



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y
EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Nombre del proyecto o actividad:

Estudio de Fallas de Motores Eléctricos en Costa Rica

Departamento Académico responsable:

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Investigadores:

Ing. Osvaldo Guerrero Castro

Ing. Luis Gómez Gutiérrez

JUNIO 2009

DEDICATORIA

A la memoria del Ing. Arnoldo Ramírez, quien fue un comprometido por el mejoramiento de esta escuela y el desarrollo de su personal.

A todas las personas que siempre han estado cerca de nosotros, de manera incondicional, especialmente esposas, hijos y familiares.

RECONOCIMIENTO

Al Consejo de Escuela de Ingeniería Electromecánica, por su voto de apoyo en la aprobación de este proyecto, además a profesores de la escuela que han hecho recomendaciones y aportes, para mejorar el desarrollo del mismo.

Al ingeniero Oscar Nuñez Mata, quien inspiró a proponer el tema de investigación, y que en forma adhonorem, participo en el proyecto, motivando a los investigadores, orientando las decisiones, y dando sus aportes como especialista reparador de motores eléctricos.

Al master Mauricio Monge, por su valiosos consejos y motivación para incursionar en el campo de la investigación.

Al personal de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, en especial a la Ing. María del Milagro González, por sus oportunas colaboraciones.

Al personal de talleres de reparación y empresas participantes, por abrir las puertas a los investigadores para que realizaran su trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	1
Lista de tablas.....	3
Lista de figuras.....	4
Introducción.....	5
Definición del Problema.....	6
Objetivos.....	7
Marco teórico.....	8
Materiales y métodos.....	17
Discusión de resultados.....	21
Conclusiones.....	24
Recomendaciones.....	25
Aportes y alcances.....	26
Bibliografía.....	27
Glosario.....	28
Apéndice.....	29
Gráfico N° 1.....	29
Gráfico N° 2.....	30
Gráfico N° 3.....	30
Cuestionario a empresas.....	31
Cuestionario Reporte de Falla.....	35

I- RESUMEN

Problema tratado

El proyecto se centró en conocer e identificar aspectos específicos relacionados con las fallas en los motores y su grado de incidencia, a saber:

- Falta de conciencia en el control y seguimiento de fallas de motores.
- En las empresas visitadas existe ausencia de registro de las fallas más comunes a nivel nacional, que considere aspectos propios de las industrias de nuestro país.
- Existe una mejor organización de la información en algunos talleres de reparación de motores eléctricos.
- Indisponibilidad del personal calificado y del equipo técnico, para el análisis de las fallas de los equipos.
- No hay (o se aplican insuficientemente) criterios adecuados para la selección de motores.
- Falta de regulación a los talleres en cuanto a la forma de reparar motores, no hay quien los certifique ni regule técnicamente los trabajos realizados.
- Inexistencia de medidas predictivas y preventivas posteriores a la reparación del motor eléctrico.

Metodología (método de investigación)

La metodología se divide en dos etapas; la conceptualización teórica del proyecto apoyada en los estudios previos para realizar un adecuado proceso investigativo; la segunda, ejecución de las actividades de campo, para su posterior análisis y obtención de resultados.

Como parte del trabajo de campo, se visitaron empresas industriales, las cuales fueron pre-seleccionadas por sector productivo y nivel de consumo¹, posteriormente, la selección final se sustentó en el grado de apoyo para colaborar con el proyecto.

Durante las visitas, se hizo una recopilación de la información, relativo a la información técnica de los motores, especialmente al registro de fallas de los motores, sin embargo la cantidad de datos en este caso fue escasa.

A los responsables del mantenimiento de estas máquinas, se le suministró un formulario (ver apéndice) para recopilar la información sobre fallas.

Se convocaron a las empresas a participar en charlas de capacitación, donde se abordó el tema de las fallas de los motores, impartida por un experto en motores eléctricos.

El objetivo principal de esta capacitación fue brindar a las personas encargadas de la recopilación de la información sobre las fallas y su mantenimiento, los criterios que les permitan discernir entre un tipo de falla y otra.

¹ Datos proporcionados por el Instituto Costarricense de Electricidad

Se realizaron visitas regulares para recoger la información y conversar con los colaboradores, sobre los resultados y avances en el proceso de recolección de información de fallas.

También se visitaron los talleres de reparación de motores más conocidos por la mayoría de las empresas visitadas.

Principales resultados y conclusiones

1. Existe un desinterés en el seguimiento y búsqueda de las fallas y sus causas.
2. El ambiente de operación de los motores, repercute fuertemente en la falla y su modo de falla.
3. No se aplican suficientes criterios en la selección de los motores, esto hace que se presenten fallas por mala selección de los mismos.
4. Con la colocación de dispositivos de protección, se pueden minimizar la cantidad de fallas presentadas en los motores eléctricos.
5. No existe hasta el momento un procedimiento o metodología formal que defina las etapas adecuadas para el registro y seguimiento de las fallas en los motores eléctricos industriales.

Productos del proyecto:

- I. Actualización de los contenidos del curso de Máquinas Eléctricas del programa de estudios de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial.
- II. Fortalecimiento de los conocimientos de los investigadores, que transmitirán las enseñanzas y experiencias a los estudiantes del curso de Maquinas Eléctricas y cursos afines.
- III. El aporte a las empresas participantes, para la toma de decisiones.
- IV. Vinculación de la Escuela y Universidad con la industria.
- V. Concientización de la importancia del mantenimiento a los motores eléctricos industriales, especialmente con el manejo de la información.

LISTA DE TABLAS

Tabla N1. Empresas visitadas.....	18
Tabla N2. Talleres visitados.....	19

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Diseño de investigación.....	14
Figura N° 2. Fotografía charla de Fallas de Motores.....	20
Figura N° 3. Fotografía falla quemado.....	21
Figura N° 4. Fotografía falla sobrecarga.....	22
Figura N° 5. Fotografía falla por mantenimiento.....	22
Figura N° 6. Fotografía falla Corto Estator.....	23
Figura N° 7. Fotografía falla por Rodamiento.....	24

I- INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Las actividades del proyecto, iniciaron con las visitas a las empresas participantes para explicar detalles, alcances e importancia del proyecto, previo a esto, fue necesario un contacto inicial através de correo electrónico y telefónico, además de enviar documentación resumida del mismo, mediante ayuda de los correos electrónicos.

A las empresas que manifestaron interés en participar se les realizó una visita, para exponerles el proyecto, así como para, hacer un recorrido por sus instalaciones, con la intención de conocer las condiciones y características del proceso productivo, observando con mayor detenimiento los sistemas productivos que emplean motores eléctricos.

Posteriormente, fueron convocadas un grupo de las empresas seleccionadas (por zona geográfica), para recibir una capacitación en la que se les instruyó en el tema de fallas de motores. También en esta actividad de capacitación se les entregó la hoja técnica de reporte de falla (ver apéndice), en la que debían anotar los datos requeridos por el proyecto, al momento de presentarse las fallas de los motores eléctricos de sus respectivas empresas.

Algunas empresas a pesar de estar interesadas en el proyecto, no se lograron insertar activamente por la falta de disponibilidad de su personal; por el contrario otras como los talleres de reparación, mostraron un fuerte interés en colaborar con el proyecto (el taller Rename y Electromotores continuaran colaborando en la segunda etapa). Dada esta situación, la metodología se ajustó a las condiciones existentes.

Respecto a la recolección de los datos de las fallas, esta actividad se concentro en la información que proporcionó cada taller de reparación, los cuales demostraron que por interés propio (y no por solicitud de las empresas clientes), llevan control y registro de los trabajos que realizan a los motores que reciben. Debe indicarse también que se continuó con las visitas a empresas, pero con la principal intención de verificar las condiciones de operación, de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos.

Dada la situación anterior, la principal fuente de información en la recopilación de los datos fueron los talleres de reparación de motores. Durante las visitas realizadas a las diferentes empresas y talleres, se revisaron más de 3000 archivos de fallas de motores, de los cuales se extrajo para su análisis, 566 datos útiles (se tuvo que descartar motores de menor o mayor potencia que la contemplada, motores monofásicos, etc). El taller de electromotores ubicado en Alajuela contribuyo con 110, el taller Gines en Tibás 92, el Taller Rename de Cartago con 326 y el taller Globaltec con 38 ubicado en Tejar del Guarco.

Durante las visitas a los talleres de reparación, se determinó que el grado de control, tecnología empleada y administración de información es variada, existen algunos con una buena estructura de administración de la información de fallas de motores, otros llevan un registro bastante sencillo o escueto, sin embargo ha servido para retroalimentar el trabajo de los investigadores. También, permitió concientizar a los talleres de una adecuada clasificación de la falla, especialmente que facilite un análisis

posterior, con la clara idea de encontrar la causa principal de la misma, aspecto que era realizado por los talleres en forma discontinua, ya que, no siempre se indica en el reporte de la reparación la clara identificación de la falla. A partir de este proyecto, los talleres indicados asumieron con mayor responsabilidad y conciencia la clasificación adecuada de las mismas, ya que, fue delegado a sus empleados, y consta en los reportes de falla de los motores reparados.

Como parte de la experiencia, es importante mencionar que el grado de organización y control sobre las fallas de motores está en función del tamaño de las empresas, política organizacional o departamental (iniciativa del ingeniero) tipo de empresa y particularmente del tamaño del motor; ya que, a los motores más pequeños se les presta menos atención que a los motores de potencias mayores, debido a que estos últimos presentan mayor impacto en el proceso productivo (línea crítica del proceso). Además, una falla de estos equipos ocasiona directamente un paro en la producción, cuyo costo por hora no producida, supera en creces el costo de la compra de dicho motor nuevo. En el caso de los motores de potencia pequeña (menor a 7,5 kW) es más rentable, en caso de una falla, la sustitución total (compra), que la reparación, pues, el costo puede ser semejante, pero los beneficios de un motor nuevo son mayores que un motor reparado. Existen empresas que adoptan como política, no reparar motores pequeños. Otras toman la decisión a corto plazo, por lo tanto prefieren pagar la reparación, a cambio del ahorro económico, aunque a largo plazo la compra de un nuevo motor, sea más rentable.

Otra situación encontrada, fue que la mayoría de las industrias visitadas o contactadas, no llevan un registro de la cantidad de motores existentes en su empresa, ni mucho menos un registro histórico de fallas, salvo pocas excepciones.

La mayoría de las industrias delegan en los talleres de reparación de motores, la responsabilidad del control de fallas de los mismos. Sin embargo, a pesar de ello las empresas no solicitan al taller un informe detallado del problema y es a criterio del taller que se emite este informe.

Definición del problema:

La mayoría de los sistemas o mecanismos utilizados en los procesos productivos industriales son accionados por motores eléctricos, los cuales suplen la fuerza motriz; y por tanto, un importante consumo eléctrico, por el uso de este tipo de equipos.

Por la sencillez relativa en su construcción y modo de funcionamiento de los motores eléctricos de inducción, su mantenimiento e instalación electromecánica en muchos casos se descuida y no se le da la importancia que merecen. Cuando una máquina de este tipo falla, lo usual en las empresas es hacer una valoración preliminar y superficial, para decidir el envío a un taller externo para su reparación, no hay políticas o procedimientos en las empresas que se encarguen de dar seguimiento a las fallas presentadas. En otras palabras, en las industrias lo que se requiere es que el motor retorne en el menor tiempo posible a la empresa, reparado y listo para volver a operar.

De parte de los talleres de reparación tampoco existe un interés expreso, en conocer las causas por las que el motor falló, de esta manera los motores pueden continuar fallando, sin que se investigue la causa de la falla, salvo pequeñas excepciones que la

empresa le exige al taller un informe detallado, especialmente cuando se trata de reclamos por garantía y calidad de energía proporcionada por la empresa distribuidora de electricidad.

El proyecto logró realizar una investigación estadística sobre las fallas más comunes en los motores eléctricos de inducción de jaula de ardilla, en el rango de potencia de 1,5 a 37,5kW (2 a 50 Hp).

Al no contar con un seguimiento y control de las fallas por parte de las empresas, se fomentan reparaciones inadecuadas en cuanto a tiempo, calidad y análisis de funcionamiento; ya que, por lo general, se solicita a los talleres de reparación, la urgencia del mismo, exigiendo tiempos de respuesta muy cortos; lo que no permite contar con una adecuada reparación según normas recomendadas por los organismos expertos en el campo.

Desde el punto de vista de la producción, la salida de operación de los equipos se traduce en pérdidas económicas para las empresas y, por ende, para el país. Por lo tanto, establecer datos actuales sobre los diferentes tipos e incidencia de las fallas de los motores trifásicos de inducción es importante para la industria nacional, pero además permite realizar un estudio posterior, que determina la causa de la falla y aplicar las técnicas de mantenimiento adecuadas para la reducción e incidencia de las fallas. No se pretende con ello, descartar la realidad, ya que, los motores siempre presentaran fallas, pero producto del desgaste normal de funcionamiento.

Objetivos

- I. Clasificar e identificar las fallas de mayor incidencia en motores eléctricos de inducción, de los sectores bajo estudio, tales como Agroindustrial, Alimenticia, Construcción, Química, Papel, Manufactura Eléctrica y electrónica, Plástico, Médica y Vidrio.*
- II. Determinar las variables y su correlación, generadas por el estudio, que permita analizar (comparar) empresas de iguales sectores productivos.*
- III. Identificar las prácticas, procedimientos y normas que emplean los talleres de reparación de motores eléctricos en Costa Rica.*
- IV. Capacitar al personal técnico de las empresas, en aspectos relacionados con las fallas en los motores eléctricos de inducción, que permita mejorar la toma de datos para su posterior análisis*

I. MARCO TEÓRICO

a) Enfoque de la investigación (cualitativo, cuantitativo y mixto)

La investigación puede ser analizada mediante dos enfoques [1].

El **Enfoque Cualitativo** utiliza la recolección de datos sin medición numérica para describir o afinar preguntas de investigación y probar hipótesis en su proceso de interpretación.

El **Enfoque Cuantitativo** usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento.

El tercer enfoque (**mixto**) radica en combinar los dos anteriores, sin embargo, probablemente existe hegemonía de alguno de ellos, por ejemplo, aunque el enfoque predominante sea cualitativo, se pueden emplear técnicas cuantitativas que permitan explicar la tendencia de cierto comportamiento, o viceversa un estudio cuantitativo donde puede emplear entrevistas abiertas o cerradas para lograr extraer información que sirva de base para la recopilación de la información a tabular.

Debe indicarse que el estudio cualitativo busca principalmente expansión de la información con una visión holística, a diferencia del estudio cuantitativo, que pretende intencionalmente “acotar” la información de manera que pueda converger en algún punto, o sea, una visión específica, donde lo general ocupa un segundo plano.

b) Tipos de Objetivos en una investigación

Los objetivos se pueden clasificar en exploratorios, descriptivos y causales.

Los objetivos exploratorios, estos permiten recabar información preliminar que ayudará a definir el problema y a recomendar hipótesis de una forma más óptima.

Los objetivos descriptivos, como su nombre lo indique, busca principalmente describir cosas, aspectos, perfiles, características, métodos, procedimientos, etc sobre un tema.

Los objetivos causales, probar hipótesis acerca de relaciones causa y efecto.

Los tipos de objetivos que se emplean en una investigación son muy dependientes de la profundidad de la misma, es por ello que cuando el tema es poco conocido o se han realizado pocas investigaciones en la región, se recomienda iniciar con objetivos exploratorios y a lo sumo descriptivos, ya que, estos permitirán conocer un poco mejor el entorno y poder plantearse objetivos de mayor impacto.

Otro aspecto a considerar son los medios, técnicas, instrumentos, procedimientos, etc adecuados para la recopilación de la información, a continuación se realiza una descripción general de los mismos.

c) Información primaria y secundaria

Se puede establecer como fuentes secundarias, aquella información que la empresa recabó para otro propósito pero que contiene datos de gran interés para las

necesidades a satisfacer. A diferencia de la información primaria que está dirigida a solventar las preguntas y datos para un solo fin.

Una ventaja de los datos secundarios es que se pueden obtener con mayor rapidez y menor costo, con la clara desventaja que la información debe ser bien clasificada y contar con el cuidado de no desviarse de la idea principal y solo extraer los datos que realmente interesan, ya que, es común desvirtuarse con tanta información, y mucho más si fue recabada para otro fin. Además puede que la información no sea suficiente y se requiere de datos primarios, sin embargo, la información secundaria puede contribuir para confeccionar o perfeccionar la forma de recolectar los datos primarios.

El investigador al analizar la información secundaria que se tomara en cuenta debe asegurarse que los datos sean, pertinentes, exactos, imparciales y actuales. Estos datos son un excelente punto de partida.

Otra forma de recabar información secundaria es mediante el análisis de eventos documentados en **informes internos** que detallan acontecimientos relevantes para el proceso productivo.

La planeación de la recopilación de la información primaria debe ser diseñada por expertos, ya que, se requiere que la información sea de gran utilidad para el proyecto, para esta planeación debe considerarse el enfoque de la investigación, métodos de contacto, plan del muestreo y los instrumentos de investigación a emplear.

Posteriormente de la definición del enfoque se debe seleccionar la forma de recolección de datos, aspectos muy dependientes del enfoque seleccionado.

d) Instrumentos para la recolección de datos

Los datos pueden recopilarse mediante observación, encuestas y experimentos.

Primeramente se debe indicar que las personas serán la fuente principal de información, especialmente los técnicos, por ello antes de iniciar la recopilación de la información se debe asegurar que las personas se sentirán cómodas con la presencia de extraños en la empresa, por ello, se pretende que la primera etapa sea de una charla introductoria al tema y comunicar al personal técnico claramente la idea principal del proyecto y que sin importar las fallas o errores ocasionados por ellos, no representará problemas laborales, y que más bien, se busca beneficiar a muchas personas con el mismo.

Para este proyecto se pretende iniciar con **la investigación observacional**, buscando determinar las técnicas, formas y métodos que emplean los técnicos en el montaje, reparación y reconstrucción de una falla del motor eléctrico, para ello se debe contar con mucha comunicación de parte de la empresa.

A diferencia de la **investigación por encuesta o mediante un cuestionario**, o entrevista, se debe primeramente convencer al operario que lo que busca entre otras cosas es evidenciar la necesidad de capacitar al personal y los efectos positivos que esta formación representaría tanto para la empresa como para el mismo empleado y que a pesar de su gran experiencia, todavía se puede ser

mejorar, al contar las adecuadas técnicas, métodos y herramientas de reparación, que desconocen o no dominan.

La investigación por encuesta, está orientada a recopilar información más descriptiva, el tipo de estructura se recomienda semi-estructura, o sea, contar con pocas preguntas muy bien orientadas a satisfacer los objetivos de la investigación, no sin descartar otras interrogantes que se descubran en el mismo proceso y que también contribuyen con las metas propuestas. Esta técnica es una de las más comunes, ya que cuenta con la adaptabilidad, con un adecuado diseño del formulario se puede recabar información más variada a un bajo costo y un adecuado tiempo de respuesta, todo esto debe ser considerado para el diseño de la misma.

Sin embargo, se debe considerar que existe una pequeña desventaja con esta técnica, la gente puede ser incapaz de responder la encuesta o no recuerda claramente los detalles de la falla, es por ello que se debe tener el cuidado para adaptar la pregunta o facilitarle al entrevistado las respuestas, pero sin perder la imparcialidad de la misma.

También existe la investigación experimental, en esta se busca datos que permitan descubrir la causa de la falla, sin embargo, para esta primera etapa, el uso de esta técnica está limitado, ya que, las que más se adecuan son la exploratorio y descriptiva.

e) Métodos de contacto

En resumen existen tres métodos de contacto, por correo, vía telefónica y entrevistas personales.

El correo puede emplearse para tamaños de muestra muy grandes, permite que los respondientes no se inhiban como si ocurre con una entrevista personal, además se espera respuestas más honestas, sin embargo tiene una gran desventaja, sin adaptabilidad, estas llevan más tiempo y presentan una tasa de respuesta muy baja, y el investigador tiene muy poco control de la misma.

Recabar **información vía telefónica** presenta mayor flexibilidad y adaptabilidad que el anterior, además de recabar información rápidamente. Se cuenta con mayor control y se puede seleccionar a la persona más adecuada para entrevistar, así como descartar algunas preguntas o profundizar en otras. Presentan el inconveniente de que el costo es alto y las personas pueden mostrarse renuentes a contestar preguntas al entrevistador, la voz, la forma, el tono, la dicción del quien entrevista puede favorecer o perjudicar las respuestas obtenidas.

Por último las **entrevistas personales**, suelen ser individual o en grupos, primeramente el entrevistado debe ganarse su cooperación, y buscar un ambiente neutral donde se facilita la recopilación de la información y **confidencialidad** de las respuestas, en ocasiones suele darse un pequeño incentivo.

Las **entrevistas grupales** (entre seis y diez personas), pueden generar un ambiente de discusión, donde la persona exprese las vivencias y experiencias adquiridas. Para obtener resultados valiosos, se debe considerar la objetividad, conocimiento

del tema y de la industria, así como dinámica de grupos y la conducta del grupo de técnicos. El lugar debe permitir un ambiente agradable y proporcionar bebidas para propiciar la confianza de la misma. Se debe iniciar con preguntas generales antes de pasar a los específicos, debe alentarse la conversación libre y fácil, que logre obtener los datos reales y confiables.

La principal desventaja es su costo y se debe disponer de un entrevistador experto en los puntos anteriormente citados para lograr buenos resultados que faciliten la toma de datos para su posterior análisis.

La selección del método dependerá del ambiente laboral desarrollado en la empresa, de la cantidad y calidad de la información que los entrevistados estén dispuestos a proporcionar y del tiempo con que se dispone para recabar esta información. Para este proyecto en particular se busca emplear las tres técnicas, sin embargo las entrevistas serán las más usadas, pero sin obviar las otras para casos particulares que den mejores resultados.

f) Plan de muestreo

Este plan debe definir al menos tres aspectos, la unidad de muestreo, tamaño de la muestra y procedimiento de muestreo, a continuación se describe cada uno de ellos.

i) Unidad de muestreo

En este apartado se debe definir claramente ¿a quién habrá que encuestar?, no siempre es fácilmente identificable definir las personas adecuadas. Para este proyecto se pretende al menos conversar con los técnicos y operadores de estos motores o sistemas, posteriormente discutir con los jefes y gerentes que recuerden incidentes relevantes y que desean evitarlos a futuro. Sin embargo, no puede descartar a otras personas que puedan aportar datos relevantes.

ii) Tamaño de la Muestra

Se busca determinar la cantidad mínima de personas o empresas a ser contempladas en el proyecto, que permite una confiabilidad de los datos suficiente para ser tomado en cuenta en la toma de decisiones. Los expertos consideran que al menos se considera una muestra del 1% del total de la población que puede participar en el estudio. Para este proyecto, definir la muestra es un tanto complejo y difícil y se convierte en el Talón de Aquiles, por ello, este punto debe generar la estrategia en la toma de datos. Las principales razones del problema radica en que, se desconoce a nivel de Costa Rica, el total de los motores eléctricos empleados en la empresa, además si se conociera, el estudio trata de fallas de estas máquinas, las cuales es el objetivo del estudio, por tanto se transforma en círculo vicioso, donde se si conociera el total de fallas, se puede considerar una muestra de las mismas, pero ambas se desconocen, por lo tanto se debe establecer otro punto de partida.

iii) Procedimiento de Muestra

Este procedimiento debe responder ¿Cómo deberá escogerse a los respondientes?, para ello debe escogerse el tipo de muestra, las cuales existen dos a su haber, Muestra Probabilística y Muestra no Probabilística. Como se mencionó

en los inconvenientes del tamaño de la muestra, indica que debe optarse como punto de partida la Muestra no Probabilística.

(1) Muestra Probabilística

En este apartado se establecen tres tipos de muestras probabilísticas, que son, muestra aleatoria simple, muestra aleatoria estratificada y muestra de grupo (área).

La muestra aleatoria simple, establece que cualquier miembro de la población tiene una oportunidad de selección conocida e igual.

En la muestra aleatoria estratificada, la población se divide en grupos mutuamente excluyentes (como grupos cronológicos), y se sacan muestras aleatorias de cada grupo.

Y la tercera, la muestra de grupo, la población se divide en grupos mutuamente excluyentes (como los bloques), y el investigador saca una muestra de los grupos a entrevistar.

(2) Muestra No Probabilística

De ella se desprenden la muestra de conveniencia, muestra de juicio y muestra de cuota.

En la muestra de conveniencia, el investigador selecciona los miembros más fáciles de la población de los que obtiene información.

En la muestra de juicio, el investigador usa su propia capacidad y experiencia de juicio para seleccionar miembros de la población que sean buenos prospectos para información fidedigna.

En la muestra de cuota, el profesional busca y entrevista a un número prescrito de personas en cada una de varias categorías.

g) Instrumentos de investigación

En la recopilación de datos primarios se recomienda utilizar el cuestionario y los dispositivos mecánicos.

El cuestionario es el instrumento más común. En términos generales, un cuestionario consta de un conjunto de preguntas que se le plantea a un respondiente para que las conteste. El uso del cuestionario es una técnica muy sencilla, sin embargo se debe contar con mucho cuidado a la hora de generar las preguntas, se deben verificar y depurar antes de aplicar masivamente. Dentro de los cuidados a considerar está, la definición de preguntas abiertas o cerradas, ambas poseen sus ventajas y desventajas.

El cuestionario debe dotar de preguntas bien formuladas, considerar la forma, redacción y secuencia. Un error común en las preguntas planteadas está cuando las preguntas no pueden contestarse, o la pregunta contiene la respuesta, p.e. ¿Le da usted un apoyo fuerte o débil a sus metas profesionales? en este caso, que se entiende por fuerte o débil, esto genera ambigüedad en el lector.

Cada pregunta debe verificarse para conocer si contribuye con el objetivo de la investigación. Es común que las preguntas que son meramente interesantes

deberán descartarse porque alargan el tiempo requerido y pueden agotar la paciencia del entrevistado, en resumen deben ser preguntas muy interesantes y que se relacionan con el objetivo del proyecto.

La forma de la pregunta puede influir en la respuesta, se distinguen dos tipos, abiertas y cerradas. **Las preguntas cerradas** abarcan todas las posibles respuestas, y el encuestado escoge. Por ejemplo, ¿Es usted casado actualmente? Las únicas respuestas son Sí o No. Estas son preguntas dicotómicas (solo dos opciones). También existen preguntas cerradas de tipo elección múltiple, escala Likert, diferencial semántico, escala de importancia y escala de clasificación.

Si principal desventaja radica en que la pregunta es tan cerrada que pueden existir opciones que no está considerando el investigador y por lo tanto se perderá esta información. Además tiende a encasillar a las personas en cierto tipo de ideas o pensamientos, por lo tanto podría percibirse una realidad “falsa”.

Las preguntas abiertas, permiten al entrevistado contestar con sus propias palabras, esto logra que exista mayor libertad. Son muy útiles en la etapa exploratoria de la investigación, donde se desea conocer el comportamiento de los técnicos. Sin embargo podría dificultar a la hora de tabular por poseer respuestas tan diversas, por ello lo definido anteriormente está completamente relacionado, por ejemplo al escoger un enfoque cualitativo se relaciona mucho con preguntas abiertas y mucho más al tratarse de una investigación exploratoria.

Las preguntas abiertas se clasifican en completamente no estructurada, donde las respuestas son casi infinitas. Las preguntas de asociación de palabras, o mejor dicho de libre asociación, esto para captar la información que maneja el inconsciente sobre cierto tema. Y la terminación de oraciones, se caracteriza por ser preguntas con oraciones incompletas y la entrevistada busca completar según su criterio.

La redacción debe ser sencilla, directa y sin prejuicios.

Con respecto a la secuencia, la primera pregunta debe despertar el interés y las preguntas difíciles dejarlas para el final. Estas deben tener un orden lógico.

Los instrumentos mecánicos, contemplan a dispositivos que cuantifican variables, para este proyecto sería un voltímetro (mide el voltaje de un sistema eléctrico), amperímetro, vatímetro, ohmímetro, etc.

h) Diseño de la investigación

Luego de decidir el enfoque, se procede con el diseño, que se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información. El diseño de una investigación se puede enmarcar según se muestra en la **figura N1**.

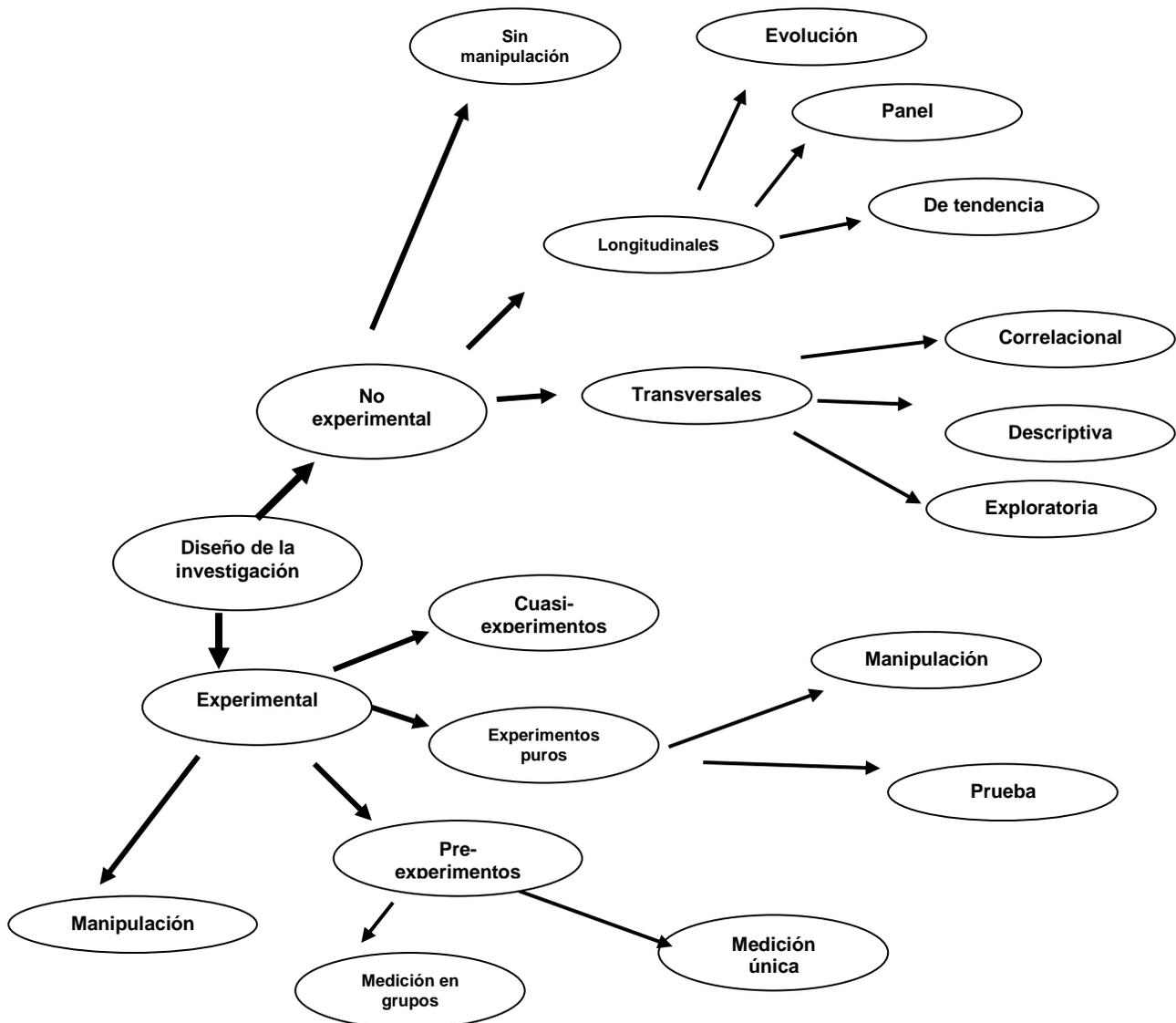


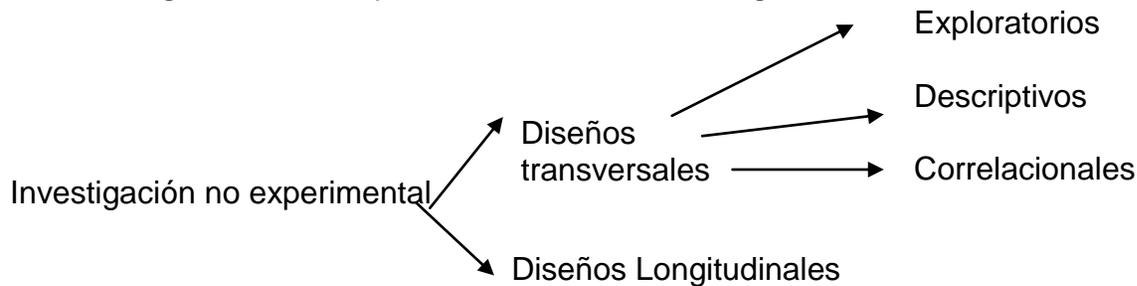
Figura N1. Diseño de la investigación tomado de [1]²

Como se observa el diseño se puede orientar en dos grupos, no experimental y experimental.

La investigación no experimental como “aquella investigación como dimensión es temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo, en los cuales se recolectan datos” [1]. A diferencia de la experimental que se refiere a tomar una acción y observar las consecuencias, por los detalles mencionados anteriormente, la investigación del proyecto se encausa en un diseño no experimental, por ende, se describirá todas las características de las mismas.

² Tomado de la cita bibliográfica #1

Las investigaciones no experimentales se dividen según se muestra.



La definición de un diseño transversal, es “*la investigación transversal recolecta en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar sus incidencias en un momento dado*”. A diferencia de la Investigación Longitudinal, la cual “*recolectan datos a través del tiempo en periodos, para hacer inferencia respecto a cambios, determinantes y consecuencias*”.

En las investigaciones transversales se clasifican en Exploratorios, Descriptivas y Correlacionales.

Las investigaciones transversales exploratorias contemplan las realizadas inicialmente en un momento específico, denominada “*inmersión inicial en el campo*”³. Se aplica a problemas nuevos o pocos conocidos en ese entorno.

Los diseños transversales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables, o ubicar, categorizar y proporcionar una visión de un evento, situación, etc.

Las investigaciones transversales correlacionales-causales, relacionan dos o más variables, conceptos en un momento determinado, como idea radica en encontrar la asociación entre fenómenos y las circunstancias.

i) Fallas en Motores Eléctricos

La mayoría de fallas en motores eléctricos son:

- **Predecibles**: Existen técnicas para anticiparlas.
- **Repetibles**: Normalmente presentan patrones similares de falla.
- **Prevenibles**: Se pueden evitar.
- **Usualmente, son reparables**, ya que algunos casos el daño que provoca es irreversible.

Es posible clasificar las fallas según el punto donde ocurre en el motor, esto es:

1. En rodamientos:

- Inapropiada lubricación.
- Contaminación.
- Excesiva vibración y golpes.

³ Libro metodología de la investigación (ver bibliografía)

2. En estator:
 - Sobrecarga.
 - Anormalidades eléctricas.
 - Contaminación.
3. En el rotor:
 - Pobre geometría.
 - Fuera de balance.
 - Defectos o daños en el rotor.
4. En el eje:
 - Fatiga.
 - Incorrecto uso.
5. En la carga:
 - Des-alineamiento.
 - Exceso de ajuste en fajas.
 - Pérdida de fijación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez conceptualizados objetivos, alcances y limitantes del proyecto se procedió a ejecutar la etapa que demandó mayor tiempo del estudio; que fue el trabajo de campo, que es precisamente donde inicia la parte operativa del proyecto de investigación.

En esta etapa se visitaron 22 empresas, de varios sectores productivos a saber:

- Agroindustria.
- Alimenticia.
- Constructoras.
- Manufactura de materiales de la construcción.
- Manufactura automotriz.
- Médica.
- Metalmecánica.
- Papel.
- Plástico.
- Química.
- Servicios.

Una vez contactadas las empresas y con su aval para participar en el proyecto, se procedió a realizar visitas a las mismas, no solo para conocer aspectos relativos al mantenimiento y fallas de los motores, sino también para conocer con detalle la estructuración del proceso de producción y los ambientes de operación de estos equipos.

Semana a semana se programaron visitas a las diferentes empresas, previa concertación de citas con la persona indicada.

Aunque se pretendió visitar 3 o 4 empresas por día, solo se pudo visitar 2 empresas.

Otra limitante para visitar una mayor cantidad de empresas fue el transporte, pues las restricciones vehiculares, limitaban los días de visitas, la falta de choferes, provocó que los investigadores optaran por conducir los vehículos institucionales, asumiendo responsabilidades que no corresponden. A pesar de la buena disposición del departamento de transportes del Tec, la falta de recursos también afectó el proyecto, ya que no solo faltaron choferes para hacer las visitas, sino que también se tuvo que realizar visitas en vehículos antiguos, incómodos y en estado regular, en ocasiones hasta se hizo uso de los vehículos personales, sin embargo por interés de los investigadores, las giras se realizaron a pesar de estos inconvenientes.

El estudio se centró en empresas del Valle Central, para poder cumplir con el plazo del proyecto.

En cada una de las visitas, se realizó la presentación del proyecto al personal encargado del mantenimiento de los motores, posterior a esto se realizaron recorridos por las instalaciones para observar personalmente y conocer el proceso de producción, tipo de equipos y maquinaria. Se hizo énfasis en conocer las condiciones operativas de los motores eléctricos, las funciones de mantenimiento que estas personas realizan y equipos utilizados en el mantenimiento y reparación de motores, cuando se ejecuta localmente, que en su gran mayoría son enviados a

talleres externos, a causa de los requerimientos de los equipos, infraestructura y personal especializado en estas reparaciones.

Recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearon los siguientes instrumentos

- Entrevistas
- Cuestionarios
- Revisión de expedientes
- Revisión de ordenes de trabajo
- Revisión de bases de datos

Durante estas visitas se entregó material diseñado por los investigadores del proyecto, para la recopilación de datos de fallas de motores, se explicó como se utilizaba el instrumento, para garantizar la buena aplicación y suministro de información.

Respecto a la recopilación de datos directamente de las empresas, se debió **re-direccionar**, ya que, la captación de información fue escasa y lenta, debido principalmente, falta de consciencia de la importancia de llevar un registro de fallas, también las múltiples ocupaciones diarias que representan una excesiva carga de trabajo, imposibilitando el manejo de información útil para la investigación. Por ello, se necesitó recurrir a otras fuentes de información, justificando la participación de los talleres de reparación de motores, ya que, se logró contar con información valiosa en sus registros, lo que, obligó la distribución del tiempo entre los talleres y las empresas y en algunos casos, posponer las visitas a empresas.

Por lo tanto, las visitas a las empresas se limitaron a conocer el proceso productivo donde operan estos motores, las entrevistas con el personal a cargo del mantenimiento y los condiciones en que operan los equipos y las visitas a los talleres se enfocaron a recolectar la información concerniente a las fallas de los motores a partir de sus registros técnicos. En la tabla número 1 se muestra la lista de empresas visitadas.

Tabla N1 Lista de Empresas Visitadas.

1. Bigcola Costa Rica	2. Holcim Costa Rica S.A.
3. Plycem	4. Baxter Health Care Costa Rica
5. Gruma Centroamericana (Demasa)	6. Novartis (Gerber)
7. Kimberly Clark Costa Rica	8. Irex de Costa Rica S.A.
9. Extralum	10. Metalco
11. Bridgestone de Costa Rica (Firestone)	12. Estructuras de Concreto S.A. (Escosa)
13. Durpanel S.A.	14. Corrugados Belén (Corbel)
15. Empaques Santa Ana S.A.	16. Amanco Costa Rica
17. Vidriera Centroamericana S.A. (Vicesa)	18. Cooperativa de Productores de Leche R.L. (Dos pinos)
19. Mabe	20. Aluminios Nacionales S. A. (Alunasa)
21. Fhacasa. Fábrica de Harinas de Centroamerica SA	22. Florida Ice and Farm (Cervecería Costa Rica)

Fuente: Elaborado por los investigadores

Se destaca que la cantidad de información suministrada por las empresas fue escasa. Dentro de las principales razones se mencionan la gran cantidad de tareas del personal encargado del mantenimiento de los motores, paralelamente con la inexistencia de un registro técnico sobre fallas y reparaciones.

Se notó que en la mayoría de las empresas no aplican técnicas de Mantenimiento Preventivo o Predictivo de fallas de motores. Algunas empresas subcontratan el mantenimiento de los motores de las áreas de producción más críticas. Muchos de los ingenieros responsables del mantenimiento de estos equipos, tiene clara conciencia de las principales causas de fallas (temperatura alta en zona de operación, contaminación por agua, polvos o partículas propias del proceso) sin embargo, no les es posible dar el seguimiento adecuado y las condiciones desfavorables se mantienen.

Paralelamente a las visitas de empresas, se visitaron algunos talleres de reparación de más importancia, ya que con la poca cantidad de información de las empresas, se hizo necesario buscar más información en otras fuentes.

Se visitaron los siguientes talleres según se muestra en la tabla N2.:

Tabla N2. Talleres visitados. Elaborado por los investigadores.

Nombre	Localización
1. Reconstructora Nacional de Motores eléctricos (RENAME)	Oreamuno de Cartago
2. Gines Electric	Tibás, San José
3. Electromotores de Costa Rica	El Coyol de Alajuela
4. Taller Barrio La Cruz	Barrio la Cruz, San José
5. Taller Fonseca y Vázquez	Belén de Heredia
6. Globaltec	Guarco de Cartago

Fuente: Elaborado por los investigadores

Los talleres de reparación de motores, fueron los que aportaron los datos para la realización del estudio. Sin embargo, gran parte de la información que documentan y registran se basa en información técnica para el rebobinado del motor, restando importancia al tipo de falla y la causa de la misma.

Cabe destacar que, la mayoría de los talleres no registran la información de las fallas reportadas, ya que, argumentan que las empresas clientes, les exigen, un tiempo de respuesta corto, bajo costo de la reparación y garantía por el trabajo realizado.

Pocas empresas se interesan por recibir un reporte técnico de los trabajos realizados en el taller, que puede contribuir a la corrección del daño presentado.

Los talleres RENAME y Electromotores, se destacan por el nivel de organización de la información, y registrar en forma detallada el tipo y descripción de la falla presentada. Los nombres de los tipos de falla, esta basado en la identificación proporcionada por el taller, y muchas fallas solo muestran el modo de falla "motor quemado" que no permite determinar una posible causa de la misma.

Respecto a las prácticas y procedimientos encontrados en los talleres de reparación de motores, esta es diversa. Existen talleres que están inscritos a organizaciones como EASA (Electrical Apparatus Service Association), la cual, brinda soporte técnico de los procedimientos estandarizados internacionalmente que garanticen la calidad de sus trabajos, así como los métodos, técnicas y materiales adecuados para mantener las características originales del motor.

A pesar de que otros talleres no están afiliados a EASA, no significa que los trabajos realizados sean de mala calidad. Sin embargo, la incorporación a una asociación internacional que estandarice los métodos, certifica y avala la reparación (sello de calidad).

En cuanto a la capacitación, se realizaron dos charlas, la primera en Cartago y la segunda en San José. La charla en Cartago se realizó en las instalaciones de Globaltec, y contó con la participación de 14 personas.

La charla realizada en San José, utilizó las instalaciones en el CETT de Zapote, (instalaciones del ITCR), donde se contó con la participación de 13 personas.



Figura 2. Fotografía de la Capacitación técnica en reparación de motores.

Ambas capacitaciones fueron impartidas por un experto en el tema de reparación de motores, con amplia experiencia en el campo, junto con el apoyo de los investigadores.

Aspecto importante de mencionar, producto de la indisponibilidad del personal encargado del mantenimiento de los motores en la zona de san José, fue difícil concertar su participación en la primera convocatoria, por lo fue necesario reprogramar la charla.

La actividad de capacitación consistió en una charla donde se expuso un método de análisis de fallas, llamado “causa raíz”, entre los temas destacaron, la clasificación global de las fallas por componente, diagnóstico de fallas mediante pruebas de aislamiento, identificación de las fallas según su patrón. También se insistió en la importancia de registrar datos de reparación y mantenimiento de motores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el primer objetivo, en que se plantea la identificación y clasificación de las fallas de mayor incidencia por cada sector bajo estudio, se logra obtener los siguientes resultados, según se muestran en el gráfico N° 1 (ver apéndices).

Existen cinco sectores que contribuyen de una forma significativa con los resultados obtenidos en esta investigación, los cuales son:

Sector Alimenticio, sector de Manufactura de Materiales de Construcción, Servicios, Papel y Agroindustria. Los cuales representan el 76.7 % de la población total de datos bajo estudio y el otro 22.4% corresponde a los sectores a Manufactura automotriz, Metalmecánica, Plástico, Química, Empresas Constructoras, Médica.

Cabe destacar que esta clasificación de sectores, fue realizada con base en las semejanzas de las condiciones de operación que exige cada proceso productivo y del producto final obtenido.

En cuanto al sector Alimenticio, el cual tiene una representación de 23% del total de fallas analizadas, destacan las siguientes empresas:

Gerber, Mundimar, Copecoronado, Pipasa, Femsa y Kraf; siendo Gerber la que más contribuye con un 27,3 % de este sector, o un equivalente del 6,5% del total de datos analizados. De ese sector se puede denotar que los modos de falla más recurrentes son: Sobrecarga, Mantenimiento y Quemado⁴.

En cuanto al modo de falla Quemado (ver figura N° 3), que representa 31.8% del sector alimenticio, no permite inducir una causa probable de falla (las cuales pueden ser varias), motivando a los investigadores a profundizar en el análisis de la causa raíz, aspectos que serán desarrollados en la etapa siguiente del proyecto.



Figura N°3. Fotografía Falla Quemado

En cuanto a las demás fallas detectadas, su nombre facilita el análisis causa-raíz, el cual está fuera de los alcances de este proyecto.

Para el sector de la Manufactura de Materiales para la Construcción, el cual representa un 18,5% del total de fallas, siendo las empresas con mayor participación las siguientes: Holcim, Plycem y Cemex, sumando ellas un total de 11,8% del total de datos analizados, de este grupo Holcim, contribuye con el 27,2% de los datos y un 5% del total. Plycem con un 20,4% de ese sector industrial y con un 3,8% del total bajo estudio, por su parte Cemex, aporta el 16% de su sector y un 3,1% del total.

En este sector las fallas con mayor incidencia son sobrecarga (1,4%, ver figura N° 4), quemado (6,5%) y mantenimiento (1,4%, ver figura N° 6).

El tipo de falla clasificado como "mantenimiento", no representa una falla, sin embargo, se determinó que una cantidad importante de motores, son intervenidos en el taller, para

⁴ Ver glosario

someterlos a una inspección general, que incluye barnizado, cambio de roles, pintura y acondicionamiento, según corresponda. Todo esto obedece principalmente a políticas empresariales y que no surge de decisiones o recomendaciones técnicas del personal encargado del mantenimiento.



Figura N° 4. Fotografía Falla Sobrecarga

Por lo general las empresas que realizan este tipo de prácticas, coordinan previamente con el taller y con el departamento de producción, la ejecución de estas labores.

Estas prácticas de mantenimiento son ventajosas desde el punto de vista productivo, pues son paros programados y no afectan el programa de producción; y permiten al taller planificar el recurso humano, materiales y equipos necesarios, que permitan garantizar la calidad del trabajo.

Otra ventaja de estas intervenciones es que el motor es llevado al taller sin tener falla catastrófica⁵, con cual se prolonga la vida útil del mismo. Cuando un motor se ha quemado, tanto el bobinado y el núcleo magnético se dañan. Es viable el reemplazo de

los conductores del bobinado de forma rentable, no así del núcleo magnético, que aunque puede seguir operando, ha experimentado degradación de sus propiedades.

Para el personal encargado del mantenimiento de estas máquinas, por lo general, estas prácticas son aplicadas a la línea crítica de la producción, sin embargo según las entrevistas realizadas en las visitas, no se posee suficientes argumentos técnicos en la selección de las máquinas que se llevan al taller, y por lo general, se llevan motores a los que solo se le realiza cambio de pintura, limpieza interna con productos dieléctricos y secado al horno para mejorar las condiciones del aislamiento.

Aunque, en primera instancia, el realizar un mantenimiento programado es ideal, debe de tenerse el cuidado de no incurrir en gastos de montaje y desmontaje innecesarios.



Figura N°5. Fotografía Falla Mantenimiento

⁵ Ver glosario

Respecto al sector de Servicios representa el 18% del total de la población, sin embargo, resulta muy ambiguo el análisis de este sector, ya que, existe mucha diversidad de empresas (participan 21 empresas en 34 fallas) y no existe un proceso productivo al que se pueda asignar. Aunque no existen empresas que representen al sector, si se puede denotar que las fallas más recurrentes son Quemado, Sobrecarga, Mantenimiento y Rodamiento, donde se observa la tendencia de los otros sectores.

En relación al sector Papel, representa el 7% de la población, cuyas empresas más representativas son Kimberly Clark de Cartago y Corrugados del Guarco. En las fallas que presentan mayor incidencia son: Quemado, Mantenimiento y Corto de estator. Durante las visitas realizadas se pudo apreciar que los equipos de producción operan bajo un ambiente de mucha humedad, y contaminación por partículas de papel en suspensión, las cuales se dieron a la carcasa de los motores, y demás componentes, formando una capa aislante que dificulta la ventilación.

En el sector Agroindustrial, el cual representa el 10%, de los cuales, las empresas que presentan mayor participación son Coopellanobonito, Coopeagri y Fructa. En cuanto a las fallas de mayor incidencia son Mantenimiento y Quemado.

Para el resto de los sectores representados por las industrias Manufactura automotriz, Metalmecánica, Plástico, Química, Constructoras y Médica, que presentan menor participación, se puede enfatizar, que las fallas más significativas son Quemado, Corto en el estator, Mantenimiento y Sobrecarga, siendo Quemado la que representa un 44% de incidencia de este sector, continuando con la tendencia de los sectores anteriores.

En general, las fallas de mayor incidencia se concentran en cinco tipos, Quemado (38.8%), Mantenimiento (17.4%), Sobrecarga (12.8%), Corto Estator (7.8%, ver figura 6) y Falla de Rodamiento (6.4%, ver figura 7), todos estos representan el 83% del total de fallas analizadas.



Figura N°6. Fotografía Falla Corto Estator

ambiente de trabajo en los que operan, el tipo y políticas del mantenimiento que estos reciben, y la adecuada selección de los mismos acorde a la aplicación desarrollada, factores fundamentales que inciden en el tipo de falla que los mismos pueden presentar.

A pesar de que la actividades productivas desarrolladas en los cinco sectores de mayor impacto son diferentes, existen semejanzas en cuanto a los tipos de fallas presentados, algunos de estas con menor o mayor participación de acuerdo al sector productivo, pero igualmente importantes y merecedoras de una atención adecuada; siguiendo la tendencia, según se explica en el párrafo anterior.

A pesar de existir diferencias en los procesos productivos, y en los tipos de

máquinas que los motores manejan, las diferencias están principalmente en el



Figura N° 7. Fotografía Falla por rodamiento

IV. CONCLUSIONES

- 1) Las fallas de los sectores en estudio, que presentan mayor incidencia y ordenadas descendientemente son: Quemado, Mantenimiento, Sobrecarga, Corto Circuito Estator y Rodamiento.
- 2) Los sectores productivos que presentan mayor incidencia de fallas son: Alimenticio, Agroindustria, Manufactura de materiales de construcción, Servicios e industria del papel, a pesar de la variedad de sectores productivos, existe convergencia en los cinco tipos de fallas.
- 3) La clasificación de fallas en los registros de reparación de los talleres no facilita la identificación de la falla, al no existir interés de parte de las empresas clientes por exigir informes técnicos detallados, que evidencia la necesidad de mejorar las normas, procedimientos y prácticas que se emplean en la prevención de fallas.
- 4) El personal técnico capacitado mostró desconocimiento de políticas y normas orientadas a la prevención de fallas, a pesar de conocer técnicamente los equipos involucrados.

V. RECOMENDACIONES

1. Incluir el tema de selección de motores, análisis y diagnóstico de fallas en el curso de Máquinas Eléctricas en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
2. Adquirir equipo de diagnóstico de fallas de motores para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
3. Realizar demostración de fallas y pruebas de diagnóstico en el curso de laboratorio de Máquinas eléctricas en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
4. Fortalecer el tema de selección de protecciones para motores eléctricos, e incluir el tema de diagnóstico de protecciones en el curso de Control Eléctrico en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
5. Fomentar el uso de instrumentos de diagnóstico de variables eléctricas de motores en el Curso de Mantenimiento Predictivo en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
6. Enfatizar en los cursos de Administración del Mantenimiento la importancia de un adecuado registro de fallas de motores en la gestión del mantenimiento de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.
7. Establecer un adecuado registro de control de fallas de motores que permita su identificación y la toma de acción para minimizarlas en las empresas industriales.
8. Definir un adecuado procedimiento de selección, implementación y operación de motores que garanticen su disponibilidad.
9. Fortalecer la relación de taller de reparación de motores y las empresas que permita retroalimentarse en cuanto a la reparación y puesta en marcha del motor.
10. Continuar con la identificación y registro de las fallas de manera puntual que conduzca a mejor clasificación de las mismas, para hacer recomendaciones a las empresas.
11. La decisión de cuales motores deben ser enviados al taller deben estar basado en técnicas modernas de mantenimiento que permitan la adecuada selección de los motores.

VI. APORTES Y ALCANCES

Con los resultados de este proyecto, la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, cuenta con la posibilidad de fortalecer los contenidos de los cursos descritos en las recomendaciones, y de esta forma contribuir con el mejoramiento en la formación profesional y técnica de sus egresados.

En reuniones realizadas con las asociaciones gremiales del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, específicamente Colegio de ingenieros tecnólogos y Asociación Costarricense de Ingenieros en Mantenimiento, existe un interés en difundir el tema de estudio de fallas de motores eléctricos en forma integral, a través de sus agremiados, esto significa que el tema se aborde no solo como una charla, sino como un tema central de varias sesiones de charlas, foros, etc., donde se concientice la importancia del mismo.

Con esto ultimo, la carrera, la escuela y el Tec, lograrían un mayor acercamiento con el sector productivo del país.

Como parte del proyecto, se logro la participación con una ponencia en CONCAPAN 2008 (Convención de Centroamérica y Panamá de IEEE); con un tema relacionado con el proyecto.

Los investigadores pretenden divulgar los resultados de este proyecto, a través de artículos en revistas de reconocido prestigio, entre ellas están "Tecnología en Marcha".

Con las visitas realizadas a los talleres de reparación de motores, algunos de ellos (Electromotores y Rename) han modificado su forma de documentar las fallas atendidas, principalmente como un apoyo al proyecto de investigación y mejorar la calidad del servicio a sus clientes.

Se entregara un resumen a las empresas participantes, con los resultados más relevantes del proyecto, buscando concientizar la importancia que el tema merece.

Al concluir este proyecto, se puede afirmar que se tiene la base, para el inicio de la segunda etapa del tema de análisis de fallas de motores, el cual tratará de encontrar las causas que provocan las fallas detectadas en este proyecto. De lograrlo, se estaría aportando recomendaciones para eliminar o mitigar la aparición de las fallas en estos equipos.

Con los resultados de este proyecto, los investigadores han detectado que este tema de estudio, se puede profundizar y vincular con otras afines, mediante la participación de especialistas en diferentes áreas, vinculadas con el tema de prevención de fallas de motores eléctricos; mediante actividades de capacitación dirigidas al personal técnico y profesional, responsable del mantenimiento de esos equipos.

VII- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hernández Sampieri, Roberto; Fernández, Carlos; Baptista, Pilar. Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición, México 2006.
- [2] IEEE Comité Report, "Report of large motor reability survey of industrial and comercial installations part I and part II," IEEE Ttrans. Ind. Aplicat., vol. IA-21, no.4, pp 853-872, July/August. 1985.
- [3] Thorsen, Olav and Dalva Magnus. A Survey of Faults on Induction Motors in Offshore Oil Industry, Petrochemical Industry, Gas Terminals, and Oil Refineries. IEEE Trans. Ind. Aplicat. Vol 31, No 5, September/October 1995.
- [4] Bonnett, Austin and Soukup, George. "The cause and analysis of stator and rotor failures in AC induction machines". EASA, Tech note No 3, nov1999.
- [5] Chapman, Stephen J. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc Graw Hill, cuarta edición, México 2003.
- [6] Electrical Apparatur Service Association. A guide to AC motor repair and replacement. St. Louis, MO, 1999.
- [7] Electrical Apparatur Service Association. EASA Standard AR-100-1998: Recommended practice for the repair of rotating electrical apparatus. St. Louis, MO, 1998.
- [8] Electrical Apparatur Service Association. Guidelines for repair / replace decisions and performance optimization. St. Louis, MO, 2001.

VIII- GLOSARIO

Corto Circuito Estator: Se define como contacto directo entre dos conductores de espiras o bobinas de diferente potencial eléctrico.

Falla: Condición de operación defectuosa impide cumplir con su cometido.

Falla catastrófica: Evento repentino que provoca la destrucción de algún componente del motor eléctrico que impide la operación normal.

Falla de rodamiento: Representa el defecto mecánico que impide al rodamiento cumplir con sus funciones de diseño.

Mantenimiento Predictivo: Técnica moderna de mantenimiento basada en el monitoreo de ciertas variables eléctricas y mecánicas.

Falla por Mantenimiento: Desde el punto de vista de falla, representa la salida de operación del motor eléctrico para verificar la condición y el estado de sus componentes respondiendo a un diagnóstico técnico previo.

Método causa-raíz: Herramientas metodológica para el diagnóstico de la causa de falla.

Pérdida de Fase: Desconexión accidental del sistema trifásico de una o dos líneas de alimentación eléctrica que provoca una sobrecarga en las bobinas de las líneas energizadas.

Quemado: Falla de funcionamiento del motor eléctrico, en la que existe un daño total de los devanados del estator causado por sobrecalentamiento.

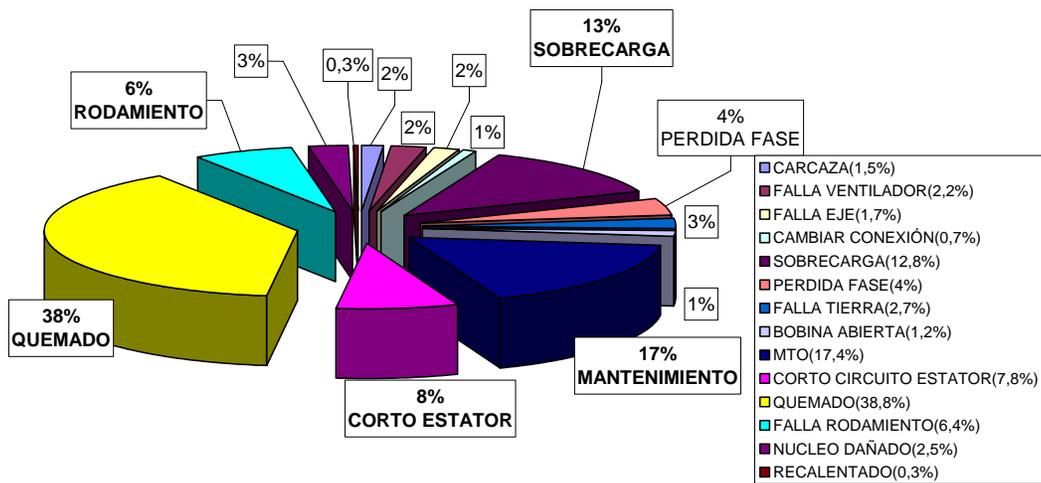
Rebobinado: Sustitución del hilo conductor de una bobina eléctrica dañada.

Sobrecarga: Condición de operación de los motores eléctricos, que exige potencia mecánica superior a su valor de diseño, generando recalentamiento de sus devanados.

IX- APÉNDICES

Gráfico N° 1

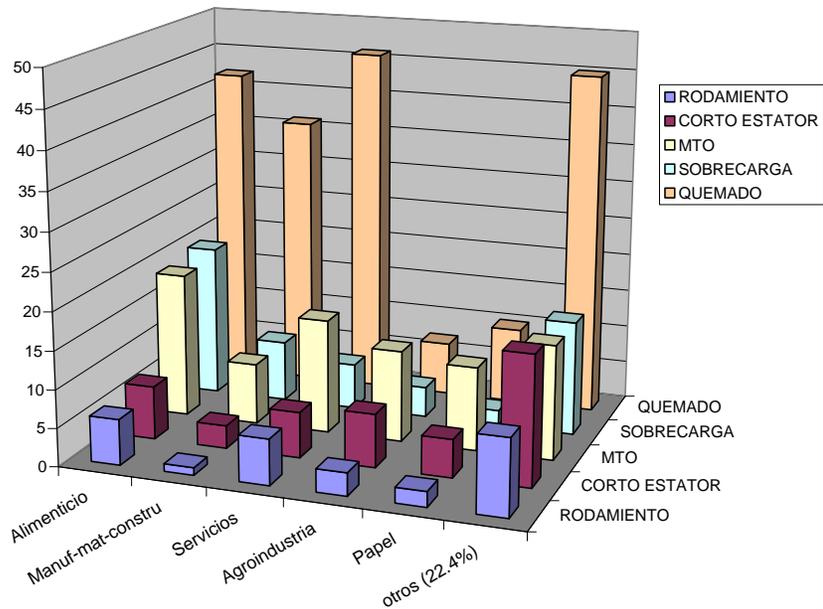
DISTRIBUCIÓN DE FALLAS TOTALES



Fuente: Elaborado por los investigadores

Gráfico N°2

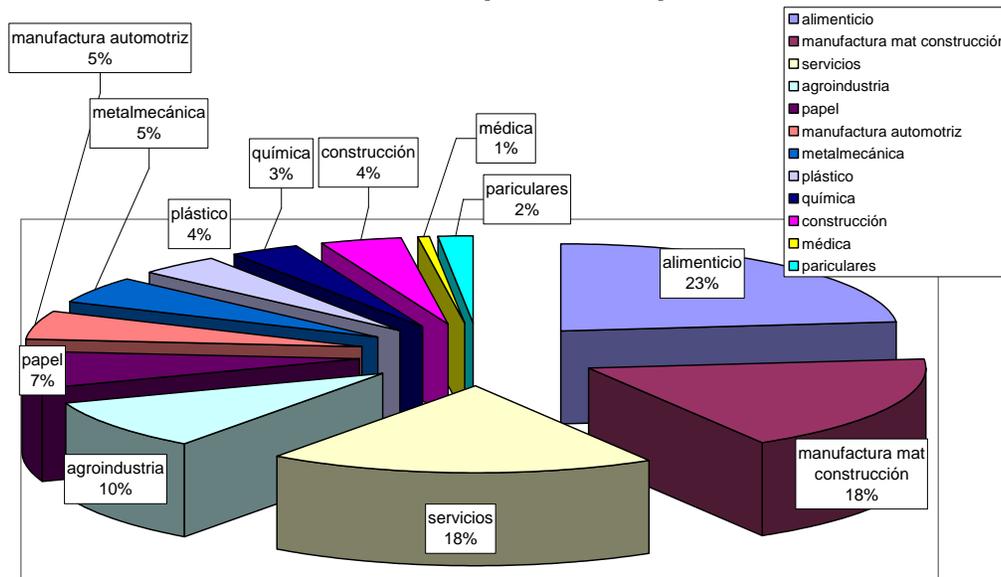
Distribución de Fallas por sector



Fuente: Elaborado por los investigadores

Gráfico N°3

Cantidad de fallas por sector productivo



Fuente: Elaborado por los investigadores

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica
Proyecto Estudio de Fallas en Motores Eléctricos



Fuente: Elaborado por los investigadores

Cuestionario de recopilación de datos técnicos de las empresas relativos al mantenimiento y reparación de los motores eléctricos.

Presentación:

Como parte de las actividades del proyecto, se hace necesario recabar alguna información técnica, la cual servirá como insumo para el análisis posterior y la toma de decisiones. Sírvase responder cada una de las preguntas marcando en las casillas en los espacios correspondientes

I- Información general

Nombre de la empresa: _____

Fecha: _____

Actividad principal de la empresa: _____

Sector productivo en el que se clasifica:

Alimenticio Construcción Medica Textil Papel

Manufactura Plástico Química Automotriz Productos

limpieza

Otra: _____

II- Información de población de motores

1-Cuál es la población total de motores eléctricos en su empresa: _____ (sino conoce el dato exacto, indique un aproximado)

2-Cuántos motores son trifásicos de inducción, cuyas potencias oscilan entre 2 y 50 HP: _____ (sino conoce el dato exacto, indique un aproximado).

3- Cuales son los principales criterios que ustedes aplican en la selección de motores.
Potencia Mecánica _____ Voltaje y Frecuencia _____ Velocidad _____
Otros _____. **Favor comentar otros aspectos no mencionados.**

III- Información sobre el mantenimiento y reparación de motores

4-Existe en su empresa taller de mantenimiento de motores?

Si ___ Continué con pregunta 4 No ___

5-Si su respuesta es Si, indique si tipo de mantenimiento es:

Leve y superficial General Especializado

6-De la siguiente lista, cuales equipos son utilizados en su empresa para el mantenimiento de motores:

Medidor de aislamiento eléctrico

Analizador de vibraciones

Analizador de armónicas

Equipo para alineamiento

Analizador de flujo de potencia

Cámara de termografía

Multímetro (Tester)

Termómetro digital

Otro, indique: _____

7- ¿Cuenta su empresa con taller de rebobinado de motores?

Si Continúe No Pase a la pregunta 10

8-Cuenta su empresa con los siguientes equipos e instrumentos para la reparación de motores:

- Equipo de prueba de núcleos
- Equipo de comprobación de rotores
- Manuales de conexiones
- Manuales de fabricantes

9-Las reparaciones cumplen con procedimientos recomendados por EASA, IEEE, IEC

Si No Algunas veces

10-Que tipo de información de reparaciones de motores eléctricos mantiene registrada su empresa o departamento.

Detallada General Poca Ninguna

11- El mantenimiento es contratado a una empresa especializada en reparación y mantenimiento de motores

Si No Algunas veces, dependiendo de la falla

12- Si su respuesta es Si, anote las razones por las que reparan motores en un taller externo, puede marcar más de una opción.

No cuentan con equipo, instalaciones o infraestructura especializados.

No cuentan con la cantidad o el personal idóneo

No es política de la empresa

Otra: _____

IV Información sobre el taller de reparación de motores eléctricos

13- Si se contrata el servicio de mantenimiento y reparación de motores, conoce usted las instalaciones de dicha empresa o taller. Si No

14-Sabe usted si dicho taller realiza algún procedimiento reconocido antes, durante y después de la reparación del motor.

Si No

15-Recibe información acerca del trabajo hecho en los motores que envía al taller

Siempre A veces Casi nunca Nunca

16-La información que recibe del taller es:

Completa y detalla Confusa y superficial General

17-Conoce usted la calidad y tipo de los materiales con que son reparados los motores?

Si No No me interesa conocerlos

18. Qué aspectos le exige su empresa al taller de reparación.

Bajo Precio Poco tiempo de entrega facilidad en los trámites de pago

Otros: _____ favor agregar todos los aspectos no considerados.

V Información sobre el personal y prácticas de mantenimiento

19-Considera usted que el personal responsable del mantenimiento de los motores, posee los conocimientos y práctica necesarios para realizar las tareas que le corresponden, particularmente en el tema de motores eléctricos

Si No No lo se

20-Recibe usted de parte de sus colaboradores, la información necesaria de los trabajos realizados en los motores eléctricos.

Si No Parcial No me interesa conocerla

21-Existe en su empresa un plan de mantenimiento de motores

Si No Solo para los más importantes

22-Si su respuesta es afirmativa, que tipo de mantenimiento aplican:

Correctivo Preventivo Predictivo

Otro: _____

23- ¿Existe en su empresa otras prácticas de mantenimiento que pueden incidir en la buena operación de los motores? Puede marcar más de una.

Mantenimiento de instalaciones eléctricas

Verificación de protecciones

Monitoreo de calidad de energía

Monitoreo de condiciones mecánicas

Otras: _____

24- Existe en su empresa un registro sobre las fallas de motores que se han presentado

Si No Solo para los más importantes

Si su respuesta es afirmativa, que tan completo es:

Muy completo Parcial Poca información

25- Se selecciona en su empresa los motores, con un criterio técnico por parte de alguien con conocimientos que lo capaciten para hacerlo?

Si No Algunas veces

26- Para su empresa que es lo mas importante a la hora de adquirir un motor? *Escoja la que tenga mas impacto para usted.*

El precio Calidad y la marca Servicio y respaldo técnico

27-¿Quiénes seleccionas los motores eléctricos en su empresa? *Puede marcar más de una.*

- Ingeniero a cargo
- Gerente de área o general
- Encargado de compras de la empresa
- Proveedor o vendedor
- Otra persona, indique el puesto: _____

28- Se considera el ambiente de operación (polvo, humedad, temperatura) en la selección del tipo de motor eléctrico.

_____ Siempre _____ A veces _____ Nunca

29- Se verifica en su empresa que la instalación eléctrica y mecánica de los motores se realice correctamente.

Siempre Algunas veces Casi nunca Nunca

30- Se comprueba si el motor eléctrico opera en el ambiente de trabajo para el cual fue diseñado.

Siempre Algunas veces Casi nunca Nunca

Para el equipo investigador es de mucho valor, conocer sus respuestas y compartir el conocimiento, para el fortalecimiento del proyecto, si tiene algún comentario o sugerencia que quiera compartir, sírvase anotarlo en los siguientes espacios. De antemano agradecemos sus aportes ya brindados.
Gracias

Comentarios adicionales



Intituto Tecnológico de Costa Rica
 Proyecto Estudio de Fallas en Motores Eléctricos

Reporte de Falla

CLIENTE:

FECHA:

DIRECCION:

CONTACTO:

DATOS DE PLACA DEL EQUIPO					
MARCA:		RPM:		S.F.:	
HP/KW		FASES:		GRADO PROT:	
VOLTAJE:		HZ:		FRAME:	
CORRIENTE:		DISEÑO:		AISLAMIENTO:	

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PRESENTADA					

ANALISIS CAUSA RAÍZ DE LA FALLA					
1. DESCRIPCIÓN DE LA FALLA:					
2. APARIENCIA DE LA FALLA:					
3. POSIBLE CAUSA DE LA FALLA:					
4. HISTORIAL DE LA FALLA: (Falla recurrente, descripción)					

SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN					
Tipo de Arranque:	(Directo, Y-D, Autotrafo, Estado Sólido, VDF)				
Protección Corto Circuito:	Tipo:		Amperios:	Ajuste:	
Protección Sobrecarga:	Tipo:		Amperios:	Ajuste:	
Otras Protecciones:					
Cable de Alimentación:	Número AWG:		/ Fase	Número AWG:	Tierra
Distancia Estimada (mts):	(Entre control y motor)				

CONSUCUENCIAS DE LA FALLA					
Consucuencias:					
Estimación costos por falla:					
Otras:					

OBSERVACIONES ADICIONALES					

Encargado:

Procesada: Para uso del proyecto

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica
Proyecto Estudio de Fallas en Motores Eléctricos

Recopilación de datos técnicos de fallas de motores eléctricos

Empresa	Sector Productivo	Orden de trabajo	Potencia	HP/kW	Velocidad	Fabricante	Voltaje	Falla