexo N° 7 Análisis Factorial. Matriz de correlaciones.....	89
Anexo N° 8 Análisis Discriminante. Funciones discriminantes.....	90
Anexo N° 9 Análisis por Conglomerados. Perfiles de grupo.....	91
Anexo N° 10 Perfiles de grupo 1.....	92
Anexo N° 11 Perfiles de grupo 2.....	96
Anexo N° 12 Análisis de Regresión múltiple.....	99
Apéndices.....	100
Apéndice N° 1. Catálogo para selección de motores de acuerdo al ambiente....	101
Apéndice N° 2. Políticas Energéticas Actuales (EPAct).....	102
Apéndice N° 3. AC Motor selection and application guide GE.....	103



## INDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Características de los diseños NEMA de motores de inducción.....	31
Tabla III.1. Distribución de Empresas por Sector en el Estado Carabobo.....	51
Tabla IV.1. Muestra de Empresas y motores fallados por sector.....	56
Tabla IV.2. Tabla de conversión de datos Formato tipo A a datos numéricos...	57
Tabla IV.3. Tabla de conversión de datos Formato tipo B a datos numéricos...	57
Tabla IV.4. Tabla de conversión de datos de marca a datos numéricos.....	58
Tabla IV.5. Resultados Estadísticos de la información recopilada con el instrumento tipo A.....	59
Tabla IV.6. Tabla de frecuencias de número de motores en las empresas.....	59
Tabla IV.7. Tabla de frecuencias de certificación de las empresas.....	60
Tabla IV.8. Tabla de frecuencias de programas de mantenimiento preventivo.	61
Tabla IV.9. Tabla de frecuencias de mantenimiento correctivo.....	62
Tabla IV.10. Tabla de frecuencias de reemplazos.....	63
Tabla IV.11. Tabla de frecuencias de montos invertidos en programas de mantenimiento.....	64
Tabla IV.12. Tabla de frecuencias de partes falladas de los motores en estudio.....	65



## INDICE DE FIGURAS

Fig. II.1. Partes de un motor de inducción.....	21
Fig. II.2. Paquetes de Chapas del Rotor utilizando el propio Eje.....	23
Fig. II.3. Paquetes de Chapas del Rotor utilizando pasantes de fijación.....	24
Fig. II.4. Probabilidad de Falla Acumulada de un conjunto de Motores que no son sometidos a mantenimiento en el período de 0 a 11 años.....	39
Fig. IV.1. Histograma de frecuencias de número de motores.....	60
Fig. IV.2. Histograma de frecuencias de mantenimiento preventivo.....	61
Fig. IV.3. Histograma de frecuencias de reemplazos.....	63
Fig. IV.4. Histograma de frecuencias de monto destinado a mantenimientos...	64



## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo es una investigación realizada en el área de motores de inducción donde el principal objetivo consiste en determinar índices de las fallas más comunes en motores de inducción de empresas del sector industrial del Estado Carabobo.

En este sentido fue recopilada información de motores fallados en empresas de los sectores papelero, alimentos y automotriz (ensambladora y autopartista) usando la técnica de muestra dirigida. La muestra dirigida o muestra de expertos presenta la ventaja de obtener una data de características controladas. Sin embargo presenta el inconveniente de no poder realizar inferencia por lo cual los resultados no pueden ser generalizados a todo el sector industrial del Estado Carabobo.

Para la recopilación de la información fueron diseñados dos instrumentos de recolección de datos los cuales fueron validados a través de juicio de expertos tanto por personal de las propias empresas que suministraron información como por empresas de reparación de motores de la zona en estudio.

La información recopilada fue ingresada al programa de análisis estadístico más comúnmente utilizado SPSS versión 10.1 para sistemas Windows, y fueron aplicados los análisis estadísticos que permiten realizarse en el programa de acuerdo a la información obtenida. Finalmente, se analizan los resultados y se conforman las conclusiones y recomendaciones.

La Investigación se presenta en cinco capítulos descritos a continuación:



En el capítulo I, se indica el planteamiento del problema, objetivos general y específicos, justificación del tema de investigación y las delimitaciones de tiempo, espacio y contenido que presenta la investigación.

En el capítulo II, se identifican antecedentes de investigaciones anteriores, las universidades e instituciones consultadas, las bases teóricas necesarias para la realización de esta investigación.

El procedimiento, la naturaleza de la investigación, el diseño de las fases a seguir para llevar a cabo la misma se describen en el capítulo III. En este capítulo se presentan los instrumentos de recolección de datos aplicados a las empresas seleccionadas y se presenta el software con el cuál son realizados los cálculos estadísticos y el procesamiento de la información. Igualmente se identifican las variables estadísticas tales como unidad de análisis, muestra y población.

En el capítulo IV se identifica la muestra en estudio, se discriminan la cantidad de datos de acuerdo a cada sector en estudio y se calculan los índices de las fallas más comunes en los motores de inducción de la muestra tomada. Con los cálculos se realizan los análisis correspondientes de acuerdo a los análisis estadísticos que pueden ser aplicados a la data recopilada.

En el capítulo V se exponen las conclusiones y recomendaciones de la investigación y finalmente se presentan toda la información que han servido de soporte de este estudio.



## **CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **I.1.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

En la Universidad de Carabobo se están desarrollando líneas de investigación las cuales, de acuerdo a las especialidades de las escuelas y departamentos, están permitiendo abrir caminos que permitan ahondar en áreas de interés fundamental para el crecimiento del conocimiento y que a la vez enlacen a la Universidad con la industria y sus procesos. Estas líneas de investigación deberán orientarse hacia la solución de problemas nacionales con un enfoque de participación integral entre la industria, comunidades y universidades.

Dado que la Universidad no solo es un ente creador de conocimientos, sino que está comprometida con el desarrollo del país en todas sus áreas, se considera un requisito para el cumplimiento de este compromiso fortalecer los lazos entre la Universidad de Carabobo y la industria.

En la industria existe un elemento vital que interviene en la mayor parte de las líneas productivas, este elemento es el motor eléctrico. Existen dos tipos de motores, el motor de corriente continua y el de corriente alterna. La diferencia entre ambos radica no solamente en el tipo de corriente que utilizan para poder funcionar sino también en las formas de construcción y los costos que requieren de mantenimiento para su funcionamiento.

El motor de corriente continua es un equipo ideal para condiciones de control de velocidad, sin embargo, amerita constantes revisiones y mantenimientos preventivos que encarecen su aplicabilidad. Mientras que el motor de corriente alterna, tiene también diversas aplicaciones, sus costos de mantenimiento son menores. Entre los motores de corriente alterna más utilizados se encuentra, el motor de inducción trifásico



ya que su bajo costo, facilidad de mantenimiento y posibilidad de regulación de velocidad representa la mejor alternativa para la mayoría de las aplicaciones.

Tal como lo indica el Profesor Ing. Alfredo Muñoz Ramos, investigador especialista en máquinas eléctricas de la Universidad de Chile y asesor de empresas industriales y mineras, en el Seminario sobre Seguridad Eléctrica y Calidad de Energía (Noviembre 2002, CEIDEC, Valencia): *"La maquinaria eléctrica tiene una alta confiabilidad, razón por la cual tradicionalmente ha recibido muy poca atención en todo lo que se refiere a detección prematura de fallas.."*. El motor de inducción es uno de los elementos más comúnmente utilizado en cualquier proceso industrial, sin embargo, solo son considerados cuando hay que repararlos o reemplazarlos, siendo poco común la determinación, sustento bibliográfico y unificación de la data acerca de la fallas más comunes que se presentan en los mismos porque los equipos son altamente confiables.

Es interesante resaltar que los costos por fallas no solo corresponden al de reemplazo y/o reparación sino que muchas veces involucran pérdidas en materia prima o semi-procesada, incumplimiento de cuotas de producción, incumplimiento de parámetros de calidad o, en el peor de los casos, pérdida del mercado.

Estudios realizados (II Jornadas de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico de la Región Central – 1993) revelan un gran crecimiento en los costos operativos, debidos al creciente aumento de reparación o sustitución de motores. La mayoría de las industrias aún asumen este incremento en los costos sin considerar la forma de reducirlos.

Determinar las fallas más comunes de los motores de inducción considerando la información suministrada por importantes empresas del parque industrial del Estado Carabobo es un primer paso para un estudio integral que ofrezca aportes a la solución



de problemas prácticos que son comunes en las empresas de esta región. Igualmente permite un acercamiento importante de la Universidad con los ambientes de aplicación así como la posibilidad de generar conocimientos que puedan ser aplicados a otras regiones.

La cultura operacional de la Venezuela de recursos ilimitados tiende a actuar hacia la sustitución y el reemplazo de motores sin indagar la causa verdadera que elimine cualquier falla del motor de inducción. Los costos en la economía dolarizada y la necesidad de ahorro crean una visión distinta de mejorar continuamente los procesos industriales que han abierto el camino hacia el mantenimiento predictivo.

En este sentido, la Universidad de Carabobo se ha dispuesto contribuir con un aporte que ofrezca soluciones a este sector tan importante de la economía de nuestra región a través de diversos trabajos y tesis de grado de pregrado y postgrado que se enmarcan en la Línea de Investigación "Mantenimiento Predictivo de Sistemas y Equipos".

Finalmente, determinar las fallas más comunes en los motores de inducción en el sector industrial del Estado Carabobo permitirá establecer cuáles son los tipos de fallas comunes, en qué parte del motor ocurren frecuentemente, cómo se distribuyen las frecuencias de fallas y qué relación se observa con el tipo de proceso industrial, cuál es el promedio de gastos de las industrias en programas de mantenimiento, cuál es la distribución de fallas de acuerdo a las partes del motor de inducción.

## **I.2.- OBJETIVO GENERAL:**

Determinar cuáles son los índices de fallas más comunes en los motores de inducción en el sector industrial del Estado Carabobo, información necesaria para el desarrollo de programas de Mantenimiento Predictivo.



### **I.3.- OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Identificar los tipos de fallas en motores de inducción que se presentan comúnmente con la finalidad de seleccionar los índices de interés en el área de Mantenimiento Predictivo.
- Recopilar y clasificar la información del sector industrial del Estado Carabobo para la conformación de los datos.
- Determinar los índices de las fallas más comunes en motores de inducción en empresas del sector industrial del Estado Carabobo, identificando reincidencias de las fallas, causas e índices de las mismas y su relación con respecto al proceso productivo.

### **I.4.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

El conocimiento a adquirir contribuirá a controlar los problemas o condiciones que inducen a las fallas en los motores y desarrollar programas de mantenimiento predictivo. Con esta información se logrará mejorar la calidad de los procesos, reducir costos, diagnosticar y documentar procedimientos, diseñar y formular programas de mantenimiento y ayudará a crear conocimientos prácticos en el área de máquinas eléctricas, además de, vincularnos con los ambientes de aplicación.

La importancia y justificación de la investigación se planteó en los siguientes términos:

- a) La investigación documentará problemas prácticos que afectan a empresas del sector industrial.
- b) La investigación derivará y sustentará nuevos trabajos hacia el estudio planificado del Mantenimiento Predictivo en motores de Inducción.



- c) La investigación permitirá a la Universidad de Carabobo enlazarse con el sector industrial y ofrecer asistencia en el área.

Este tema de investigación permitirá realizar planes de mantenimiento aplicados a la realidad industrial de esta región. El mismo se traducirá en beneficio a los procesos productivos.

Desarrollar planes de mejora a los elementos que intervienen en los procesos productivos, favorece al parque industrial y constituye un aporte a los estándares de calidad, que a su vez permiten mejorar costos de producción, favoreciendo los productos y por consiguiente a los consumidores. Lo anterior se traduce en mejoras indirectas a la población.

### **I.5.- DELIMITACIONES.**

**De Espacio (geográfico):** El presente trabajo de investigación se limita a la información suministrada por las empresas del Estado Carabobo en los sectores de alimentos, papelería y automotriz que están afiliadas a la Cámara de Industriales del Estado Carabobo (CIEC). Para otros tipos de procesos deberá realizarse la investigación centrado en las necesidades específicas.

**De Tiempo:** El estudio y recopilación de información fue realizado en el lapso Agosto- Noviembre 2003 y se refiere a la información de un (1) año de los motores de la industria. La información recopilada puede ser variable en el tiempo de acuerdo al avance tecnológico y cambios en los procesos.

**De contenido:** El trabajo responde a necesidades específicas de la línea de investigación "Mantenimiento Predictivo de Sistemas y Equipos" del Departamento de



---

Potencia de la Universidad de Carabobo. El estudio se basa en el parque industrial de motores trifásicos de jaula de ardilla de empresas industriales medianas y grandes. En este caso, la muestra seleccionada es no probabilística lo que limita las posibilidades de inferencia estadística de los resultados hacia toda la población definida. La recopilación de datos se basa en la información de las empresas contactadas que manifestaron su disposición a entregar la misma o a ser recopilada dentro de la propia empresa.



## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Para abordar el tema de fallas más comunes en los motores de inducción el marco teórico orienta la investigación a partir de la base del conocimiento de los siguientes aspectos: antecedentes o estudios previos realizados en el tema que sirven de apoyo a la investigación, modelos o teorías sobre los cuales se sustenta la investigación.

### II.1 ANTECEDENTES:

En el área de determinación de fallas comunes o no comunes en motores de inducción en sectores industriales u otros se verificó la inexistencia de estudios previos en las siguientes instituciones (en bibliotecas centrales o de escuelas): Universidad Central de Venezuela (U.C.V.), Universidad de Carabobo (U.C.), Universidad Simón Bolívar (U.S.B.) y Universidad de Oriente (U.D.O.).

Igualmente se verificaron estudios previos del tema en los Institutos afines tales como: Cámara de Industriales del Estado Carabobo y Colegio de Ingenieros del Estado Carabobo. A continuación se presentan los estudios previos que son referidos en esta investigación:

Jaramillo, Miguel (2003). *Métodos convencionales y no convencionales para la detección de fallas en motores de inducción*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, Universidad de Carabobo. Como el trabajo constituye una investigación documental hacia los métodos de detección de fallas indica en forma general los puntos de fallas identificando ampliamente las partes comunes en el motor de inducción lo cual fue incorporado a esta investigación para la elaboración de los instrumentos de recolección de datos.



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. El trabajo explica las ventajas del mantenimiento predictivo en motores de inducción en una reconocida empresa del ramo automotriz del Estado Carabobo por lo cual se incorpora a esta investigación.

Micalizzi, Umberto (2003). *Informe de fallas del Cliente Cartones Nacionales, C.A.* Trabajo de investigación realizado para la Empresa Servicios Industriales de Electricidad (SIDELCA). El trabajo indica el registro de fallas de los motores de inducción de la empresa indicada donde resulta una distribución de fallas mecánicas y eléctricas de 85,29% y 26,47% respectivamente. En este estudio fueron identificados los elementos defectuosos y los tipos de defectos observados que resultaron en fallas o mantenimientos. Los resultados se incorporan en este estudio ya que son de la misma naturaleza enfocados a una empresa del Sector Papelero.

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. El trabajo de investigación propone un sistema para levantamiento y procesamiento de la información acerca de fallas en motores de Alcasa.



## II.2 MODELOS Y TEORÍAS REFERIDAS A LA INVESTIGACIÓN.

### II.2.1 Estructura del marco teórico para el desarrollo de la presente investigación.

El motor de inducción es el tipo de motor de corriente alterna más popular debido a la simplicidad y facilidad de operación. Las máquinas de inducción son llamadas así porque el voltaje del rotor es *inducido* por las corrientes que circulan en el devanado del estator.

La evolución en los diseños del motor de inducción desde 1888 hasta las últimas tendencias se suceden como una evolución en tres (3) etapas fundamentales: La etapa inicial de los primeros diseños que comienza a finales del siglo XIX y donde se introducen los motores de tres fases, devanados estáticos distribuidos y el rotor de jaula de ardilla; la segunda etapa ocurre en la década de los 70 donde se enfocan los diseños hacia el ahorro en costos de construcción producto de las nuevas técnicas para fundición, calidad de los aceros y aislamientos; y la etapa actual donde los fabricantes ofrecen nuevas líneas de motores de inducción de alta eficiencia que se apoyan en normas y técnicas de medición de este parámetro definidas por las organizaciones norteamericanas IEEE y NEMA, japonesa JEC y Europeas IEC y British. Actualmente existen niveles de eficiencia nominales para los fabricantes basadas en la norma Nema IPact de acuerdo a políticas energéticas establecidas en la década de los años 80. Los motores deben mantener condiciones de operación dentro de estos rangos y responder a parámetros denominados Testing Motor, de acuerdo a normas americanas basadas en los Registros Federales del departamento de energía.

El uso del motor de inducción ofrece ventajas ya que su desempeño de poco mantenimiento favorece su uso en lugares aislados, ambientes hostiles de polvo y materiales abrasivos.



Por la naturaleza de la investigación a desarrollar, referente a la determinación de fallas en motores de inducción en ambientes de aplicación, la investigación debe abordar las teorías y/o modelos que describen:

- Cuáles son las partes de un motor. De esta manera quedan aclaradas los puntos de ocurrencia de falla que es el objetivo fundamental del estudio.
- Cuál es el principio de funcionamiento. Permite identificar los fenómenos que ocurren dentro de la máquina en estudio.
- Cuáles son los tipos de fallas. Permite el conocimiento base para estructurar la forma en que será recopilada la información de este estudio.
- Causas de fallas. Aunque la presente investigación no involucra la determinación de las causas de las fallas este conocimiento representa la posibilidad de abrir el camino y establecer las bases para su estudio y análisis.
- Mantenimiento predictivo en motores. Este conocimiento permite identificar la aplicación real del estudio realizado y su importancia y aplicación en ambientes industriales.
- Análisis estadísticos de los datos. Este conocimiento representa el basamento principal para desarrollar los análisis de la información tomada. Estos análisis unidos a la validez y confiabilidad de la información son el principal producto y responden al objeto primordial de esta investigación.

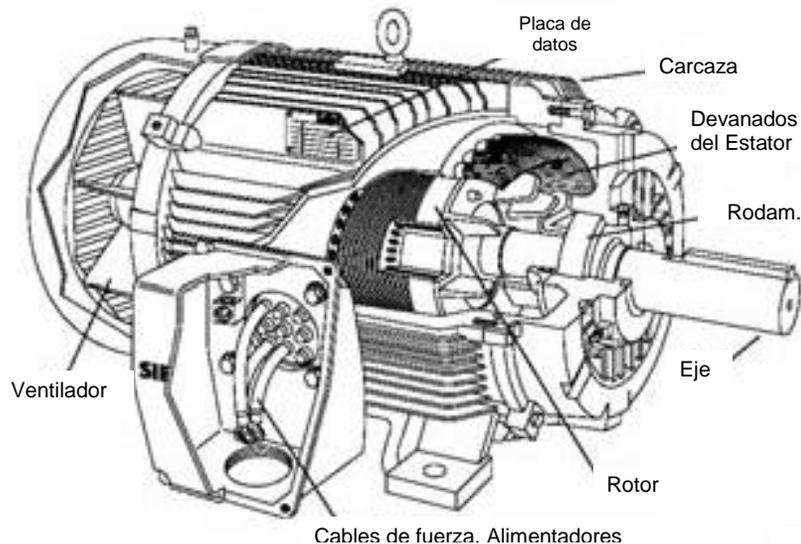
### **II.2.2 Partes constitutivas de un motor de inducción.**

El motor de inducción, trifásico, jaula de ardilla, tiene dos partes fundamentales: a) rotor que transfiere la energía mecánica, y b) el estator que recibe la energía eléctrica. Existen dos tipos diferentes de rotor: el rotor devanado y el rotor de jaula de ardilla.

El rotor devanado se fabrica con conductores de cobre aislados, generalmente, del núcleo los cuales constituyen un devanado trifásico que son imágenes de los devanados del estator. Se conectan usualmente en estrella y se les puede colocar una terminación específica que permita extraerlas a través de anillos colectores. A través del uso de resistencias externas el motor de inducción de rotor devanado confiere las siguientes ventajas: 1) Se pueden igualar el par máximo y el par de arranque, 2) bajar la corriente de arranque a voltaje pleno, 3) obtener alto par de arranque con menor voltaje de arranque, 4) controlar moderadamente la velocidad.

Sin embargo, esta investigación se centra en el estudio del comportamiento de fallas del motor de inducción de jaula de ardilla por lo cual se presta especial atención a este tipo de motor.

Las partes constitutivas del motor de inducción, trifásico, jaula de ardilla se muestran a continuación en la figura II.1.



**Fig. II.1 Partes de un motor de inducción**

**Fuente:** Accionamientos Eléctricos. Postgrado UC. Prof. Francisco A. Guillén S.



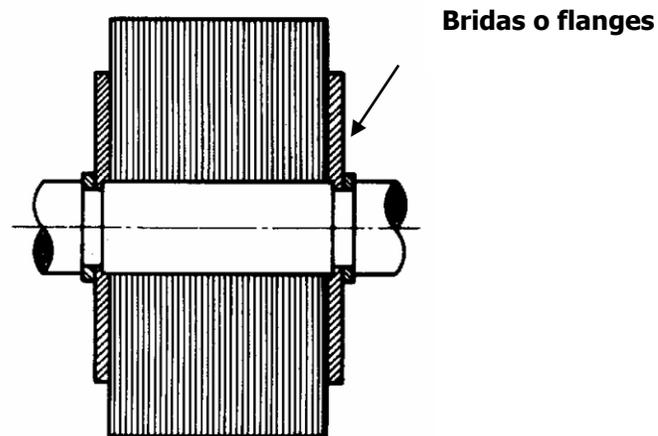
**a) Rotor:** El rotor es la parte móvil o que gira (rotativa) y contiene:

1. Núcleo magnético del rotor: está formado por un paquete de láminas o chapas de hierro de elevada calidad magnética.

El núcleo de un motor de inducción es un cilindro de acero laminado en el cual se colocan o se devanan las barras o conductores de cobre o de aluminio respectivamente, paralela al eje longitudinal en ranuras o agujeros en el núcleo, aunque también existen de hierro macizo.

El núcleo magnético del rotor tiene que estar laminado para limitar las pérdidas por corrientes Focault. A estas láminas se les pega por una cara papel aislante. El paquete de chapas se estampa y se limpia uniéndose a través de pernos calibrados, luego se comprime hasta una presión aproximada de  $8 \text{ kg/cm}^2$  la cual debe mantenerse. Para mantenerse se utilizan bridas o platillos laterales también llamados flanges y que constituyen el cuerpo sustentador del núcleo tal como se muestra en la figura II.2.

En motores de baja potencia, las bridas se fijan utilizando el propio eje de la máquina por medio de tres procedimientos comunes: anillo contráctil, anillo partido y disco muelle para los cuales se le efectúan al eje encastres o ranuras.

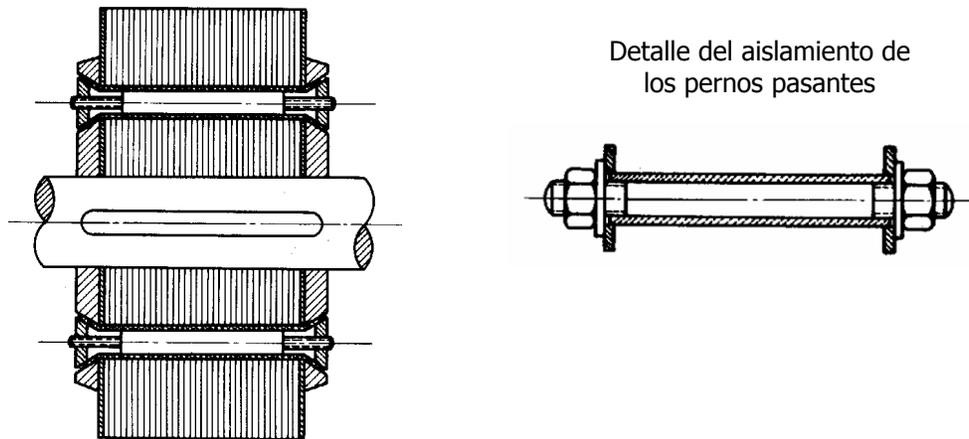


**Fig. II.2. Paquete de chapas del rotor , utilizando el propio eje.**

**Fuente: Enciclopedia CEAC (1973, p. 103).**

Para motores de gran potencia el sistema anterior no garantiza que se mantenga la presión. Por lo cual se usan pernos pasantes que atraviesan el paquete de chapas tomando la precaución de mantener totalmente aisladas las chapas para evitar que se pongan en cortocircuito. Para estos motores el paquete de chapas está montado sobre un cuerpo sustentador llamado estrella del rotor, tal como se muestra en la figura I.3, y la sujeción se realiza por medio de bridas anulares sujetas con cuñas transversales o por medio de tornillos con cabeza.

Los pernos se aíslan por medio de tubos que recubren toda su longitud y por arandelas aislantes dispuestas los extremos del perno.



**Fig.II.3. Paquete de chapas del rotor utilizando pasantes de fijación.**

**Fuente: Enciclopedia CEAC (1973, 104).**

En caso de existir alguna falla asociada con esta sección se observa que pueden ocurrir por aflojamiento de las chapas o por problemas de aislamiento entre las mismas. Sin embargo, puede que se vean reflejadas primero en las barras de la jaula que en el paquete de chapas. Tanto el núcleo del rotor como del estator se construyen con chapas de acero al silicio con ranuras semicerradas para obtener la mayor ranura periférica posible para el flujo magnético que atraviesa el entrehierro.

2. Barras de cobre o de aluminio que es lo más usual, que forman la jaula y están unidas por los anillos de cortocircuito: la jaula de ardilla es una serie de barras de cobre alojadas sobre ranuras realizadas a la periferia del núcleo y unidas en cortocircuito mediante dos aros de cobre situados a los extremos del núcleo que las cierran en cortocircuito.

Las barras del rotor de jaula de ardilla no siempre son paralelas a la longitud axial del rotor, ya que pueden estar desviadas algún ángulo



respecto al eje del rotor, para evitar saltos y producir un par más uniforme, así como para disminuir el ruido magnético durante el funcionamiento, según Kosow, I (1991, p. 309).

Adicionalmente las barras de la jaula, son *no aisladas* y se insertan en las ranuras del rotor. Las variaciones entre los fabricantes se deben a modificaciones en la sección transversal de la barra o por variaciones en la aleación conductora que se emplea.

3. Dispositivos de ventilación: esta conformado por un ventilador cuyas aspas son generalmente de plástico, el cual gira y ventila las secciones internas del rotor. En caso de realizar mantenimiento al motor, este ventilador se cambia si presenta juego al colocarlo en el casquete soporte lado ventilador, en caso contrario, no se reemplaza.
4. Eje: el eje es sobre el cual va ajustado a presión el paquete de chapas.

El eje es el punto donde se originan las perturbaciones de tipo mecánico si la masa no está distribuida uniformemente sobre el mismo, según CEAC (1973, p. 109). Por lo cual puede ser compensado para repartir su masa de manera uniforme, mediante limado para eliminar el exceso de masa, o poniendo masas compensadoras según sea el caso.

Las fallas de esta sección están asociadas con descompensación o dobleces del eje, así como también con daños en el mecanizado que amerite volver a rellenar y maquinar.



**b) Estator:** El estator es la parte fija de la máquina y contiene:

5. Núcleo magnético del estator. Según Rosenberg, R. (1976, p.128) son chapas de acero con ranuras semi-cerradas, puesto que en él se producen flujos alternos lo que origina la formación de corrientes de Foucault que deben reducirse en lo posible.
6. Cuerpo sustentador del núcleo magnético. es conocida también como carcasa. Se construyen de hierro fundido o de acero laminado. La configuración general es la de un cilindro hueco circular con el que se funden todos los elementos necesarios de su constitución externa y las superficies de trabajo.
7. Devanado del estator. es un arrollamiento constituido por bobinas individuales alojadas en las ranuras del núcleo. Según CEAC (1973, p. 146-152) las posibilidades de realización del arrollamiento estático se distinguen exteriormente entre sí, por la forma de las bobinas y por la disposición de las cabezas de arrollamiento y son las siguientes: 1) Devanados con bobinas de diferentes anchos 2) Devanados con bobinas del mismo ancho 3) Devanados con bobinas de diferentes anchos y cabezas uniformemente distribuidas, 4) Devanados con bobinas del mismo ancho y cabezas concentradas, 5) Arrollamiento concéntrico con bobinas uniformemente distribuidas 6) Arrollamiento concéntrico con bobinas concentradas.
8. Soportes del devanado del estator. los devanados estáticos se alojan en ranuras normalmente semicerradas con arrollamiento en dos capas. Si el devanado es con barras rectangulares se emplean comúnmente ranuras abiertas.
9. Caja de bornes. Los motores, al igual que cualquier máquina eléctrica deben ir provistos de una caja de bornes o de conexión, que generalmente



se sitúan a un costado de la carcaza, o menos frecuentemente, en la parte superior de la propia carcaza. Los bornes atraviesan la carcaza, y los mismos se protegen con una tapa para evitar contactos involuntarios o accidentes con los bornes de conexión.

10. Dispositivos de ventilación del estator formado por aletas de ventilación sujetas al eje, y por canales de ventilación realizados en el núcleo magnético del estator.

**c) Tapa del lado de transmisión:** Es el extremo del eje que mueve la carga mecánica acoplada al mismo y contiene:

11. Cabeza de cojinete. Los cojinetes son elementos mecánicos destinados a la fijación de los ejes a las partes fijas de las máquinas, según CEAC (1973, p.169).
12. Sustentador del cojinete (tapa transmisión). Como órganos de sustentación de los cojinetes se emplean las tapas o escudos portacojinetes apoyados en el estator y aplicables a máquinas de pequeña y mediana potencia y los soportes de cojinete, que son independientes de las tapas y se emplean en máquinas de gran potencia, según CEAC (1973, p.181)

**d) Tapa del lado opuesto de transmisión:** Es el extremo opuesto al eje y contiene:

13. Cabeza de cojinete. Su descripción es igual al punto 11.



14. Sustentador del cojinete (tapa interior). En lo citado en el punto 8 de la parte anterior se indica la definición de esta parte del motor, sin embargo, esta sección se ubica en la parte interna y cumple funciones similares.
15. Tapa exterior de protección. Es una estructura de hierro fundido o de aluminio, es la carcasa externa que protege al motor

**e) Otros elementos:**

16. Placa con características: esta placa indica los datos técnicos del motor suministrados por el fabricante.
17. Cojinete de doble hilera de bolas (lado transmisión). Los cojinetes son elementos mecánicos destinados a la fijación de los ejes a las partes fijas de las máquinas. Este tipo se coloca del lado de la transmisión ya que soporta mayores esfuerzos transversales y longitudinales por calentamiento y dilatación del eje.
18. Cojinete de bolas (lado opuesto a la transmisión): en los escudos van montados los cojinetes sobre los cuales se apoya y gira el eje el eje del rotor. A tal efecto se emplean indistintamente cojinetes de bolas y cojinetes de resbalamiento.
19. Aletas de refrigeración de la carcasa. Están colocadas de manera que el motor logre ventilarse a través del aire, ya que dadas las altas temperaturas de funcionamiento corre el riesgo de sobrecalentarse y dañarse alguna parte interna. Es de vital importancia que mantenga una adecuada ventilación.



20. Pernos de fijación de la carcasa: según Rosenberg, R (1976) igual que en los demás motores, los dos escudos se afianzan firmemente, uno a cada lado de la carcasa, con auxilio de pernos.

### **II.2.3 Principio de funcionamiento y operación del motor de inducción.**

El principio más elemental de un motor de inducción es de un transformador eléctrico cuyo circuito magnético está separado por un entrehierro en dos partes con movimiento relativo entre sí, en una de las cuales va el devanado primario y en la otra el secundario. Una corriente alterna suministrada al devanado primario desde una red, induce una corriente opuesta en el devanado secundario, cuando este último está cortocircuitado o cerrado a través de una impedancia externa. El movimiento relativo entre la estructura primaria y secundaria es producido por las fuerzas electromagnéticas correspondientes a la potencia transferida por inducción a través del entrehierro.

En un motor trifásico de inducción al aplicar al estator un conjunto de voltajes trifásicos circulan un conjunto trifásico de corrientes estatóricas que producen un campo magnético giratorio y tiene una velocidad de rotación definida por la frecuencia y los polos de la máquina. Este campo magnético rotacional pasa sobre las barras del rotor induciendo tensión en ellas. Esto origina un flujo de corrientes en las barras las cuales producen otro campo magnético que junto al anterior dan un campo resultante y el rotor comienza a acelerarse en esa dirección.

La intensidad del campo magnético resultante permanece, siempre y cuando la tensión aplicada se mantenga constante, mientras las tres fases distintas



efectúan pulsaciones cíclicas a través de  $360^\circ$  eléctricos en el tiempo. Esta es la razón del par uniforme en cualquiera de los diversos tipos de motores trifásicos.

Luego de iniciado el movimiento, a partir de los campos magnéticos indicados se obtiene el torque necesario para mover las cargas involucradas en los diferentes procesos donde tiene aplicación el motor de inducción.

Las operaciones transitorias de arranque y aceleración de una carga en un motor de inducción, están cubiertas por la designación de *diseño* y es una norma en los países que reconocen la codificación de la National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Los diversos valores asignados a los diseños NEMA de motores se muestran en la tabla II.1.

Esta clasificación se utiliza comercialmente en los motores de inducción por lo cual es considerada en el levantamiento de la información del presente trabajo de investigación.

En cuanto al control de velocidad, el motor de inducción es un elemento con velocidad relativa constante. El control de velocidad en un motor de inducción se puede efectuar por tres métodos: a) Modificándose la frecuencia de la fuente de poder, b) por la modificación del número de polos, y c) Modificando el voltaje. Cada método tiene sus ventajas y aplicaciones. Sin embargo, para la presente investigación los métodos de control de velocidad no son considerados en el levantamiento de la información para la determinación de los índices de fallas.

**Tabla II.1. Características de los diseños NEMA de motores de inducción.**

NEMA	Corriente de arranque	Par de arranque	Par máximo	S nominal	S	Aplicaciones
A	6-10 Inom	Bajo	Alto	Muy bajo	Máx 5%	Ventiladores, sopladores, bombas
B	6 Inom	Normal	Normal	Bajo	Máx 5%	Idem Nema A, compresores descargados, bandas transportadoras
C	4-6 Inom	Alto	Medio	Bajo	Máx 5%	Compresores cargados, compresores centrífugos
D	3-6 Inom	Muy alto	Bajo	Alto		Arranques de alta inercia y cargados
					5-8%	Prensas, cizallas
					8-13%	Grúas, elevadores, balancines.

**Fuente:** NEMA Standard Publication. MG1 (1998)

#### II.2.4 Tipos de fallas.

Los procesos industriales que tienen asociados motores de inducción, continuamente son reajustados para aumentar la productividad y disminuir costos operacionales. Estos cambios inciden directamente en los valores nominales para los cuáles ha sido diseñado el equipo. Los cambios que ocurren en los procesos industriales pueden estar relacionados con: variaciones de tensión, variaciones de corriente, condiciones ambientales inadecuadas, entre otros. Traen como



consecuencia variaciones en el principio de funcionamiento y afectan partes eléctricas y/o mecánicas que posteriormente se convierten en averías o fallas.

Igualmente, la tendencia actual de diseñar máquinas de bajo costo hace que los materiales utilizados trabajen más cerca de sus límites de resistencia mecánica y electromagnética, incrementando la probabilidad de falla prematura de los equipos, según lo expresan Fernández, García, Alonso, Cano, Solares (p. 2).

Llama la atención el incremento de fallas en estos equipos altamente confiables, por lo cual se desarrolla la presente investigación.

Para cualquier proceso productivo una *Falla* es un defecto o desperfecto que impide el funcionamiento regular del motor de inducción. Estas fallas se pueden clasificar según diferentes criterios: a) La naturaleza física [mecánicas, eléctricas, hidráulicas, etc.] , b) según su gravedad, c) según la parte del equipo al cual afectan, etc.

Las fallas de acuerdo a las partes constitutivas del motor, pueden ocurrir de acuerdo a lo indicado a continuación:

- En el rotor: rotura de barra (jaula rotórica), rotura en los anillos de cortocircuito, excentricidad (cambio en el entrehierro), en el eje (rotura, desajuste).



- En el estator: fallas en los devanados (aislamiento, rotura o desplazamiento), desajustes en dispositivos de fijación, núcleo magnético, bornera.
- En las tapas de transmisión: daño del cojinete de bolas, desajustes en el sujetador de cojinete y tapas.

Las fallas referidas al sistema eje – rotor, de acuerdo a Jaramillo, M (2003, p. 65) se clasifican como: deflexión en el eje, cojinetes, jaula del rotor, sistemas de ventilación, estator y cualquier combinación de las anteriores.

Las fallas para una empresa de aluminio, de acuerdo a Raga, J. – Ruiz, C. (1992, p. 7) fueron clasificadas en cuatro tipos importantes: falla en arrollados (estator), falla en rodamientos (cojinetes), falla en eje (deformación) y falla en caja de conexiones.

Para una empresa papelera, de acuerdo a Micalizzi, Umberto (2003, p. 3) las fallas fueron discriminadas en los siguientes puntos físicos: tapas, eje, ventilador, flange, rodamientos, laberintos, bocinas, babitts, jaula de ardilla, colector. Esto constituye un enriquecimiento de la información de fallas en el tiempo transcurrido de once (11) años entre ambos estudios.

Finalmente, para la presente investigación, las fallas serán determinadas de acuerdo a las partes constitutivas del motor de inducción descritas anteriormente, con las siguientes incorporaciones:

- En el rotor: rotura de bridas o flanges.



- En el estator: fallas en los devanados (cortocircuito entre espiras), rotura en cuerpo sujetador del núcleo magnético.
- En las tapas de transmisión: daños en bocinas, babitts, ventilador y sujetador del cojinete.

### **II.2.5 Causas de fallas.**

Para esta investigación es importante conocer las causas que originan estas fallas ya que la información suministrada por las empresas no siempre indican el punto de falla, sino la causa que la originó. Por consecuencia, la información debe depurarse hasta llegar finalmente a la forma en que serán clasificadas las fallas. Conocer las causas permite asociar las mismas al punto de falla.

Las causas de fallas en el estator y rotor del motor de inducción trifásico de jaula de ardilla, de acuerdo a Bonnett, Austin (1992) son las siguientes:

- **Fallas en el estator:**  
Las causas de fallas en el estator son por esfuerzos térmicos (envejecimiento y sobrecargas), eléctricos (esfuerzos dieléctricos, voltajes de fuga, efecto corona y condiciones transitorias de voltaje), mecánicos (movimiento o desplazamiento de los devanados, golpes del rotor al estator y por factores misceláneos como problemas de fijación, de ajuste de partes, etc.) y por condiciones de contaminación (por presencia de partículas externas, humedad, etc.).

Fase Interrumpida: si se produce alguna interrupción en el funcionamiento mientras un motor está funcionando, el motor continuará funcionando aunque desarrollará menos potencia, si tiene lugar mientras el motor está



parado, no será posible volver a arrancarlo. La interrupción puede estar localizada en una bobina o en la conexión entre dos grupos de bobinas. Normalmente está ocasionada por la rotura del hilo o por un contacto flojo en una conexión.

Bobina o grupo de bobinas con espiras en cortocircuito: los cortocircuitos entre espiras determinan una marcha ruidosa del motor y el desprendimiento de humo. Tras localizar las bobinas defectuosas, sea por inspección visual, sea midiendo la corriente absorbida por fase, se sustituirán por otras nuevas o se dejarán fuera de servicio.

- Fallas en el rotor:

Las causas de fallas en el rotor son por esfuerzos térmicos (sobrecarga, desbalance, puntos calientes y rotor centelleante), magnéticos (efectos electromagnéticos, fuerzas magnéticas desbalanceadas, ruido y vibración electromagnética), condiciones residuales (asociados a defectos en la construcción del motor), por condiciones dinámicas (pares sobre el eje, fuerzas centrífugas, esfuerzos cíclicos) por condiciones ambientales (materiales extraños que causan abrasión o atasco), esfuerzos mecánicos (por porosidades, laminado flojo, materiales inadecuados, desajustes, asimetrías, desalineación, etc.).

De acuerdo a Jaramillo, M. (2003) las causas de fallas en cojinetes o fallas de rodamiento y sistemas de lubricación se deben:

a) Desgaste de los cojinetes ocasionados por partículas abrasivas, lubricación inadecuada y/o vibración,



- b) Fatigas ocasionadas por esfuerzos cíclicos que aparecen bajo la superficie que soporta la carga,
- c) Abolladuras causadas por agentes externos, mala instalación y/o por sobrecargas,
- d) Corrosión causada por agentes corrosivos que alcanzan el interior del cojinete,
- e) Contaminación causada por agentes externos que ocasionan abolladuras o ralladuras,
- e) Escamación causada como resultado del proceso de fatiga,
- f) Grietas causadas comúnmente durante el montaje o desmontaje de los cojinetes,
- g) Carga excesiva,
- h) Desalineación,
- i) Barras rotóricas flojas: dan lugar a un funcionamiento ruidoso del motor, a una pérdida de potencia en el mismo y a la producción de chispas entre las barras y los aros frontales de la jaula de ardilla. Las barras rotóricas flojas pueden descubrirse por una simple inspección visual o bien haciendo girar el rotor por encima de una bobina de prueba. En caso de presentar esta falla, hay que volver a soldar todas las barras. Esto no es aplicable si el rotor es de aluminio, en los que barras y aros han sido fundidos en una sola pieza.
- j) Cojinetes agarrotados: cuando la parte del eje que gira dentro de un cojinete no tiene suficiente lubricación, el eje se calienta intensamente y se dilata hasta el punto de quedar inmobilizado en el cojinete. En muchos casos el propio cojinete se funde y queda soldado al eje, haciendo imposible el movimiento de éste. Entonces se dicen que los cojinetes están *agarrotados*.



Según Rosenberg, R (1975, p. 259) cuando los cojinetes están desgastados, el rotor roza contra el estator y la marcha del rotor es ruidosa. Si el desgaste de los cojinetes es tal que llega a descansar plenamente sobre el núcleo estatórico la rotación del motor es imposible. Si el motor es pequeño, para detectar esta anomalía se trata de mover un extremo del eje del motor hacia arriba y si este movimiento resulta posible, uno de los cojinetes está desgastado, por lo cual, deberá ser forzosamente reemplazado. Cuando el motor es grande, el estado de los cojinetes se comprueba mediante un calibre de láminas, si los cojinetes están en buenas condiciones, el entrehierro debe ser el mismo en cualquier punto de la periferia.

### **II.2.6 Mantenimiento predictivo en motores de inducción.**

El mantenimiento predictivo en motores de inducción consiste en una detección precoz antes de que se produzca la falla. Se utilizan métodos estadísticos basados en datos de funcionamiento de condiciones pasadas que permitirán pronosticar probables fallas en los mismos.

Estos métodos permiten observar la evolución del comportamiento de las variables de la máquina y decidir el momento apropiado para realizar una intervención de mantenimiento y planificar las actividades tomando en cuenta, los límites tolerables en el funcionamiento de las mismas, según Jaramillo, M (2003 p.173).

En algunas empresas del sector industrial del Estado Carabobo, las cuales son tomadas como puntos de referencia en la presente investigación, se indica que el

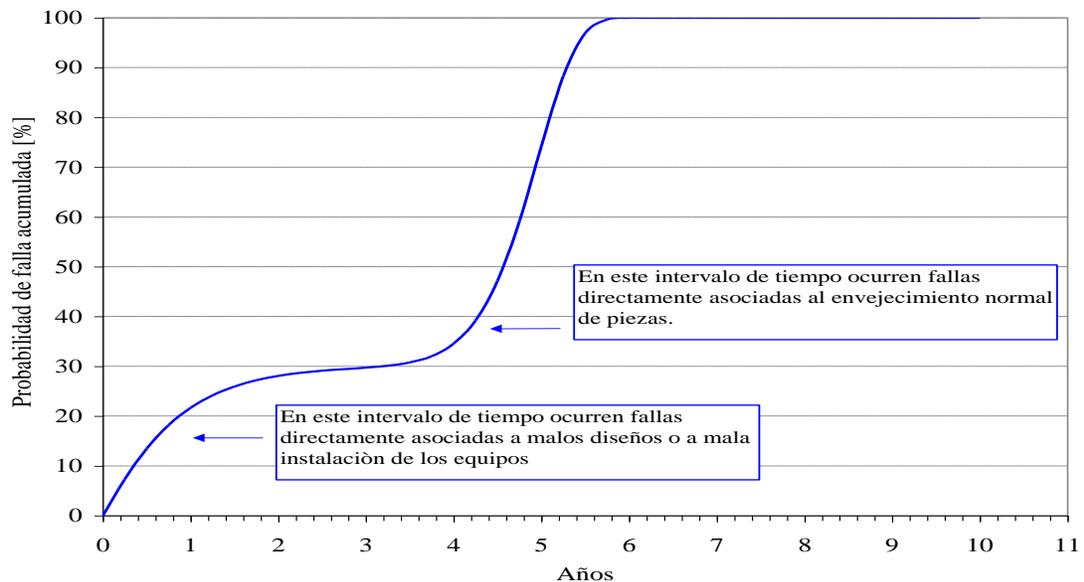


mantenimiento predictivo cobra cada día mayor importancia debido a que las exigencias de calidad en la producción son cada vez mayores y al hecho de que las empresas necesitan ser más competitivas en el ámbito del comercio internacional.

De acuerdo a Giordanelli, Francisco (1997) para una empresa ensambladora ubicada en Valencia, Estado Carabobo existen tres grandes ventajas en un programa de mantenimiento predictivo: 1) No se asignan recursos en reparar máquinas saludables, 2) Pueden tomarse decisiones estratégicas en programas de producción ya que en los motores pueden ser alargadas las paradas por mantenimientos, 3) La decisión de intervenir un motor no depende del tiempo de instalación, por lo cual los problemas pueden ser detectados durante los períodos de garantía de los mismos lo cual disminuye los costos de mantenimiento.

La aplicación de la información a obtener con este estudio, servirá de soporte para programas de mantenimiento predictivo diseñados en la Universidad de Carabobo.

Un ejemplo de la aplicación de la información estadística es presentada por el Dr. Alfredo Muñoz (2002, p. 3, 3era parte) para el caso de motores eléctricos del sector minero en un estudio realizado por la Universidad de Chile. El estudio presenta un análisis del histograma de fallas de una muestra de motores que no habían sido sometidos a un programa de mantenimiento. El resultado se indica en la Figura II.4.



**Fig.II.4. Probabilidad de falla acumulada de un conjunto de motores que no es sometido a mantenimiento en el período de 0 a 11 años.**

Análisis del Autor (p.3): "De la curva de probabilidad de falla descrita se observa que existe un número elevado de fallas al instalarse el equipo (fallas infantiles antes de un año de funcionamiento del equipo), luego existe un lapso (de 1 a 4 años) en que prácticamente no existen fallas, para iniciarse a los 4 años de funcionamiento un elevado número de fallas nuevamente".

La Probabilidad de Falla Acumulada representa la suma de las probabilidades individuales una vez que ocurrieron todas las fallas.

En base al análisis, el Dr. Alfredo Muñoz establece acciones de mejoramiento de la confiabilidad al momento de instalar el equipo y acciones de mantenimiento predictivo.



En este sentido la presente investigación plantea el inicio del levantamiento de información necesaria para establecer planes de mantenimiento predictivo. El seguimiento continuo de la información en grupos de motores permitirá establecer los histogramas para los motores de inducción ajustados al parque de motores de las industrias de la región de acuerdo al ambiente donde se ubiquen.

La presente investigación busca asociar variables comunes o determinar un perfil de motores fallados de acuerdo al ambiente de trabajo. El medio puede afectar la vida útil de los motores por lo cual los fabricantes suministran guías para la selección de motores de acuerdo al medio ambiente donde operará. En el Anexo Nº 1 se muestra un formato típico para selección de motor de acuerdo con el medio ambiente de operación.

En esta investigación se identifican los ambientes sobre los cuales basar el estudio. Los ambientes más importantes, se engloban de acuerdo a la agresividad de las condiciones del motor y a las industrias que conforman el parque industrial de la zona, según lo siguiente:

- Atmósferas con ambientes limpios, con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas. En este tipo de ambiente se ubican las empresas farmacéuticas que por concepto de seguridad e higiene mantienen un estricto control de la contaminación en los ambientes de producción aunque el mismo proceso involucra ambientes con alta humedad y salpicaduras químicas.
- Atmósferas explosivas. En este tipo de ambiente se ubican las empresas que procesan el petróleo y sus derivados.



- Atmósfera limpia y seca. En este tipo de ambiente se ubican las empresas ensambladoras excepto las áreas de pintura de las mismas.
- Polvos secos no explosivos, negro de humo, etc. En este tipo de ambiente se ubican las empresas caucheras y autopartistas.
- Áreas con materiales como polvo y pulpa, que pueden obstruir la ventilación de un motor abierto. En este tipo de ambiente se ubican las empresas papeleras.
- En interiores o exteriores con polvo abrasivo. En este tipo de ambiente se ubican algunas empresas de alimentos.

### **II.2.7 Análisis Estadístico de los datos.**

Para la presente investigación es fundamental el análisis estadístico de la información o análisis de los datos, según Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999, p. 343) la estadística no es un fin sino una herramienta para analizar los datos. El autor expresa que los principales análisis que pueden efectuarse son:

- Estadística descriptiva tales como distribución de frecuencias, media, moda, desviación estándar, varianza, máximos y mínimos por cada variable.
- Puntuaciones Z o estandarización lo cual permite comparar puntuaciones de dos distribuciones diferentes.
- Razones y tasas las cuales permiten establecer relaciones entre categorías y relaciones entre casos, frecuencias y/o eventos de una misma categoría respectivamente.
- Cálculos y razonamientos de estadística inferencial basados en datos tomados a una muestra representativa de la población con la cual se



pueda inferir el comportamiento de la población bajo determinados niveles de confianza y error.

- Análisis paramétricos, no paramétricos y multivariados para las variables los cuales permiten determinar correlaciones entre variables, identificar diferencias entre grupos o variables, relación de una variable respecto a múltiples variables, determinación del perfil de un grupo con variables comunes.

Para iniciar las bases teóricas referentes a la estadística de los datos, es preciso aclarar una serie de definiciones que lleven la presente investigación, al análisis requerido de los índices de fallas más comunes de los motores de inducción. Así por ejemplo se tiene que, durante la operación de equipos ocurren *Eventos*. Un evento es un acontecimiento o el resultado de un experimento. En los procesos continuos no solo ocurren los mismos, sino que al presentarse cambios de un experimento a otro se está en presencia de *Experimentos Aleatorios*.

En un experimento aleatorio existe la incertidumbre sobre si ocurrirá un evento en particular. Es preciso tener presente la *Probabilidad* como la oportunidad de que el evento ocurra. La probabilidad está entre 0 y 1.

La probabilidad de que ocurra un evento  $h$  después de  $n$  repeticiones de un experimento es igual a  $h/n$ . En este sentido la probabilidad está asociada a la frecuencia con que ocurre un evento.

Un histograma es la expresión de la distribución de frecuencia respecto a un carácter del experimento. Un ejemplo de histograma de fallas de motores se



expresa como el número de motores fallados (frecuencia) respecto a las fallas de los devanados (carácter del experimento).

A los histogramas se les asocia una función de distribución de probabilidad, la cual asigna una probabilidad de ocurrencia (Ejemplo: probabilidad de falla) a una variable aleatoria (Ejemplo: falla en los devanados).

La probabilidad acumulada es la suma de las probabilidades una vez que ocurrieron todas las variables aleatorias.

Las medidas de tendencia central son puntos en una distribución, los valores medios ayudan a ubicarlas dentro de la escala de medición. El nivel de medición de la variable determina cuál es la medida de tendencia central apropiada para el índice de falla que se desea evaluar.

La moda es la categoría que ocurre con mayor frecuencia, la mediana es el valor que divide a la distribución por la mitad. La media es la medida de tendencia central más utilizada y se define como el promedio aritmético de una distribución. Es preciso indicar la fluctuación promedio de un determinado valor de la población, mejor conocida como *Varianza* y también hay que calcular el promedio de desviación de las puntuaciones con respecto a la media o lo que es lo mismo, la *Desviación Estandar*.

En este sentido, a continuación se presentan los análisis estadísticos utilizados y sus aplicaciones dentro de esta investigación.



### **II.2.7.1. Estadística descriptiva.**

En esta investigación se obtienen los datos resultantes del análisis estadístico descriptivo tales como distribución de frecuencias, media, moda, desviación estándar, varianza, máximos y mínimos por cada variable.

### **II.2.7.2. Análisis factorial.**

El análisis factorial permite identificar con el menor número de factores posibles un conjunto de variables que pueden ser utilizados para representar la relación existente entre un conjunto de variables intercorrelacionadas. Cuando los coeficientes de correlación son mayores a 0,70 se considera que existe una correlación entre las variables aceptable lo que permite reducir en factores.

El análisis factorial consiste en construir escenarios o dimensiones hipotéticas agrupando variables originalmente correlacionadas. De esta manera se puede resumir información sustituyendo una matriz con información por otra más pequeña que contenga parte importante de la información con mayor varianza común.

En esta investigación este análisis se utiliza para determinar la correlación entre variables, es decir, permitirá identificar los porcentajes de correlación en los siguientes casos:

- Cuál es la relación entre la distribución de fallas y el tipo de industria.
- Cuál es la relación entre la distribución de fallas y tener calificaciones de calidad.
- Cuál es la relación entre la distribución de fallas y el mantenimiento preventivo.



- Cuál es la relación entre la distribución de fallas y el mantenimiento correctivo.
- Cuál es la relación entre la distribución de fallas y el monto en Bolívares destinados anualmente a programas de mantenimiento.
- Cuál es la relación entre las fallas en el rotor, estator y/o tapas y la potencia del motor.
- Cuál es la relación entre las fallas y el ambiente donde se ubica el motor.
- Cuál es el mínimo de factores que pueden reducirse las variables.

### **II.2.7.3. Análisis discriminante.**

El análisis discriminante es una técnica empleada cuando se desea investigar las diferencias entre grupos de individuos, en este sentido, permite determinar cuáles son las variables que mejor explican la pertenencia a un grupo.

Los pasos que comprende un análisis discriminante consisten en formulación, estimación, determinación de la significancia e interpretación de los resultados. Para esto se identifica el objetivo del análisis, se identifica la variable criterio y las variables independientes. No tendría sentido interpretar el análisis si las funciones discriminantes estimadas no fueran estadísticamente significativas, por lo cual, luego se determina la significancia. Los valores recomendados de significancia deben ser menores que 0,050.

En esta investigación permitiría identificar por ejemplo:

- Características diferenciadoras entre partes que fallaron de los motores y el sector productivo.



#### **II.2.7.4. Análisis por conglomerados.**

Se utiliza para clasificar individuos, objetos o casos en grupos relativamente homogéneo. Se diferencia del análisis discriminante por no requerir el conocimiento previo de la pertenencia a un grupo.

Para la investigación permite, por ejemplo:

- Identificar grupos homogéneos de motores fallados.
- Identificar grupos de motores fallados por marca.
- Elaborar un perfil para cada grupo de motores (conglomerados).
- Identificar la falla más común para un grupo de motores.

#### **II.2.7.5. Análisis por regresión múltiple.**

Se utiliza para construir una ecuación que representa a una variable observada con la mejor combinación del peso que cada variable aporta en la medición. Permite predecir los valores de una variable a partir de los valores observados en otra.

Cuando dos variables se correlacionan de manera significativa esto se puede representar sobre un eje de coordenadas en la que cada variable se representa sobre cada uno de los ejes. La relación entre ambas variables puede ser determinada por medio de una ecuación lineal que permita predecir el valor de una variable observada a partir de una variable previctoria. El valor de la pendiente de esa línea recibe el nombre de coeficiente  $b$ .

Cuando se consideran más de dos variables, cada una tiene su coeficiente  $b$  el cual se puede estandarizar para obtener el coeficiente beta. Una vez determinados los coeficientes beta es posible correlacionar el conjunto de valores



compuestos derivados de una estandarización y los valores de la variable en estudio. Esta correlación compuesta se denomina Coeficiente de Correlación múltiple "R".

Tal como en las correlaciones simples, al elevar al cuadrado el coeficiente de correlación entre dos variables se determina la proporción de la varianza en una variable atribuible o predecible a partir de otra. El valor de R elevado al cuadrado representa la proporción de varianza en la variable criterio que puede ser predicha a partir de la varianza conjunta de las variables previctorias. En este sentido, se considera  $R > 0,850$  aceptables para establecer una variable criterio a partir de variables predictorias.

En esta investigación permite por ejemplo:

- Posibilidad de falla de acuerdo al tipo de proceso productivo y potencia del motor.
- En futuras investigaciones permitiría levantar información como: posibilidad de falla de un motor de acuerdo a la ubicación, fecha de instalación y marca.

En la presente investigación serán ejecutados los cuatro análisis estadísticos mencionados anteriormente. Luego del procesamiento de la información y de la correspondiente verificación de márgenes de error, se establecerán las conclusiones referentes a su aplicación.



## **CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.**

En este capítulo se indican el tipo de investigación realizada y describe el conjunto de pasos ordenados para ejecutar la investigación, y que permitieron la obtención y clasificación de la información y la forma de organizar la información necesaria para obtener la solución al problema planteado.

### **III.1 CLASIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

El presente trabajo consiste en un estudio exploratorio, el cual sirve para familiarizarse con conceptos o fenómenos desconocidos, *"cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes"* Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999, p. 58). Según Dankhe, (1986) las investigaciones exploratorias *"por lo general determinan tendencias, identifican relaciones potenciales entre variables y establecen el "tono" de investigaciones posteriores más rigurosas"* (p.412). Por las actividades a realizar, enfocadas hacia el levantamiento de información mediante la aplicación de conocimientos la caracterizan como un proyecto factible tipo exploratorio.

### **III.2 DISEÑO DE LAS FASES METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACION.**

**Fase I:** Identificar los tipos de fallas en motores de inducción que se presentan comúnmente.

**Fase I.1:** Verificar las partes del motor de inducción para identificar los puntos de falla. Para completar esta fase se realiza la investigación bibliográfica que permite identificar las partes constitutivas del motor de inducción.

**Fase I.2:** Identificar los puntos de fallas que registran comúnmente las Empresas de reparación de motores de inducción. Para esta identificación



se usa la técnica de muestra dirigida, ya que se desea obtener una elección controlada de características que según Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999) será obtenida de sujetos expertos (muestra de expertos). En este caso se consulta una (1) empresa de reparación y mantenimiento de motores de inducción con experiencia comprobada y reconocida en este tipo de servicio la cual desarrolla su actividad comercial en la zona geográfica en estudio. Esta consulta es suficiente para validar el instrumento utilizado en la presente investigación.

**Fase I.3:** Elaborar los instrumentos de recolección de datos que determinarán las fallas más comunes en motores de inducción de las empresas del sector industrial seleccionadas, inscritas en el CIEC. La selección de las empresas a investigar también se realiza con la técnica de muestra dirigida, ya que la información a recopilar será obtenida de sujetos expertos en el tipo de proceso industrial del cual se pretende obtener la información.

**Fase II:** Recopilar y clasificar la información del sector industrial del Estado Carabobo.

**Fase II.1:** Aplicar los instrumentos de recolección de datos a las empresas de la selección muestral. Para la aplicación de los instrumentos se contactaron cada una de las empresas seleccionadas verificando en entrevista previa que la información podía ser suministrada y el personal que suministraría la información estaría debidamente capacitado para suministrar la misma. Esta fase contempla un tiempo de conformación, agrupamiento y procesamiento de la información bajo los instrumentos elaborados ya que las empresas que suministran la información no tienen los mismos procedimientos de recopilación de información. En algunos



casos la información fue suministrada en los formatos propios de las empresas y luego transferida la información al formato del instrumento de recopilación de información, mientras que en otros casos la información fue directamente levantada en la empresa con el instrumento.

**Fase II.2:** Para analizar la información recopilada, una vez depurada, se usa el software de Microsoft SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows, versión 10.1. Toda la información recopilada en los instrumentos de recolección de datos es transcrita a un archivo del programa para ser analizada.

**Fase III:** Determinar fallas comunes por sector industrial, promedio de gastos de las industrias en programas de mantenimiento, distribución estadística de fallas del motor de inducción, análisis de correlaciones, factorial, de regresión, etc. Una vez analizada la data se presentan los resultados objetos de este estudio.

### III.3 UNIDAD DE ESTUDIO Y DE ANÁLISIS

- **Unidad de Análisis:** Como el objetivo de análisis consiste en determinar las fallas más comunes en el sector industrial del Estado Carabobo y establecer relaciones con respecto al proceso productivo se establece como unidad de análisis a los grupos de empresas o industrias que requieren el uso de motores de inducción.
- **Población:** 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 corresponden a doscientos



cincuenta y siete (257) empresas las cuales se discriminan de acuerdo a sus procesos productivos en la tabla a continuación:

**Tabla III.1. Distribución de Empresas por Sector en el Edo. Carabobo**

SECTOR	CANTIDAD DE EMPRESAS
<b>Papelero</b>	<b>8</b>
<b>Farmacéutico</b>	<b>3</b>
<b>Automotriz - Ensambladora</b>	<b>5</b>
<b>Automotriz – Autopartista</b>	<b>23</b>
<b>Alimentos</b>	<b>25</b>
<b>Petrolero</b>	<b>24</b>
<b>Otros</b>	<b>169</b>
<b>TOTAL</b>	<b>257</b>

Fuente: Cámara de Industriales del Estado Carabobo.

Los sectores se conforman de acuerdo a lo siguiente:

Sector Papelero: Las empresas y/o industrias de manufactura de papel, cartones y derivados del papel.

Sector Farmacéutico: Las industrias de manufactura de productos farmacéuticos.

Automotriz Ensambladora: Las industrias ensambladoras de vehículos compactos o de carga.

Automotriz Autopartista: Las industrias fabricantes y comercializadoras de partes de vehículos.

Alimentos: Las industrias de manufacturas de productos alimenticios. Fueron incluidas las empresas que fabrican envases para los alimentos.

Sector Petrolero: Corresponde a las empresas de producción y manufactura de productos derivados del petróleo. Para este trabajo no fue recabada la información del sector Petrolero.



Otros: Todas las industrias y empresas no incluidas en los sectores productivos anteriores.

- **Muestra:** El tipo de muestra seleccionado para este estudio es la muestra “no probabilística” o muestra dirigida. Aunque con la muestra no probabilística no se puede hacer inferencia sobre la población se selecciona para este estudio por las siguientes razones: a) recoge controladamente la información de empresas con características específicas, en vez de buscar información para obtener la representatividad de todas las empresas o industrias de la población definida sin considerar el tipo de proceso productivo, b) razones prácticas de aplicación en el tiempo de investigación y de recursos, y c) 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.

### **III.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

#### **III.4.1. Instrumentos de Recolección de datos.**

Los Instrumentos de Recolección de Datos han sido diseñados siguiendo los pasos según Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999) los cuales consisten en lo siguiente:

- a) Listar las variables que se pretenden medir o listar.
- b) Revisar su definición conceptual y comprender su significado.
- c) Revisar las definiciones operacionales de las variables.
- d) Elegir un instrumento que haya sido favorecido por la comparación y adaptarlo al contexto de esta investigación.
- e) Seleccionar el nivel de medición de cada ítem.
- f) Realizar una prueba piloto.



- g) Realizar los ajustes y mejoras para verificar los ajustes de confiabilidad y validez de los instrumentos.

Tal como fue mencionado en la Fase I.2, la comparación con un instrumento existente fue realizada a través de la consulta a una empresa de reparación y mantenimiento de motores de inducción con experiencia comprobada y reconocida en este tipo de servicio. Fueron seleccionados los niveles de medición de cada ítem. Se realizó una prueba piloto en una empresa del sector alimentos y se efectuaron los ajustes.

Los instrumentos finalmente aplicados son dos (2):

1. Planilla Tipo A: Recolección de datos generales de la industria. Se presenta en el Anexo N° 1.
2. Planilla Tipo B: Recolección de datos de los motores fallados de la industria. Se presenta en el Anexo N° 2.

La confiabilidad y la validez de los instrumentos de recolección de datos son determinadas de acuerdo a la técnica de juicio de experto indicada en la Fase I.2.

### **III.4.2 Análisis e Interpretación de Datos**

La información recabada es analizada de acuerdo a las exigencias de cada fase metodológica. En el análisis de la información se indica por cada fase el grado de error, confiabilidad y validez al procesar los datos.

Una vez recopilada la información se realiza la revisión, agrupamiento y clasificación de la información.



Para procesar los datos obtenidos se ingresa la información en el software SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versión 10.1, para sistemas Windows. Este programa estadístico desarrollado en la Universidad de Chicago es uno de los más difundidos según Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999, p. 418). En Venezuela es utilizado por empresas como Datanálisis, C.A. Electricidad de Caracas y C.A. Electricidad de Valencia.

Se realizó una descripción de los resultados estadísticos de cada variable mediante tablas, gráficos, diagramas y/o cuadros.



## **CAPITULO IV. DETERMINACIÓN DE INDICES DE FALLAS MÁS COMUNES EN MOTORES DE INDUCCIÓN.**

En este capítulo se presentan los resultados y análisis de los mismos una vez realizado el procesamiento de la información. Tal como se menciona en el capítulo anterior fueron aplicados dos (2) instrumentos de Recolección de datos en las industrias.

Con el instrumento tipo A (Anexo N° 1) se busca obtener datos generales de la empresa que pueda aportar información acerca del ambiente de los motores tales como sector de producción de la empresa, cantidad de unidades instaladas, aplicación de programas de mantenimiento, monto en Bolívares del gasto en programas de mantenimiento y si la empresa está certificada con alguna Norma de Calidad.

Con el instrumento tipo B (Anexo N° 2) se busca obtener datos generales de las unidades falladas tales como potencia, velocidad, tensión, fases, clase, ubicación, marca, punto de falla, cantidad de reparaciones en el año. Aunque al principio el instrumento había sido diseñado para obtener la fecha de instalación de los motores de inducción, ninguna de las empresas suministró esta información. Sin embargo, la empresa que suministró los datos del sector de alimentos manifestó voluntad de mantener actualizada la información de acuerdo al instrumento tipo B con lo cual se podrá mantener actualizado el estudio y conformar histogramas por cada motor.

A continuación se presentan los datos y resultados estadísticos obtenidos de las evaluaciones realizadas en la presente investigación.



#### **IV.1 Selección de las empresas.**

A continuación se indican los sectores de las empresas que suministraron la información de este estudio:

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

<b>Sector</b>	<b>Nº de Empresas</b>	<b>Nº de motores fallados</b>
Papelero	3	39
Ensambladora	1	11
Autopartista	1	11
Alimentos	1	12
Total	6	73

#### **IV.2 Organización y procesamiento de la información.**

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. Estas bases de datos se presentan en los anexos N° 3 y 4 respectivamente.

#### **IV.3 Incorporación de datos en el programa estadístico.**

Las bases de datos son incorporadas al programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versión 10.1 para su procesamiento.

En esta etapa se convierte toda la información adquirida en variables numéricas para que sean procesadas por el programa. Las informaciones que fueron transformadas fueron las siguientes:



1. Instrumento de Recolección de datos de la empresa: Sector del proceso productivo, cantidad de unidades, programa de mantenimiento preventivo, correctivo, reemplazo y certificaciones de calidad.

**Tabla IV.2. Tabla de conversión de datos Formato tipo A a datos numéricos.**

DATOS CONVERTIDOS	1	2	3	4
Sector	Papelero	Autopartista	Alimentos	Ensambladora
Cantidad de unidades	≤500 motores	Entre 500 y 1000 motores	Entre 1000 y 2000 motores	Entre 2000 y 4000 motores
Mantenimiento preventivo	Entre 0 y 25%	Entre 25 y 50%	Entre 50 y 75%	Entre 75 y 100%
Mantenimiento Correctivo	Entre 0 y 5%	Entre 5 y 10%	Entre 10 y 15%	> 15%
Reemplazo	Entre 0 y 5%	Entre 5 y 10%	Entre 10 y 15%	> 15%
Posee Certificación	Si	No	----	----

2. Instrumento de Recolección de datos de motores de inducción fallados: Clase, ambiente, marca, fallas en estator, rotor, tapas de transmisión y reparaciones.

**Tabla IV.3. Tabla de conversión de datos Formato tipo B a datos numéricos.**

DATOS CONVERTIDOS	1	2	3	4	5	6
Clase	A	B	C	D	---	---
Ambiente	Externo	Interno	---	---	---	---
Fallas en estator	Devanados	Núcleo	Suj. Núc.	Bornera	Otros	---
Fallas en rotor	Eje	Anillos J.	Núcleo	Bridas	Barras J.	Otros
Fallas en tapas	Cojinetes	Suj. Coj.	Tapas	Ventil.	Bocinas	Babitts

**Tabla IV.4. Tabla de conversión de datos de marca a datos numéricos.**

<b>MARCA</b>	<b>#</b>	<b>MARCA</b>	<b>#</b>
DIETZ MOTOREN	<b>1</b>	MABEG	<b>10</b>
BAUMULLER NURMBERG	<b>2</b>	DEMAG	<b>11</b>
WEG	<b>3</b>	SIEMENS	<b>12</b>
WESTHINGHOUSE	<b>4</b>	SEW	<b>13</b>
RELIANCE	<b>5</b>	SCHORCH	<b>14</b>
US ELECT MOTORS	<b>6</b>	BBC	<b>15</b>
BAWER	<b>7</b>	LEESONS	<b>16</b>
ABB	<b>8</b>	WESTING.	<b>17</b>
GRAYMILLS	<b>9</b>	US MOTOR	<b>18</b>

#### **IV.4 Resultados y Análisis de Resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo A.**

Una vez incorporados los datos de la empresa se obtienen los resultados que se muestran en la tabla IV.5.

En la misma se observan el número de datos analizados válidos (6 empresas que suministraron información con el formato tipo A), los valores de media, mediana y moda, desviación estándar y varianza para cada renglón de información. Los renglones de información de acuerdo a la tabla son: 1) número de motores instalados en la empresa, 2) posee o no certificación de calidad, 3) porcentaje de motores a los cuales se les realiza mantenimiento correctivo, 4) monto destinado a programas de mantenimiento, 5) porcentaje de motores al cual se le realiza mantenimiento preventivo, y 6) porcentaje de motores que se reemplazaron.



**Tabla IV.5. Resultados Estadísticos de la información recopilada con el instrumento tipo A.**

**Estadísticos**

	N		Media	Mediana	Moda	Desv. típ.	Varianza
	Válidos	Perdidos					
Nº MOTORES	6	0	2,33	2,50	1 <sup>a</sup>	1,21	1,47
CERTIFICAC	6	0	1,50	1,50	1 <sup>a</sup>	,55	,30
MCORR	6	0	2,33	2,00	1 <sup>a</sup>	1,37	1,87
MONTO	6	0	4,8E+07	5,0E+07	7000000 <sup>a</sup>	3,6E+07	1,3E+15
mprove	6	0	3,00	3,50	4	1,26	1,60
REEMPLAZO	6	0	1,33	1,00	1	,82	,67

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

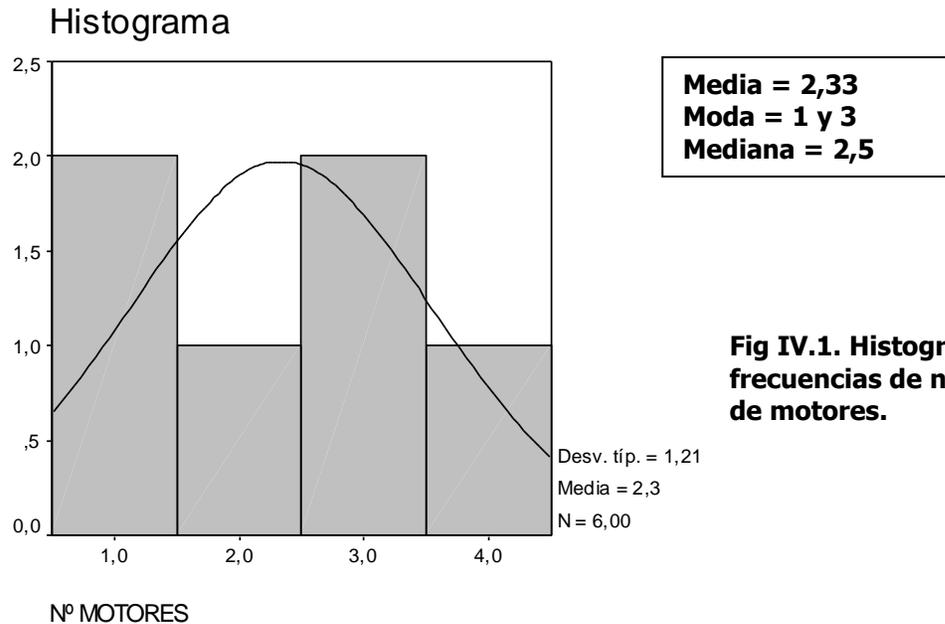
#### **IV.4.1 Número de motores por empresa.**

En la tabla IV.6 se presentan las frecuencias y porcentajes que reflejan los rangos de unidades que presentan instaladas las industrias.

**Tabla IV.6. Tabla de frecuencias de Nº de motores en las empresas.**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos <500 UNIDADES	2	33,3	33,3	33,3
ENTRE 500 Y 1000	1	16,7	16,7	50,0
ENTRE 1K Y 2K	2	33,3	33,3	83,3
ENTRE 2K Y 4K	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	
Total	6	100,0		

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



**Fig IV.1. Histograma de frecuencias de número de motores.**

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 motores.

#### **IV.4.2 Empresas con certificaciones de Calidad.**

Las empresas certificadas corresponden en igual proporción con las no certificadas.

**Tabla IV.7. Tabla de frecuencias de certificación de las empresas.**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos SI	3	50,0	50,0	50,0
NO	3	50,0	50,0	100,0
Total	6	100,0	100,0	
Total	6	100,0		



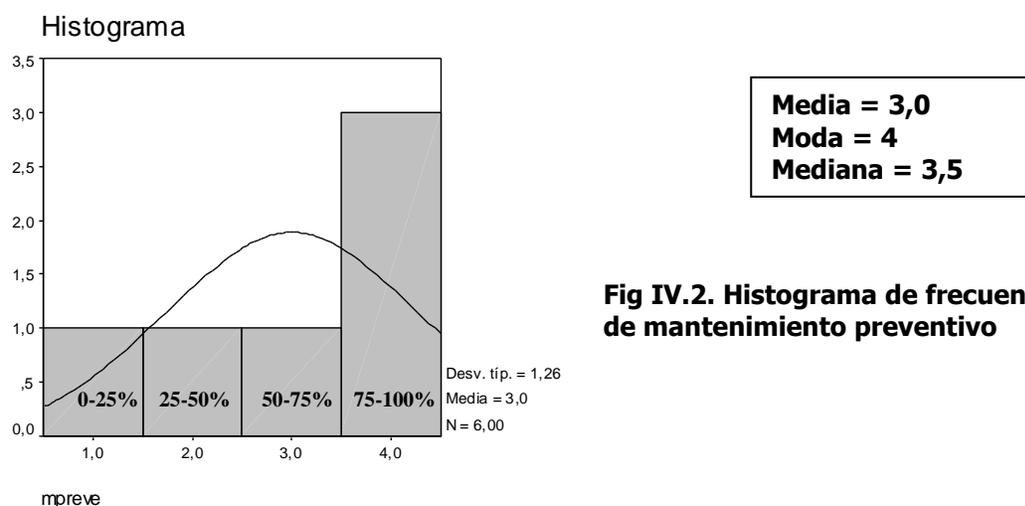
### IV.4.3 Ejecución de programas de mantenimiento preventivo a motores.

En la tabla IV.8 se presentan los porcentajes respecto a las unidades instaladas que son sometidos a programas de mantenimiento preventivo.

**Tabla IV.8. Tabla de frecuencias de programas de mantenimiento preventivo.**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	ENTRE 0 Y 25%	1	16,7	16,7	16,7
	ENTRE 25 Y 50%	1	16,7	16,7	33,3
	ENTRE 50 Y 75%	1	16,7	16,7	50,0
	ENTRE 75 Y 100%	3	50,0	50,0	100,0
	Total	6	100,0	100,0	
Total		6	100,0		

En la misma tabla se observa que el 50% de las empresas estudiadas realizan mantenimiento preventivo a más del 75% de los motores instalados.





De acuerdo a la Fig. IV.2. 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).

#### **IV.4.4 Ejecución de mantenimiento correctivo a motores.**

En la tabla IV.9 se presentan los porcentajes respecto a las unidades instaladas que le fueron realizados mantenimiento correctivo.

**Tabla IV.9. Tabla de frecuencias de mantenimiento correctivo.**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	ENTRE 0 Y 5%	2	33,3	33,3	33,3
	ENTRE 5 Y 10%	2	33,3	33,3	66,7
	>15%	2	33,3	33,3	100,0
	Total	6	100,0	100,0	
Total		6	100,0		

El 66,7% de las empresas estudiadas realizaron mantenimiento correctivo a menos del 10% de sus motores instalados.

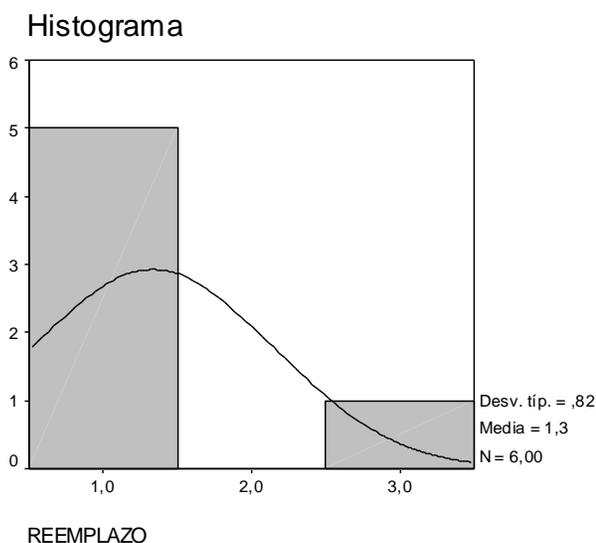
#### **IV.4.5 Reemplazo de motores.**

En la tabla IV.10 se presentan los porcentajes respecto a las unidades instaladas que fueron reemplazadas.

**Tabla IV.10. Tabla de frecuencias de reemplazos.**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos ENTRE 0 Y 5%	5	83,3	83,3	83,3
ENTRE 10 Y 15%	1	16,7	16,7	100,0
Total	6	100,0	100,0	
Total	6	100,0		

El 83,3% de las empresas estudiadas realizaron 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.



**Media = 1,33**  
**Moda = 1**  
**Mediana = 1,0**

**Fig IV.3. Histograma de frecuencias reemplazos.**

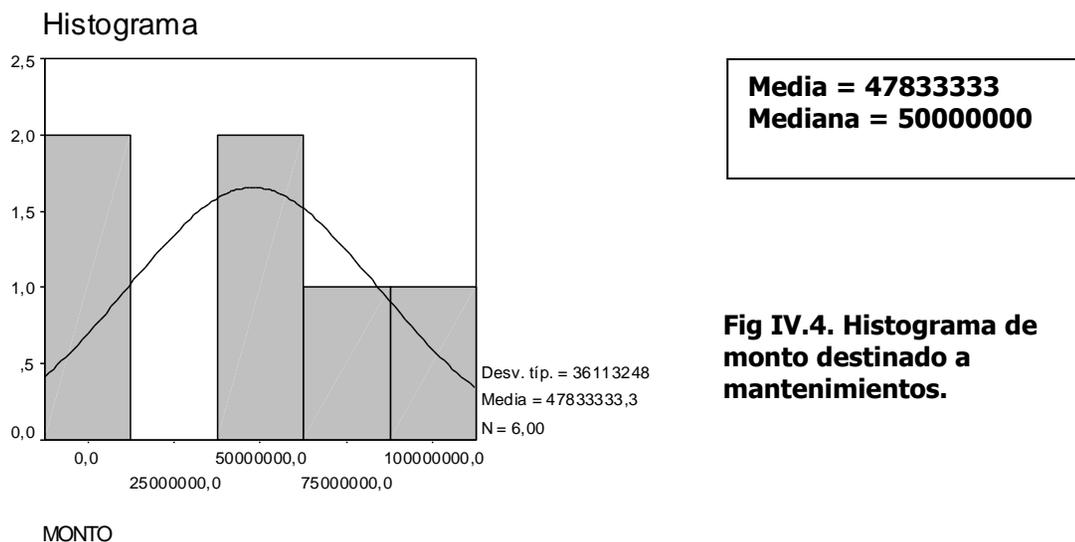
#### **IV.4.6 Monto de Bolívares destinados a programas de mantenimiento.**

En la tabla IV.11 se presentan los montos destinados a programas de mantenimiento por las empresas:

**Tabla IV.11. Tabla de frecuencias de montos invertidos en programas de mantenimiento.**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	7000000,00	1	16,7	16,7	16,7
	10000000,00	1	16,7	16,7	33,3
	40000000,00	1	16,7	16,7	50,0
	60000000,00	1	16,7	16,7	66,7
	70000000,00	1	16,7	16,7	83,3
	100000000,00	1	16,7	16,7	100,0
	Total	6	100,0	100,0	
Total		6	100,0		

El 50,1% de las empresas estudiadas destinan anualmente entre 40 y 70 millones de Bolívares o su equivalente en dólares americanos de 25.000\$ USA a 43.750\$ USA en programas de mantenimiento de sus motores.

**Fig IV.4. Histograma de monto destinado a mantenimientos.**

#### **IV.5 Resultados de la estadística descriptiva de la información recopilada con el instrumento tipo B.**

En el análisis a continuación se observan el número de datos analizados válidos correspondiente a 73 datos de motores fallados recopilados con el formato tipo B.



Los valores de media, mediana y moda, desviación estándar y varianza para cada renglón de información, así como la frecuencia de partes falladas discriminada por cada renglón se presentan en el anexo N° 5.

A continuación en la tabla IV.12 se presenta el resumen de frecuencias de partes falladas en los motores de inducción obtenidos en la presente investigación:

**Tabla IV.12. Tabla de frecuencias de partes falladas de los motores en estudio.**

<b>PARTES FALLADAS DEL MOTOR DE INDUCCIÓN</b>		<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE DE FALLA</b>
<b>Estator</b>	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%
<b>Rotor</b>	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%
<b>Tapas</b>	Rodamientos	52	71,2%
	Sujetador Cojinete	2	2,7%
	Bocina	1	1,4%
	Ventilador	2	2,7%
	Tapas	43	58,9%
	Babbitts	0	0%

En la tabla anterior se observa lo siguiente:

- Las partes falladas no son excluyentes. Es decir, pueden existir varias partes dañadas en un motor que ha fallado. En este sentido, 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, U (2003) recoge información de fallas en bridas, jaula de ardilla y babitts para una empresa del sector papelerero.

#### **IV.6 Resultados del análisis factorial.**

En el anexo N° 6 se presenta la matriz de correlaciones entre las variables: partes de motores que fallaron. 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.

En el anexo N° 7 se presenta la matriz de correlaciones entre todas las variables incluyendo las recopiladas en el instrumento de recopilación de información 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. Esto sugiere que los datos tomados como comportamiento de las empresas hacia los programas de mantenimiento no permiten relacionar el ambiente con las fallas en el motor de inducción.

#### **IV.7 Resultados del análisis discriminante.**

Con este análisis se trata de obtener 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. Los resultados del análisis discriminante se presentan en el anexo N° 8.

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 función N° 1. En este caso se escoge la función 1 como la función que permite predecir a qué sector pertenece un motor. La función 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 son similares al valor del centroide del sector se obtiene la procedencia del motor.



#### **IV.8 Resultados del análisis por conglomerado.**

Efectuando el análisis por conglomerados (ver Anexo N° 9) 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. De acuerdo al anexo N° 10 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. De acuerdo al anexo N° 11 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.

Estos son los grupos diferenciados que se identifican por la data recopilada, donde el grupo 1 corresponde al 65,8% de los casos de motores fallados y el grupo 2 corresponde con el 34,2%.



#### **IV.9 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 del Anexo N° 12 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.



## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **V.1 CONCLUSIONES**

Se alcanzaron los fines propuestos para el desarrollo de la presente investigación planteados en el objetivo general. 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.

De acuerdo a la tabla de frecuencias 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 porcentaje es de 50 – 50 para ambas.

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 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.



Por otra parte, los costos que las empresas seleccionadas destinan para el mantenimiento preventivo indican que los montos oscilan entre 40 y 70 millones de bolívares o su equivalente en dólares americanos de 25.000\$ USA a 43.750\$ USA.

Del análisis factorial se obtienen las variables que guardan relación entre sí de acuerdo a la información recopilada para este estudio. Estos corresponden para las partes que fallan 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. Las fallas en rodamientos están correlacionados con las fallas en las tapas.

Cuando se consideran todas las variables en el estudio, las correlaciones son: 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. Existe correlaciones de variables entre el mantenimiento correctivo con la certificación y los reemplazos, y también existe correlación entre el sector y la certificación de calidad.

La muestra analizada no permite establecer relación entre el comportamiento de las empresas hacia los programas de mantenimiento (datos de ambiente) con las fallas en el motor de inducción.

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.



Del análisis por conglomerados se obtiene dos perfiles claramente identificados de los motores que fallan donde se identifican sus características típicas de marca, potencia (HP), sector, velocidad (RPM) y ubicación (externo - interno).

En el caso de regresión múltiple los modelos obtenidos no presentan valores suficientes para establecer la función objetivo.

Algunos de los obstáculos que presentó el desarrollo de esta investigación lo constituyó la situación de las empresas e industrias desde el último trimestre del año 2002 hasta el primer trimestre del año 2003 y la condiciones económicas generales referidas a la disponibilidad de divisas principalmente. Estas variables afectaron el acceso a las empresas y ejecución del plan inicial.

Sin embargo, los obstáculos no afectan los resultados de esta investigación que se encuentra delimitada en tiempo, espacio y contenido. En este sentido, aunque la universalidad y la inferencia estadística están limitadas por las condiciones de la técnica de muestreo sirve de base para la continuación de los estudios que requiere la línea de investigación "Mantenimiento Predictivo en sistemas y Equipos".

Los resultados obtenidos servirán para definir el estudio de técnicas en la determinación incipiente de fallas, aplicado a la problemática regional para la elaboración de programas de mantenimiento predictivo enfocados en los datos suministrados por este estudio y en el tipo de proceso productivo de cada empresa específicamente si son de los sectores automotriz, petrolero, papelerero y alimentos. Por lo tanto, las empresas de esos sectores serán las más beneficiadas con el desarrollo de programas de mantenimiento predictivo que incorporen los resultados de este estudio.



La investigación realizada por su carácter exploratorio no involucra un diseño que pueda ser comercializado. Sin embargo, se ha logrado un acercamiento hacia el sector industrial donde se intercambiaron necesidades para futuros intercambios de apoyos entre las empresas y la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

## **V.2 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 utilizando el procedimiento de números aleatorios para la selección de los elementos muestrales (empresas e industrias) que aseguren la aleatoriedad necesaria para considerar que cada elemento tiene la misma probabilidad de ser elegido de acuerdo a Hernández Sampieri, Fernández, Baptista (1999, p.216).

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. (1992, p. 10) 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 e indican que la determinación de la intensidad para un ambiente o motor debe ser producto de la observación histórica de los períodos de operación entre reparaciones. 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.



Por otra parte, de acuerdo al análisis presentado por el Dr. Alfredo Muñoz (2002) en el Capítulo II, la investigación puede ser ampliada hacia el uso de técnicas de pronóstico para determinar histogramas de probabilidad de falla en motores que estén sometidos a condiciones ambientales y de esfuerzos mecánicos similares.

En este mismo sentido, 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 se recomienda que estos ensayos sean realizados de acuerdo a lo indicado en el apéndice Nº 3 (Motor Testing) y verificados los resultados de acuerdo a la norma NEMA IPact (apéndice Nº 2). También deben registrarse las fallas ocurridas en ese lapso de acuerdo al instrumento de recolección de datos propuesto en esta investigación (anexo Nº 2).

Con lo anterior, se elaborarán los histogramas de frecuencia de fallas de motores de inducción y asociarlas a las condiciones de funcionamiento arrojadas por el mantenimiento preventivo.

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

Finalmente, se recomienda reforzar el vínculo logrado con las empresas y ampliar el estudio hacia otros sectores, conformando grupos de trabajo que ofrezcan asistencia permanente a los problemas de la industria, de manera de impulsar la autogestión en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. 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, Nº 4, Julio.
2. Catálogo de Industrias IEM. Selección del motor de acuerdo con el medio ambiente de operación. Obtenido en la Red el 20 de Noviembre de 2003. <http://www.condumex.com.mx/energia/iem/Default.asp>.
3. Chapman, Stephen J (2000). *Máquinas Eléctricas* (3ª edición). McGraw Hill Interamericana, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
4. CIEC- Directorio telefónico. Obtenido en la Red el 23 de Septiembre de 2003. <http://www.ciec.org.ve/directorio/default4.asp>.
5. Enciclopedia CEAC de Electricidad (1973). *Máquinas de Corriente Alterna*. (1ª edición). Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, España.
6. Federal register (1999). Energy Efficiency and renewable energy 10 CFR Part 431, part III.
7. Fernández, García, Alonso, Cano, Solares. *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. (1ª edición). Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, España.
8. Fink, Wayne, Carroll (1989). Manual práctico de electricidad para ingenieros. (11ª edición). Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.
9. 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.
10. Gray, Clifford (1997). *Máquinas eléctricas y sistemas accionados*. (1ª edición). Alfaomega Grupo Editor, S.A., DF, México.



11. Hernández Sampieri, Fernández, Baptista. (1999). Metodología de la investigación. (1ª edición) Mc Graw-Hill, DF, México.
12. IEEE Standard Induction Motor Setter Symbols. 58-1978, Rotating Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society.
13. Jaramillo, Miguel (2003). Métodos convencionales y no convencionales para la detección de fallas en motores de inducción. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, Universidad de Carabobo.
14. Kosow, Irving (1991). Máquinas Eléctricas y Transformadores. (2ª edición). Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Naucaplan de Juárez, México.
15. Millar, I-Freund, J- Johnson, R (1992). Probabilidad y Estadística para Ingenieros. (4ta Edición). Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Naucaplan de Juárez, México.
16. 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.
17. Montgomery, D-Runger, G (1996). Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. (1ª edición) Mc Graw-Hill, Interamericana, México.
18. 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.
19. National Electrical Manufacturers Association (Nema Standards Publication Application Guide AC Adjustable Speed Drive Systems). 1300 N. 17 Street, Suite 1847 Rosslyn, VA 22209
20. 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.

21. Richardson, D.-Caisse, A. (1997). Máquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores (4ta Edición). Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Naucaplan de Juárez, México.
22. Rosenberg, R. (1976). Reparación de motores eléctricos. (7ma Edición). Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona, España.
23. Spiegel, M. – Schiller, J. – Srinivasan, R (2001). Probabilidad y Estadística. (2da Edición). Editorial Mc Graw-Hill, Bogotá, Colombia.



# ANEXOS





**ANEXO Nº3. DATOS EMPRESAS**

RAMO	EMPRESA	Nº DE UNID.	MPREV	MC	REEMPLAZO	CERTIF.	BS. PROG MTTO
1	MANPA SACOS	1	2	4	1	2	10.000.000,00
1	MANPA RESMAS	1	1	1	1	2	7.000.000,00
1	VENEPAL	4	4	4	3	2	70.000.000,00
4	FORD	3	4	1	1	1	100.000.000,00
2	FIRESTONE	3	3	2	1	1	60.000.000,00
3	MAVESA	2	4	2	1	1	40.000.000,00



**ANEXO N° 5. Frecuencias de partes falladas en motores de inducción.****Estadísticos**

	N		Media	Mediana	Moda	Desv. típ.	Varianza	Mínimo	Máximo
	Válidos	Perdidos							
BOCIN	73	0	1,37E-02	,00	0	,12	1,37E-02	0	1
BORNERA	73	0	2,74E-02	,00	0	,16	2,70E-02	0	1
EJE	73	0	,12	,00	0	,33	,11	0	1
ESTDEV	73	0	,51	1,00	1	,50	,25	0	1
ESTNUC	73	0	,32	,00	0	,47	,22	0	1
ESTSUJ	73	0	,23	,00	0	,43	,18	0	1
RODAM	73	0	,71	1,00	1	,46	,21	0	1
ROTBARRA	73	0	1,37E-02	,00	0	,12	1,37E-02	0	1
SUJET	73	0	2,74E-02	,00	0	,16	2,70E-02	0	1
TAPA	73	0	,59	1,00	1	,50	,25	0	1
VENTILAD	73	0	2,74E-02	,00	0	,16	2,70E-02	0	1
OTROS	73	0	5,48E-02	,00	0	,23	5,25E-02	0	1

**Tabla de frecuencia BOCIN**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	72	98,6	98,6	98,6
1	1	1,4	1,4	100,0
Total	73	100,0	100,0	
Total	73	100,0		

**Tabla de frecuencia BORNERA**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	71	97,3	97,3	97,3
1	2	2,7	2,7	100,0
Total	73	100,0	100,0	
Total	73	100,0		

**Tabla de frecuencia EJE**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	64	87,7	87,7	87,7
1	9	12,3	12,3	100,0
Total	73	100,0	100,0	
Total	73	100,0		

**Tabla de frecuencia ESTDEV**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	36	49,3	49,3	49,3
	1	37	50,7	50,7	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia ESTNUC**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	50	68,5	68,5	68,5
	1	23	31,5	31,5	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia ESTSUJ**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	56	76,7	76,7	76,7
	1	17	23,3	23,3	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia RODAM**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	21	28,8	28,8	28,8
	1	52	71,2	71,2	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia ROTBARRA**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	72	98,6	98,6	98,6
	1	1	1,4	1,4	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia SUJET**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	71	97,3	97,3	97,3
	1	2	2,7	2,7	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia TAPA**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	30	41,1	41,1	41,1
	1	43	58,9	58,9	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia VENTILAD**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	71	97,3	97,3	97,3
	1	2	2,7	2,7	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		

**Tabla de frecuencia OTROS**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	69	94,5	94,5	94,5
	1	4	5,5	5,5	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		







**ANEXO Nº 9. Análisis por Conglomerados. Perfiles de grupo.****Historial de conglomeración**

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
1	1	9	1,414	0	0	2
2	1	12	1,626	1	0	3
3	1	10	1,724	2	0	4
4	1	2	1,781	3	0	5
5	1	7	1,942	4	0	6
6	1	3	2,274	5	0	8
7	5	6	2,449	0	0	8
8	1	5	3,228	6	7	10
9	8	11	3,317	0	0	11
10	1	4	3,734	8	0	11
11	1	8	4,717	10	9	0

**Conglomerado de pertenencia**

Caso	2 conglomerados
BOCIN	1
BORNERA	1
EJE	1
ESTDEV	1
ESTNUC	1
ESTSUJ	1
OTROS	1
RODAM	2
ROTBARRA	1
SUJET	1
TAPA	2
VENTILAD	1

**Tabla de frecuencia C12**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1,00	48	65,8	65,8	65,8
	2,00	25	34,2	34,2	100,0
	Total	73	100,0	100,0	
Total		73	100,0		



## ANEXO N° 10. Perfiles de grupo 1. Frecuencias

### Estadísticos

	N		Media	Mediana	Moda	Desv. típ.	Varianza
	Válidos	Perdidos					
HP	48	0	157,098	22,500	,5	402,331	161870,3
MARCA	48	0	9,6667	9,5000	9,00	3,2573	10,6099
RPM	48	0	1797,2917	1710,0000	1800,00	1000,5753	1001151
Sector	48	0	1,9583	1,5000	1,00	1,1478	1,3174
UBIC	48	0	1,06	1,00	1	,24	5,98E-02

### Tabla de frecuencia MARCA

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	DIETZ	1	2,1	2,1	2,1
	NURMBEI	1	2,1	2,1	4,2
	WEG	2	4,2	4,2	8,3
	BAWER	1	2,1	2,1	10,4
	GENERAL ELECTRIC	1	2,1	2,1	12,5
	GRAYMILLS	1	2,1	2,1	14,6
	MABEG	1	2,1	2,1	16,7
	DEMAG	1	2,1	2,1	18,8
	SIEMENS	15	31,3	31,3	50,0
	LEESONS	1	2,1	2,1	52,1
	WESTHING	11	22,9	22,9	75,0
	US MOTOR	4	8,3	8,3	83,3
	BBC	4	8,3	8,3	91,7
	RELIANCE	2	4,2	4,2	95,8
	WEG	1	2,1	2,1	97,9
	ABB	1	2,1	2,1	100,0
	Total	48	100,0	100,0	
Total		48	100,0		



Tabla de frecuencia HP

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,1	1	2,1	2,1	2,1
,2	1	2,1	2,1	4,2
,5	5	10,4	10,4	14,6
1,0	2	4,2	4,2	18,8
2,0	1	2,1	2,1	20,8
3,0	1	2,1	2,1	22,9
4,0	1	2,1	2,1	25,0
4,9	1	2,1	2,1	27,1
5,0	1	2,1	2,1	29,2
5,5	1	2,1	2,1	31,3
6,0	1	2,1	2,1	33,3
6,5	1	2,1	2,1	35,4
8,0	1	2,1	2,1	37,5
9,0	1	2,1	2,1	39,6
10,0	4	8,3	8,3	47,9
20,0	1	2,1	2,1	50,0
25,0	2	4,2	4,2	54,2
30,0	2	4,2	4,2	58,3
44,0	1	2,1	2,1	60,4
69,0	1	2,1	2,1	62,5
74,0	1	2,1	2,1	64,6
75,0	1	2,1	2,1	66,7
86,0	1	2,1	2,1	68,8
100,0	1	2,1	2,1	70,8
150,0	4	8,3	8,3	79,2
216,0	1	2,1	2,1	81,3
248,0	1	2,1	2,1	83,3
250,0	2	4,2	4,2	87,5
300,0	3	6,3	6,3	93,8
400,0	1	2,1	2,1	95,8
2000,0	2	4,2	4,2	100,0
Total	48	100,0	100,0	
Total	48	100,0		



Tabla de frecuencia RPM

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válid	50,00	1	2,1	2,1	2,1
os	710,00	1	2,1	2,1	4,2
	800,00	1	2,1	2,1	6,3
	875,00	3	6,3	6,3	12,5
	877,00	1	2,1	2,1	14,6
	884,00	1	2,1	2,1	16,7
	885,00	1	2,1	2,1	18,8
	890,00	1	2,1	2,1	20,8
	900,00	3	6,3	6,3	27,1
	1180,00	1	2,1	2,1	29,2
	1185,00	2	4,2	4,2	33,3
	1187,00	2	4,2	4,2	37,5
	1200,00	2	4,2	4,2	41,7
	1455,00	1	2,1	2,1	43,8
	1600,00	1	2,1	2,1	45,8
	1660,00	1	2,1	2,1	47,9
	1710,00	2	4,2	4,2	52,1
	1730,00	1	2,1	2,1	54,2
	1735,00	1	2,1	2,1	56,3
	1770,00	2	4,2	4,2	60,4
	1775,00	1	2,1	2,1	62,5
	1780,00	1	2,1	2,1	64,6
	1800,00	6	12,5	12,5	77,1
	2900,00	1	2,1	2,1	79,2
	3350,00	1	2,1	2,1	81,3
	3400,00	1	2,1	2,1	83,3
	3450,00	1	2,1	2,1	85,4
	3460,00	1	2,1	2,1	87,5
	3520,00	1	2,1	2,1	89,6
	3550,00	1	2,1	2,1	91,7
	3600,00	4	8,3	8,3	100,0
	Total	48	100,0	100,0	
Total		48	100,0		

**Tabla de frecuencia Sector**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Papelero	24	50,0	50,0	50,0
	Autopartista	10	20,8	20,8	70,8
	Ensambladora	6	12,5	12,5	83,3
	Alimentos	8	16,7	16,7	100,0
	Total	48	100,0	100,0	
Total		48	100,0		

**Tabla de frecuencia UBIC**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	45	93,8	93,8	93,8
	2	3	6,3	6,3	100,0
	Total	48	100,0	100,0	
Total		48	100,0		



## ANEXO N° 11. Perfiles de grupo 2.

### Frecuencias

#### Estadísticos

	N		Media	Mediana	Moda	Desv. típ.	Varianza
	Válidos	Perdidos					
HP	25	0	64,690	10,000	1,0 <sup>a</sup>	138,120	19077,129
MARCA	25	0	9,7600	9,0000	9,00	2,2782	5,1900
RPM	25	0	1706,7200	1720,0000	800,00 <sup>a</sup>	860,2531	740035,5
Sector	25	0	1,9200	1,0000	1,00	1,2220	1,4933
UBIC	25	0	1,20	1,00	1	,41	,17

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

#### Tabla de frecuencia HP

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	,5	1	4,0	4,0
	1,0	2	8,0	12,0
	1,2	1	4,0	16,0
	1,5	2	8,0	24,0
	3,0	2	8,0	32,0
	4,0	2	8,0	40,0
	5,5	1	4,0	44,0
	6,6	1	4,0	48,0
	10,0	2	8,0	56,0
	14,7	1	4,0	60,0
	17,0	1	4,0	64,0
	24,0	1	4,0	68,0
	26,0	1	4,0	72,0
	46,0	1	4,0	76,0
	56,9	1	4,0	80,0
	75,0	2	8,0	88,0
	247,9	1	4,0	92,0
	482,0	1	4,0	96,0
	500,0	1	4,0	100,0
Total	25	100,0	100,0	
Total	25	100,0		



Tabla de frecuencia MARCA

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	WEG	1	4,0	4,0	4,0
	SIEMENS	17	68,0	68,0	72,0
	WESTHING	2	8,0	8,0	80,0
	US MOTOR	2	8,0	8,0	88,0
	BBC	1	4,0	4,0	92,0
	RELIANCE	1	4,0	4,0	96,0
	WEG	1	4,0	4,0	100,0
	Total	25	100,0	100,0	
Total		25	100,0		

Tabla de frecuencia RPM

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	800,00	3	12,0	12,0	12,0
	870,00	1	4,0	4,0	16,0
	876,00	1	4,0	4,0	20,0
	890,00	1	4,0	4,0	24,0
	1190,00	1	4,0	4,0	28,0
	1200,00	3	12,0	12,0	40,0
	1675,00	1	4,0	4,0	44,0
	1710,00	1	4,0	4,0	48,0
	1720,00	1	4,0	4,0	52,0
	1725,00	2	8,0	8,0	60,0
	1750,00	1	4,0	4,0	64,0
	1752,00	1	4,0	4,0	68,0
	1770,00	3	12,0	12,0	80,0
	1775,00	1	4,0	4,0	84,0
	2900,00	1	4,0	4,0	88,0
	3600,00	3	12,0	12,0	100,0
	Total	25	100,0	100,0	
Total		25	100,0		

**Tabla de frecuencia Sector**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
Papelero	15	60,0	60,0	60,0
Autopartista	1	4,0	4,0	64,0
Ensambladora	5	20,0	20,0	84,0
Alimentos	4	16,0	16,0	100,0
Total	25	100,0	100,0	
Total	25	100,0		

**Tabla de frecuencia UBIC**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
1	20	80,0	80,0	80,0
2	5	20,0	20,0	100,0
Total	25	100,0	100,0	
Total	25	100,0		

**ANEXO N° 12. Análisis de Regresión múltiple.****Resumen del modelo 1. Probabilidad de falla en devanados respecto a variables de empresa**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,531 <sup>a</sup>	,282	,180	,46

- a. Variables predictoras: (Constante), UBIC, MONTO, MPREVE, HP, RPM, MARCA, Sector, MCORREC, CERT
- b. Variable dependiente: ESTDEV

**Resumen del modelo 2. Probabilidad de falla en rodamientos respecto a datos de la empresa.**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,419 <sup>a</sup>	,175	,057	,44

- a. Variables predictoras: (Constante), UBIC, MONTO, MPREVE, HP, RPM, MARCA, Sector, MCORREC, CERT
- b. Variable dependiente: RODAM



# APÉNDICE

**APÉNDICE N° 1.****Formato típico para selección de motor de acuerdo con el medio ambiente de operación.**

<b>MOTOR LOCALIZADO EN:</b>		<b>TIPO DE MOTOR</b>
1	Fábrica y oficinas limpias, almacenes, casetas de elevadores, cuartos aislados para motores, plantas generadoras y toda clase de aplicaciones donde la atmósfera sea limpia y seca.	Estándar a prueba de goteo.
2	En interiores o exteriores protegidos, pero con alta humedad ambiental	A prueba de goteo con APH
3	En interiores con polvo metálico (máquinas, herramientas para trabajo pesado, industria automotriz, etc.).	Motor TCCV
4	En interiores o exteriores con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas.	Motor TCCV tipo Químico
5	En interiores o exteriores con polvo abrasivo.	Motor TCCV
6	Mismo que el anterior, pero con vapores o gases químicos en adición.	Motor TCCV tipo Químico
7	Polvos secos no explosivos, negro de humo, etc.	Motor TCCV
8	Aplicaciones polvosas y húmedas con materiales como polvo y pulpa, que pueden obstruir los ductos de ventilación de un motor abierto.	Motor TCCV tipo Químico
9	Condiciones tropicales.	Motor TCCV tipo Químico
10	Atmósferas explosivas.	Motor TCCV a prueba de explosión
<b>Claves: APH: Aislamiento a prueba de humedad. TCC: Totalmente cerrado con ventilación</b>		

**Fuente: Catálogo Industrias IEM.**

**APÉNDICE N° 2.****Políticas Energéticas Actuales (EPAct)**

Los sistemas industriales han tomado las políticas energéticas establecidas de acuerdo al marco legal vigente. Los modelos utilizados por esta legislación se muestran en la siguiente tabla.

**Table 13A. Niveles de eficiencia nominal codificados por EPAct**

HP	Enclosed Motors			Open Motors		
	6 pole	4 pole	2 pole	6 pole	4 pole	2 pole
1	80.0	82.5	75.5	80.0	82.5 —	
1.5	85.5	84.0	82.5	84.0	84.0	82.5
2	86.5	84.0	84.0	85.5	84.0	84.0
3	87.5	87.5	85.5	86.5	86.5	84.0
5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	85.5
7.5	89.5	89.5	88.5	88.5	88.5	87.5
10	89.5	89.5	89.5	90.2	89.5	88.5
15	90.2	91.0	90.2	90.2	91.0	89.5
20	90.2	91.0	90.2	91.0	91.0	90.2
25	91.7	92.4	91.0	91.7	91.7	91.0
30	91.7	92.4	91.0	92.4	92.4	91.0
40	93.0	93.0	91.7	93.0	93.0	91.7
50	93.0	93.0	92.4	93.0	93.0	92.4
60	93.6	93.6	93.0	93.6	93.6	93.0
75	93.6	94.1	93.0	93.6	94.1	93.0
100	94.1	94.5	93.6	94.1	94.1	93.0
125	94.1	94.5	94.5	94.1	94.5	93.6
150	95.0	95.0	94.5	94.5	95.0	93.6
200	95.0	95.0	95.0	94.5	95.0	94.5



## **APÉNDICE Nº 3.**

### **AC MOTOR SELECTION AND APPLICATION GUIDE GE.**

#### **Motor Testing O Pruebas De Chequeo.**

La aplicación práctica del buen funcionamiento de un motor, requiere de una significativa terminología que este basada en una definición de Eficiencia Energética, que será determinada a través de un Test de Prueba, que debe aplicarse de manera similar en las empresas de manufactura que utilizan motores de inducción.

Las pruebas garantizan los valores mínimos de trabajo, condiciones nominales requeridas. También, las variaciones que puedan presentar algunos resultados de las pruebas en relación a otros métodos utilizados. Para el orden en la frecuencia de mantenimiento, NEMA ha establecido lo siguiente: Eficiencia y mínimos debe determinarse de acuerdo con la última revisión del Estándar 112 de la IEEE. Los motores polifásicos de jaula de ardilla deben ser medidos aplicando el método B utilizando un dinamómetro. La eficiencia deberá determinarse utilizando separaciones mínimas con lo cual se obtiene una baja pérdida de carga, obteniéndose un análisis de regresión lineal para disminuir el efecto de rangos de errores en las pruebas de medición.

Este procedimiento incide en los bajos rangos de carga que pueden producirse de un motor a otro. Esto también define claramente el proceso y amerita pruebas a condiciones de máxima temperatura o el margen adecuado de diferentes temperaturas de trabajo. Finalmente, la prueba del Método B requiere el uso de un dinamómetro para mediciones de baja carga a fin de indicar los rangos de datos básicos mas adecuados, mayor exactitud y precisión en equipos de medición.

La eficiencia del motor no puede ser una constante absoluta de todos los motores del mismo tipo. Ahora, la eficiencia de un gran número de motores ser comporta como una curva de distribución normal.

La eficiencia nominal corresponde a la que aparece sobre la placa de datos del motor, o rangos esperados de eficiencia sobre la curva.