

FUES  
1504  
C348a  
1999  
Ej. 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“Evaluación de Datos de Confiabilidad de Equipo Eléctrico  
en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:**

**GUALBERTO GREGORIO CASTELLANOS ESCOBAR**  
**LUIS HERIBERTO MARROQUÍN VENTURA**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**



15101157  
15101157

4645

**CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 1999**

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**



RECTOR:

**DR. JOSÉ BENJAMÍN LÓPEZ GUILLÉN**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. ENNIO ARTURO LUNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. JOAQUÍN ALBERTO VANEGAS AGUILAR**

SECRETARIO:

**ING. ÓSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS**

SECRETARIO:

**ING. MARVIN HERNÁNDEZ**



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**“Evaluación de Datos de Confiabilidad de Equipo Eléctrico  
en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales”**

**PRESENTADO POR:**

**GUALBERTO GREGORIO CASTELLANOS ESCOBAR  
LUIS HERIBERTO MARROQUÍN VENTURA**

**COORDINADOR:**

**ING. MARVIN HERNÁNDEZ**



**ASESOR:**

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS**

**SAN SALVADOR, JULIO 1999**

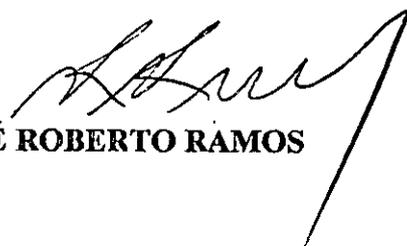
TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR:

  
ING. MARVIN HERNÁNDEZ

REGISTRO NACIONAL DE ARQUITECTOS E INGENIEROS  
GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ  
INGENIERO ELECTRICISTA - Registro No 18 0888  
M.O.P - V.M.V.D.U. EL SALVADOR, C. A.

ASESOR:

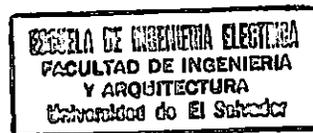
  
ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA  
Universidad de El Salvador

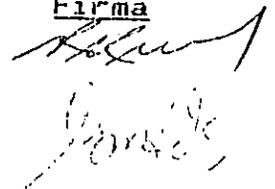
ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 02 de julio de 1999 en el local de Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las once horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Ing. José Roberto Ramos López  
Director
- 2- Ing. Gerardo Marvin Jorge Hernández  
Secretario



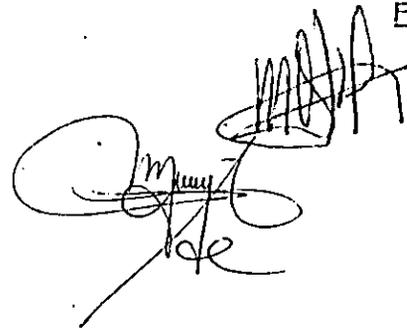
Firma



Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas siguientes:

- 1- Ing. Mauricio Quiñónez
- 2- Ing. Armando Martínez Calderón

Firma



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

"Evaluación de Datos de Confiabilidad de Equipo Eléctrico en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales"

A cargo de los Bachilleres:

CASTELLANOS ESCOBAR, GUALBERTO GREGORIO  
MARROQUIN VENTURA, LUIS HERIBERTO

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 7.9

' Siete punto nueve . '

**Trabajo dedicado a:**

El Señor Dios de mis antepasados y mío, creador y sustentador de la vida.

Pedro Gregorio, mi abuelopadre, quien habría querido vivir para ver este día feliz.

Marta Julia, mi abuelamadre, a quien mi carrera le cobró la más alta factura de soledad.

Mis padres, aliciente y acicate durante todos estos años de estudio.

Noemy Lizarda, ayuda idónea, mi única esposa y madre de mi único hijo.

David, mi hijito, el objeto de mi sacrificio, mis sueños y mis esperanzas.

**Gualberto Gregorio Castellanos Escobar**

**Trabajo dedicado a:**

Dios Todopoderoso, que me dio la sabiduría y capacidad para llevar a cabo este trabajo de graduación, y que me dio fuerzas para continuar con el mismo, aun en los momentos más críticos.

Mis padres, Édgar y Ana María, que me apoyaron durante toda mi carrera y siempre estuvieron conmigo en todo momento.

Mi hermana, Ana Cidalía.

Mi esposa, Flor de María, así como a sus padres, por haberme brindado todo su apoyo y comprensión, en especial a mi esposa quien siempre estuvo pendiente de cualquier situación fuera buena o mala durante mis estudios.

**Luis Heriberto Marroquín Ventura**

## **PREFACIO**

Actualmente se hace mucho énfasis en la confiabilidad, seguridad y calidad del equipo industrial y los productos de consumo, como consecuencia de diversas tendencias nacionales e internacionales que orientan los procesos productivos. Una de ellas, la globalización, trae consigo nuevos desafíos a las empresas nacionales, en el sentido de que se acrecienta la competencia y exige mayor eficiencia en el uso de los recursos.

En tal sentido, es imprescindible realizar estudios de confiabilidad en los sectores productivos, a fin de minimizar costos de producción, mejorar los programas de mantenimiento, prolongar la vida útil de los equipos y hacer un uso más racional de la energía eléctrica, todo lo que redundará en notables beneficios económicos para las empresas.

El presente Trabajo de Graduación es el primer esfuerzo de estudio de confiabilidad para los sistemas eléctricos de potencia instalados en los sectores industrial y comercial del área metropolitana de San Salvador, con una demanda superior a los 50 KW. De hecho, nunca antes se ha realizado en nuestro país una investigación en esta dirección, a pesar de ser una exigencia que reviste capital importancia en los modernos tiempos de la tecnología masiva.

La investigación está inspirada en el modelo ofrecido por la IEEE en su libro "IEEE Recommendations for safety design of industrial and commercial power systems" (Segunda Edición, 1995), mejor conocido como "Gold Book". Dicho reporte ofrece los resultados de confiabilidad obtenidos en los Estados Unidos. Naturalmente, el esquema original ha sufrido un proceso de adaptación a la realidad salvadoreña.

Este estudio puntualiza la importancia de los estudios de confiabilidad para optimizar los sistemas eléctricos de potencia y ofrece recomendaciones, conclusiones y evaluaciones, como resultado de un análisis estadístico. El objetivo es ofrecer un aporte que contribuya al mejor desempeño de las empresas y en consecuencia, al desarrollo del país.

## RESUMEN

El material de este trabajo está organizado en tres capítulos que responden a la necesidad de plantear un marco teórico, detallar el método de investigación y presentar los resultados obtenidos.

En el primer capítulo se presenta una reseña teórica de los fundamentos del estudio de confiabilidad, así como un enfoque de la importancia que esta disciplina ha cobrado en los últimos años en diversas ramas de la tecnología. Se tratan las acciones preventivas que permiten mejorar la confiabilidad y se describen los parámetros con los que se ejecutan los análisis de confiabilidad. Asimismo, se exponen algunos métodos estadísticos que involucran desarrollos teóricos y controles de los equipos operando en el campo.

En el segundo capítulo se ofrece una descripción detallada del método de investigación utilizado. Se delimita el área geográfica bajo estudio (el "Gran San Salvador"), los sectores consultados (la industria y el comercio con demanda superior a los 50 KW), el análisis para la obtención de la muestra, la lista de empresas elegidas y el diseño final de la encuesta. Se aborda también el método de distribución de la encuesta, que resulta ser uno de los problemas básicos de este tipo de investigación.

En el capítulo tercero se exponen los resultados obtenidos a partir de las encuestas recuperadas, en formatos de tablas, gráficos y comentarios. Se presentan finalmente una serie de conclusiones y recomendaciones.

## TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO	Página
1. Generalidades sobre confiabilidad.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Concepto de confiabilidad.....	1
1.3. Confiabilidad y calidad.....	1
1.4. Acciones preventivas para mejorar la confiabilidad.....	1
1.4.1. Predicción de confiabilidad.....	2
1.4.2. Ensayos clásicos de confiabilidad.....	3
1.4.3. Ensayos acelerados de confiabilidad.....	3
1.4.4. Eventos esporádicos.....	4
1.4.5. Mejoras en la explotación.....	4
1.4.5.1. Seguimiento de campo.....	5
1.4.5.2. Análisis de fallos.....	5
1.4.5.3. Identificación de las soluciones.....	6
1.5. Métodos de evaluación de confiabilidad.....	6
1.5.1. Cálculo de confiabilidad de componentes.....	6
1.5.1.1. Modelo exponencial.....	6
1.5.1.2. Modelo de Weibull.....	7
1.5.2. Confiabilidad de un sistema en serie.....	7
1.5.3. Confiabilidad de un sistema en paralelo.....	8
1.5.4. Confiabilidad de un sistema compuesto.....	8
1.6. Glosario.....	9
1.7. Conclusiones del capítulo I.....	12
1.8. Referencia bibliográfica del capítulo I.....	12
2. Metodología de la investigación.....	13
2.1. Introducción.....	13
2.2. Delimitación del área de investigación.....	13
2.3. Método estadístico aplicado.....	13
2.3.1. Teoría muestral.....	13
2.3.2. Cálculo de la muestra.....	15
2.3.3. Listado de las empresas encuestadas.....	16
2.4. Proceso de elaboración de la encuesta.....	20
2.5. Formulario de encuesta.....	22
2.6. Método de distribución de la encuesta.....	31
2.7. Conclusiones del capítulo II.....	31
2.8. Referencia bibliográfica del capítulo II.....	31

3. Análisis de datos.....	32
3.1. Introducción.....	32
3.2. Transformadores.....	32
3.2.1. Tiempos de reparación y sustitución para transformadores de potencia.....	34
3.2.2. Tiempos de reparación y sustitución para transformadores de entrada de rectificadores de potencia.....	35
3.2.3. Fallas y tiempos de reparación de transformadores de potencia cotejados con la edad.....	36
3.2.4. Causas de fallas en transformadores.....	37
3.3. Motores de inducción y de corriente directa.....	42
3.3.1. Fallas y tiempos de reparación para motores de inducción y de corriente directa.....	45
3.3.2. Fallas y tiempos de reparación para tableros de arranque y control..	49
3.3.3. Modalidades de reparación de fallas en motores de hasta 50 Hp.....	52
3.3.4. Modalidades de reparación de fallas en motores mayores de 50 Hp	55
3.3.5. Componentes fallados en motores de inducción y DC.....	56
3.3.6. Circunstancias en que se descubrieron las fallas en componentes de motores de inducción y DC.....	62
3.3.7. causas de fallas en motores de inducción y de corriente directa.....	66
3.4. Generadores de emergencia.....	71
3.4.1. Estadística de fallas en generadores.....	72
3.5. "Circuit breakers" y cuchillas de desconexión.....	75
3.5.1. Circunstancias en que ocurrieron las fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.....	75
3.5.2. Elementos dañados y tipos de fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.....	78
3.5.3. Métodos de reparación de "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.....	83
3.5.4. Urgencia en la reparación de "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.....	86
3.5.5. Causas de fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión....	89
3.6. Conclusiones y recomendaciones.....	97
3.7. Bibliografía del capítulo III.....	98

ANEXO

## LISTA DE TABLAS

Tablas.....	Páginas
3.1. Datos generales de transformadores de potencia refrigerados con aceite y secos.....	33
3.2. Datos generales de transformadores de entrada en equipos rectificadores.....	33
3.3. Datos generales de transformadores de potencia.....	33
3.4. Estadística de fallas y tiempos de reparación para transformadores de potencia.....	34
3.5. Estadística de fallas y tiempos de reparación para transformadores de entrada de rectificadores.....	35
3.6. Fallas y tiempos de reparación para transformadores de potencia refrigerados con aceite, cotejados con la edad.....	36
3.7. Causas de fallas en transformadores de potencia y transformadores de entrada de rectificadores.....	37
3.8. Datos generales de motores de inducción y motores de corriente directa.....	42
3.9. Datos generales de tableros de arranque y control para motores de inducción y de corriente directa.....	42
3.10. Fallas y tiempos de reparación para motores de inducción y de corriente directa.....	45
3.11. Fallas y tiempos de reparación para tableros de arranque y control.....	49
3.12. Modalidades de reparación de fallas en motores de hasta Hp.....	52
3.13. Modalidades de reparación de fallas en motores mayores de 50 Hp.....	55
3.14. Componentes fallados en motores de inducción y de corriente directa.....	56
3.15. Circunstancias en que se descubrieron las fallas en componentes de motores de inducción y de corriente directa .....	62
3.16. Causas de fallas en motores de inducción y de corriente directa.....	66
3.17a. Datos generales de motores generadores de emergencia.....	71
3.17b Datos generales de motores generadores de emergencia.....	72
3.18. Estadística de fallas en generadores de emergencia.....	72
3.19. Circunstancias en que ocurrieron las fallas en “circuit breakers” y cuchillas de desconexión.....	75
3.20. Elementos dañados y tipos de fallas en “circuit breakers” y cuchillas de desconexión.....	78
3.21. Métodos de reparación de fallas en “circuit breakers” y cuchillas de desconexión....	83
3.22. Urgencia con que se atendieron las fallas en “circuit breakers” y cuchillas de desconexión.....	86
3.23. Causas de fallas en “circuit breakers” y cuchillas de desconexión.....	89

## LISTA DE GRAFICOS

Gráficos.....	Páginas
3.1. Causas iniciadoras de fallas en transformadores de potencia.....	39
3.2. Causas responsables de fallas en transformadores de potencia.....	40
3.3. Causas que contribuyeron a las fallas en transformadores de potencia.....	41
3.4. Estadística de motores de inducción capacidad 0-50 HP, voltaje 0-600 V.....	43
3.5. Estadística de motores de inducción capacidad 50 HP en adelante, voltaje 0-600 V.....	44
3.6. Estadística de fallas en motores de inducción capacidad 0-50 HP, voltaje 0-600 V...	46
3.7. Estadística de fallas en motores de inducción capacidad 50 HP o más, voltaje 0-600 V.....	47
3.8. Estadística de fallas para tableros de arranque y control de motores de inducción (capacidad hasta 50 HP, voltaje 0-600 V).....	50
3.9. Estadística de fallas para tableros de arranque y control de motores de inducción (capacidad mayor de 50 HP, voltaje 0-600 V).....	51
3.10. Modalidades de reparación en motores de hasta 50 HP.....	53
3.11. Horas promedio de paro por fallas en motores de hasta 50 HP.....	54
3.12. Componentes fallados motores de inducción de hasta 50 HP.....	58
3.13. Componentes fallados motores DC de hasta 50 HP.....	59
3.14. Componentes fallados motores de inducción mayores de 50 HP.....	60
3.15. Componentes fallados motores DC mayores de 50 HP.....	61
3.16. Fallas descubiertas mientras el equipo operaba motores de hasta 50 HP.....	63
3.17. Fallas descubiertas mientras el equipo estaba en mantenimiento o prueba motores de hasta 50 HP.....	64
3.18. Porcentual de fallas descubiertas mientras el equipo operaba motores mayores de 50 HP.....	65
3.19. Porcentual de causas iniciadoras de fallas en motores de inducción de hasta 50 HP.....	68
3.20. Porcentual de causas contribuyentes a las fallas en motores de inducción de hasta 50 HP.....	69
3.21. Porcentual de causas de falla implícita en motores de inducción de hasta 50 HP.....	70
3.22. Estadística de generadores de emergencia con potencia de hasta 75 KVA.....	73
3.23. Estadística de generadores de emergencia con potencia mayor de 75 KVA.....	74
3.24. Porcentual de condiciones en que ocurrieron las fallas en "circuit breakers".....	76
3.25. Porcentual de condiciones en que ocurrieron las fallas en cuchillas de desconexión.....	77
3.26. Porcentual de componentes fallados en "circuit breakers".....	79
3.27. Tipos de fallas en "circuit breakers".....	80
3.28. Porcentual de componentes dañados en cuchillas de desconexión.....	81
3.29. Tipos de falla en cuchillas de desconexión.....	82
3.30. Metodos de reparación de "circuit breakers".....	84
3.31. Metodos de reparación de cuchillas de desconexión.....	85
3.32. Niveles de urgencia en la reparación de "circuit breakers".....	87

3.33. Niveles de urgencia en la reparación de cuchillas de desconexión.....	88
3.34. Causas responsables de fallas en “circuit breakers”.....	91
3.35. Causas iniciadoras de fallas en “circuit breakers”.....	92
3.36. Causas contribuyentes a las fallas en “circuit breakers”.....	93
3.37. Causas responsables de fallas en cuchillas de desconexión.....	94
3.38. Causas iniciadoras de fallas en cuchillas de desconexión.....	95
3.39. Causas contribuyentes a las fallas en cuchillas de desconexión.....	96

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES SOBRE CONFIABILIDAD

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

Confiabilidad, seguridad y calidad son las palabras claves para el éxito en los sectores industrial, comercial y público de hoy en día. La Ingeniería de Confiabilidad ejecuta una amplia variedad de tareas para garantizar que las metas de confiabilidad y calidad sean alcanzadas; estas tareas incluyen diseños de programas de mantenimiento, desarrollo de procedimientos de control de calidad e incorporación de información sobre fallas y análisis de las mismas en los programas de gerencia.

Este capítulo pretende ser una introducción al concepto “confiabilidad”, el lector se familiarizara con los aspectos teóricos generales mas importantes.

### 1.2 CONCEPTO DE CONFIABILIDAD.

La confiabilidad de un componente, sistema o unidad se define como la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un período determinado (tiempo de misión) sin pérdida de su función.

### 1.3 CONFIABILIDAD Y CALIDAD.

La calidad es un concepto que va estrechamente ligado al producto o servicio y forma parte importante del conjunto de características del mismo. Se constituye, por tanto, en un elemento de gran importancia a la hora de garantizar la satisfacción del usuario. Hoy día no es suficiente el nivel de prestaciones que se ofrece; un elemento diferenciador entre productos o servicios de similares prestaciones es su calidad.

La calidad se constituye por tanto en un elemento fundamental de diferenciación. Sin embargo, la calidad es asimismo, un concepto subjetivo si se relaciona con la percepción que el cliente va a tener de un determinado producto o servicio. Por ello es preciso centrar el análisis en alguno de sus muchos aspectos y tratar de que este aspecto sea medible con objeto de poder estimar la mejora que con las actuaciones se vayan consiguiendo. Este aspecto es el punto de conexión con la confiabilidad.

La confiabilidad no debe entenderse solamente como una descripción del comportamiento a lo largo del tiempo, sino como un proceso de mejora; aplicada así aporta una importante contribución a la calidad.

### 1.4 ACCIONES PREVENTIVAS PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD.

Las acciones preventivas que pueden tomarse para mejorar la confiabilidad consisten en la realización de una predicción teórica de confiabilidad o ensayos de

laboratorio. Estas acciones permiten estimar la confiabilidad y detectar debilidades en el producto o servicio que puedan ser mejoradas.

#### **1.4.1. PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD.**

Realizar una predicción consiste en estimar de una forma cuantitativa y en función de datos de diseño y de confiabilidad de sus componentes, la confiabilidad del equipo o sistema.

Su utilidad es evidente, ya que faculta para valorar el cumplimiento de los requisitos de confiabilidad, los costes de soporte y mantenimiento, necesidades de repuestos, evaluación de alternativas, etc., a lo que se añade el poder detectar puntos débiles.

Sin embargo, no es inmediato el obtener una predicción con un buen nivel de exactitud y de confianza. Los motivos son de tres tipos. En primer lugar, se basa en datos estadísticos que, aunque son actualizados periódicamente, pueden no ser lo bastante exactos (especialmente en el caso de componentes o elementos de tecnologías novedosas para los que no habrá datos disponibles). En segundo lugar, se basan en modelos estadísticos que pueden no ser totalmente adecuados para el diseño concreto que se esté analizando. En tercer lugar, la confiabilidad es dependiente de las condiciones de funcionamiento que a su vez se deben tratar estadísticamente, lo que introduce un nuevo factor de incertidumbre.

La predicción clásica se aplica a equipos, partiendo de los datos de confiabilidad de cada componente. Una extensión de este procedimiento se puede aplicar a sistemas en los que los componentes serían equipos. Evidentemente, debe ser conocida la confiabilidad de cada elemento del sistema.

La información de la confiabilidad de los componentes individuales y los métodos de cálculo están disponibles en normas y tablas publicadas. Las más utilizadas son las MIL y las de Bellcore.

El método MIL ha sido publicado por el Departamento de Defensa de EEUU y aunque está orientado a equipos militares, es utilizada ampliamente en el sector electrónico comercial y es en la que se basan los demás. Se describe en la norma MIL-STD-217 que establece dos métodos de predicción de confiabilidad, uno más sencillo denominado de Relación de Componentes y otro denominado de Análisis de Esfuerzos, que permite introducir factores considerando la aplicación, esfuerzo eléctrico, etc.

El método Bellcore permite integrar datos de diferente procedencia, así por ejemplo, datos de campo, de laboratorio, de la norma MIL-STD-217, de fabricante, etc.

Otro aspecto importante a la hora de realizar una predicción de confiabilidad es el definir previamente qué se va a entender por fallo. Así se suele distinguir entre dos tipos, el básico, que propone un modelo serie en el que el fallo de uno cualquiera de sus elementos supone el fallo del sistema y el de misión u operación, en que se tienen en cuenta la influencia e importancia de los distintos elementos (redundancias, etc.).

## **1.4.2. ENSAYOS CLÁSICOS DE CONFIABILIDAD**

Mediante ensayos es posible obtener una información más precisa acerca de la confiabilidad que posee el equipo o sistema.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta y que condicionan su validez son: el número de muestras, el número de fallos que se obtienen, que las condiciones del ensayo simulen las reales y la supervisión de los parámetros eléctricos durante el ensayo.

En la práctica no suele ser fácil disponer de un elevado número de unidades y de tiempo para realizar los ensayos, de forma que sea posible acumular suficiente tiempo de ensayo y obtener un número de fallos elevado. Realmente lo que determina el ensayo es la confiabilidad de la muestra bajo prueba. Cuanto mayor sea el tamaño de la muestra y el tiempo de ensayo, más exacta será la estimación del MTBF ("Mean Time Between Failure" o Tiempo Medio Entre Fallas).

Es importante destacar que no es inmediato y debe dedicarse una especial atención a simular las condiciones reales de funcionamiento, para evitar que se produzcan durante la explotación averías que no tuvieron lugar durante los ensayos.

Un caso algo distinto es lo que se denomina Ensayos de Demostración de Confiabilidad. Se trata de pruebas en las que se pretende demostrar, con un cierto grado de confianza, que se cumple un determinado requisito de confiabilidad.

Para obtener una confianza del 100% sería necesario probar toda la población. Dado que esto no es posible, se han desarrollado planes estadísticos que permiten definir el tamaño de la muestra y los riesgos que asumen el fabricante y el consumidor. Se describen en normas MIL.

## **1.4.3. ENSAYOS ACELERADOS DE CONFIABILIDAD**

El objetivo que tienen estos ensayos es reducir el tiempo de prueba necesario para determinar su confiabilidad. Los ensayos acelerados se basan en la utilización de uno de estos principios:

- Aceleración mediante la aplicación de un alto nivel de esfuerzo que puede ser incluso superior al especificado.
- Aceleración mediante la compresión en el tiempo. Se aplican unas condiciones dentro de las especificaciones, pero eliminando o reduciendo los tiempos en los que el equipo está en reposo o con un nivel bajo de esfuerzo.

Se han desarrollado procedimientos de ensayo basados en el primer principio, que han sido aplicados principalmente a componentes individuales. El problema principal radica en que pueden provocarse mecanismos de fallo que no corresponden con los que realmente van a tener lugar durante su utilización. Un ejemplo clásico sería la utilización de la Cámara de Presión de Vapor en el ensayo acelerado de componentes y que consiste en someter las muestras a una presión superior a la atmosférica con objeto de controlar la humedad para temperaturas superiores a los 100 °C.

El segundo principio ha sido utilizado ampliamente en equipos mecánicos y consiste en realizar ciclos de funcionamiento hasta la fractura. El factor de aceleración se obtiene simplemente mediante el cociente entre los ciclos por unidad de tiempo en el ensayo y los ciclos por unidad de tiempo que se estima va a tener en su aplicación real.

Cuando los equipos son complejos, resulta más difícil la realización de los ensayos acelerados. Una de las principales razones es que se ven sometido a un conjunto de diferentes tipos de esfuerzos actuando simultáneamente e interactuando, produciendo condiciones de difícil modelado.

Actualmente está en curso un plan en el marco de los Proyectos EURAM-BRITE denominado COMRADE ("COMPRESSED Reliability DETERMINATION") en el que se está desarrollando una metodología para el diseño y análisis de ensayos acelerados de confiabilidad aplicable a equipos que incorporen elementos mecánicos y electrónicos.

En este proyecto se están desarrollando modelos para la predicción de la vida útil, a partir de la comparación de los resultados obtenidos en ensayos acelerados sobre 6 productos con los obtenidos en campo.

#### **1.4.4. EVENTOS ESPORÁDICOS**

Tradicionalmente se ha considerado que las cargas o esfuerzos a los que se ven sometidos los equipos se mantienen dentro de unos límites específicos y no se tienen en cuenta los posibles efectos de cargas esporádicas ("freak events") a las que se exponen en su vida útil. Se estima que estos esfuerzos tienen una gran influencia en su confiabilidad real.

Esto ha dado lugar a lo que se denomina "robustness testing", que consisten en medir la resistencia del producto. En definitiva, en lugar de realizar ensayos cuyo resultado es un "pasa-no pasa", se trata de medir los márgenes de diseño frente a esfuerzos esporádicos que han sido identificados como potencialmente peligrosos en el entorno en el que va a funcionar. Un equipo con un elevado margen en su diseño tendrá un alto nivel de resistencia.

El problema que se plantea es que no es inmediato conocer los niveles y tipos de esfuerzo a los que se va a ver sometido un equipo en un determinado ambiente de forma esporádica. Un segundo problema se plantea a la hora de relacionar el margen de seguridad que presenta el equipo con la confiabilidad.

Finalmente hay que indicar que deben diseñarse los ensayos de forma que se provoque el mecanismo de fallo que se va buscando, lo cual, a medida que se tratan condiciones de esfuerzo elevadas, no es inmediato.

#### **1.4.5. MEJORAS EN LA EXPLOTACIÓN**

Durante la explotación de los sistemas las acciones que pueden tomarse para mejorar la calidad se basan en la obtención de información de la confiabilidad real, en definitiva datos reales de las averías que se producen y de las condiciones en las que se producen. A partir de estos datos es posible plantearse la mejora de la calidad de los

equipos, mejora que podrá ser aplicable en el mismo sistema objeto del seguimiento o en sistemas similares que se instalen posteriormente.

El proceso que debe adoptarse incluye el seguimiento de las incidencias, posteriormente el análisis de fallos y finalmente se deberá proceder a estudiar y ensayar las soluciones.

#### **1.4.5.1. SEGUIMIENTO DE CAMPO**

Los datos relativos a las incidencias durante la explotación son la principal fuente de información para conocer cual es el comportamiento real de los equipos, y en consecuencia, cómo mejorarlo.

Se debe, por tanto, plantear en detalle el plan de seguimiento de las incidencias, con el objetivo de que ningún dato interesante se escape al control. Los datos que debe incluir el seguimiento de campo se resumen en los siguientes: fecha de instalación y fecha de avería, lugar en el que está instalado, condiciones en las que se produce la incidencia y diagnóstico de la misma.

No suele ser necesario que el seguimiento se realice sobre toda la población instalada, ya que los datos suelen ser repetitivos, es suficiente seleccionar una muestra representativa.

A partir de estos datos es posible estimar la confiabilidad (MTBF) real del equipo, que puede ser comparado con la predicción o el resultado de los ensayos si está disponible. Asimismo es posible realizar una primera aproximación para conocer cuales son las averías más frecuentes o, al menos, los síntomas de estas averías y cuales son las condiciones en las que aparecen más frecuentemente.

#### **1.4.5.2. ANÁLISIS DE FALLOS**

El análisis de las muestras falladas en la explotación tiene como objetivo determinar la causa del fallo y el mecanismo correspondiente.

Es evidente que esta actividad no puede realizarse sobre todas y cada una de las unidades que fallan en la explotación. En general suele ser suficiente con realizar un primer análisis de fallos sobre una muestra representativa de las unidades falladas, obtener los correspondientes porcentajes para cada mecanismo de fallo y relacionar los resultados con los datos del seguimiento de campo. Esto permite identificar el mecanismo sobre el que interesa centrar el estudio detallado posterior para obtener la mejora más significativa.

Son muchas las técnicas que pueden utilizarse para realizar el análisis de fallos. La gran variedad de dispositivos, tecnologías, etc., junto con los posibles orígenes del fallo, hacen que siempre resulte un trabajo delicado y que debe realizar personal experto.

En general se suele comenzar por un análisis visual de las unidades falladas para, a continuación, verificar el fallo y caracterizarlo. Este estudio preliminar permite planificar las siguientes actividades, que deben realizarse de forma que no se provoquen fallos adicionales que enmascaren o destruyan el fallo de campo antes de haber sido analizado y entendido.

### **1.4.5.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES**

El conocimiento del mecanismo de fallo, de su causa y de las condiciones en que se produjo, constituyen las fuentes de información sobre las que se puede plantear la búsqueda de la solución o soluciones más adecuadas.

En primer lugar es conveniente reproducir los fallos en el laboratorio de fiabilidad. Para ello, se deberá diseñar un ensayo en el que se provoque el mismo mecanismo de fallo que se haya observado en campo. Si se dispone de suficientes datos de campo, se puede incluso estimar el factor de aceleración que se obtiene en el ensayo.

Posteriormente se pueden ensayar diversas alternativas para comparar su bondad en cuanto a la solución del problema y, considerando los resultados, costes de implantación, etc. tomar la decisión más adecuada.

## **1.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD.**

El análisis de confiabilidad de componentes y sistemas complejos ha sido aplicado en diversas ramas de la ingeniería, entre las que destacan la aeronáutica y las plantas nucleoelectricas. En la actualidad, el análisis de confiabilidad también se está utilizando en los sistemas eléctricos de potencia de las plantas industriales, para pronosticar posibles problemas en los elementos que los conforman, así como para mejorar su funcionamiento, contribuyendo en la programación del mantenimiento preventivo.

El análisis de confiabilidad también puede aplicarse en los componentes y sistemas de potencia instalados en las redes de distribución y plantas de generación hidroeléctrica, para mejorar su funcionamiento.

### **1.5.1. CÁLCULO DE CONFIABILIDAD DE COMPONENTES**

De manera ilustrativa se expondrán algunos métodos matemáticos representativos del análisis de confiabilidad, con la finalidad de ampliar la visión del manejo de variables y conceptos.

#### **1.5.1.1. MODELO EXPONENCIAL**

Para el cálculo de la confiabilidad de componentes se puede utilizar una distribución exponencial, asumiendo que el componente se encuentra en su etapa de vida útil, en la cual la tasa de fallas es constante. Con estas suposiciones, la confiabilidad de un componente se puede expresar como:

$$R(t) = e^{(-\lambda t)} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$R(t)$  = confiabilidad del componente (función del tiempo)

$t$  = tiempo de misión.

$\lambda$  = tasa de fallas.

$e$  = base de los logaritmos neperianos (2.718281...).

En algunos problemas, en vez de conocer el tiempo total real de operación  $T$ , se conoce el tiempo entre fallas, lo cual permite el cálculo del tiempo real de operación.

Con esta información se puede probar si el mejor ajuste para los datos disponibles es el modelo exponencial o algún otro modelo como el Weibull.

### 1.5.1.2. MODELO WEIBULL

Para el modelo Weibull, la función de densidad de probabilidad de falla se expresa como:

$$F(t) = 1 - e^{([t_i - \gamma] / \alpha)} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$F(t)$  = función de densidad de probabilidad de falla.

$\alpha$  = parámetro de forma.

$\beta$  = parámetro de escala.

$\gamma$  = parámetro de localización (generalmente es cero).

$t_i$  = tiempo entre fallas.

En general, para el cálculo de la confiabilidad con el modelo expresado por la ecuación anterior, la función  $F(t)$  únicamente se evalúa con dos parámetros (haciendo  $\gamma = 0$ ), con lo cual se obtienen resultados aceptables para fines prácticos.

### 1.5.2. CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA EN SERIE

Si en un sistema en serie se supone que los  $n$  componentes son independientes, es decir, que el comportamiento de alguno de ellos no afecta la confiabilidad de los restantes, su confiabilidad puntual puede calcularse como:

$n$

$$R_s = \prod_{i=0} R_i \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$R_i$  = confiabilidad del  $i$ -ésimo componente.

$R_s$  = confiabilidad del sistema en serie.

### 1.5.3. CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA EN PARALELO (SISTEMAS CON REDUNDANCIA)

Los sistemas de  $n$  componentes independientes conectados en paralelo, en general funcionan satisfactoriamente con  $m$  de los  $n$  componentes en operación, mientras que los demás son redundantes y únicamente se necesita que alguno de los  $n-m$  componentes sustituya a cualquiera de los que están en operación cuando por alguna razón fallen.

Una forma de clasificar los sistemas en paralelo sujetos a mantenimiento es la siguiente:

- a) Sistemas en paralelo con mantenimiento de sus componentes mientras el sistema está operando.
- b) Sistemas en paralelo con mantenimiento de sus componentes únicamente cuando el sistema está fuera de servicio.

Los sistemas en paralelo con mantenimiento de sus componentes cuando el sistema se encuentra en operación son los que más se aproximan a los sistemas reales de las centrales generadoras.

### 1.5.4. CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA COMPUESTO

La confiabilidad de un sistema formado por componentes conectados en serie y en paralelo puede calcularse en dos pasos:

- Reducir el sistema compuesto a uno equivalente en serie. Esto quiere decir que cada uno de los grupos de componentes conectados en paralelo se reducirán a un elemento equivalente conectado en serie con los componentes restantes del sistema.
- Aplicar las reglas dadas para un sistema en serie para obtener la confiabilidad del sistema equivalente.

La utilidad de los resultados obtenidos del cálculo de confiabilidad es muy variada, dependiendo de los objetivos propuestos, algunos de los cuales son:

- Permite establecer bandas de confiabilidad de los sistemas y unidades, con la finalidad de establecer metas de desempeño realistas.

- Identifica los equipos o sistemas que se encuentran en estado de desgaste o envejecimiento.
- Ayuda en la planeación del mantenimiento preventivo.

## 1.6. GLOSARIO.

A continuación se presenta una serie de términos empleados por la IEEE en estudios sobre confiabilidad, con la finalidad de proporcionar mayor claridad a este trabajo de investigación.

**Disponibilidad:** la probabilidad de estado estable de que un componente esté en servicio.

**Componente:** una parte de equipo eléctrico o mecánico, de una línea o circuito, o un grupo de cosas que son consideradas como una entidad para propósitos de evaluación de confiabilidad.

**Equipo eléctrico:** un término general que incluye materiales, instalaciones, dispositivos, aparatos, muebles, máquinas, etc., usados como parte de, o en conexión con, una instalación eléctrica.

**Mantenimiento eléctrico preventivo:** un sistema planeado de inspección, prueba, limpieza, secado, supervisión, ajuste, modificación correctiva, y reparación menor de equipo eléctrico para minimizar o prevenir problemas futuros de operación de equipos o fallas; dichos parámetros dependen del tipo de equipo, que puede necesitar de un ejercicio o un examen de demostración.

**Duración esperada de la falla:** la espera o término promedio de duración de un evento simple de falla.

**Duración esperada de interrupción:** la duración esperada o promedio de un evento simple de interrupción de carga.

**Tiempo de exposición:** el tiempo durante el cual un componente está ejecutando su función deseada y ésta es sujeta de falla.

**Falla:** cualquier problema con un componente de un sistema de potencia que causa la ocurrencia de alguno de los siguientes eventos:

- Corte parcial o completo de una planta, o una operación por debajo de las normas de la planta.
- Ejecución inaceptable de equipo para usuarios.
- Operación de la protección eléctrica u operación de emergencia del sistema de la planta eléctrica.
- Desenergización de cualquier circuito o equipo eléctrico.

Una falla en el sistema de la compañía pública de suministro puede producir al usuario cualquiera de los dos trastornos siguientes:

- Una interrupción de potencia o pérdida de servicio.
- Una desviación del valor nominal de voltaje o frecuencia del perfil normal de la compañía distribuidora.

La falla de un componente de la planta produce un forzado vencimiento por edad del mismo, que consiste en que el componente está incapacitado para desarrollar su función deseada, hasta que éste sea reparado o reemplazado. Los términos “falla” y “vencimiento por edad” son a menudo usados como sinónimos.

**Razón de falla (razón de corte forzado):** el número principal de fallas de un componente por unidad de tiempo de exposición. Usualmente el tiempo de exposición está expresado en años y la razón de falla, en fallas por año.

**Corte forzado:** un corte (falla) que no puede ser aplazado.

**Indisponibilidad forzada:** la fracción del término promedio de tiempo que un componente o sistema está fuera de servicio debido a un corte forzado (falla).

**Interrupción:** la pérdida de suministro de potencia eléctrica a una o más cargas.

**Frecuencia de interrupción:** el número esperado (promedio) de interrupciones de potencia a la carga por unidad tiempo, usualmente expresadas como interrupciones por año.

**Tiempo medio entre fallas (MTBF):** el tiempo medio de exposición entre fallas consecutivas de un componente. Este puede estimarse dividiendo el tiempo de exposición por el número de fallas en el período analizado, siempre y cuando hayan ocurrido suficientes fallas en dicho período.

**Tiempo medio de reparación (MTTR):** el tiempo medio para reparar un componente fallado. Puede estimarse dividiendo la suma de los tiempos de reparación por el número de reparaciones, y por lo tanto este parámetro es prácticamente el tiempo promedio de reparación.

**Sistema apagado de línea:** un sistema que está inactivo hasta que es llamado para operar, tal como un generador de diesel que se activará cuando ocurra una falla de potencia.

**Sistema activado de línea:** un sistema que está operando todo el tiempo, tal como un inversor alimentado a través de un cargador de baterías.

**Corte:** el estado de un componente o sistema cuando no está disponible para ejecutar correctamente su función.

**Tiempo de reparación:** el tiempo de reparación de un componente fallado o la duración de una falla es el tiempo reloj desde que ocurrió la falla hasta el momento en que el componente fue restaurado para comenzar a servir; lo anterior se pudo dar de dos maneras: que el componente fuera reparado, o que fuera sustituido por un componente con existencia en bodega. El tiempo de reparación incluye: tiempo para diagnosticar el problema, localización del componente fallado, espera de los repuestos, reparación o reemplazo, revisión y restauración del componente para entrar en servicio. Los términos “tiempo de reparación” y “duración forzada de corte” se usan a menudo como sinónimos. Este no es el tiempo necesario para restaurar el servicio a una carga por medio de la ubicación de circuitos alternos puestos en operación.

**Corte programado:** un corte que resulta cuando un componente es puesto deliberadamente fuera de servicio por un tiempo seleccionado, usualmente para propósitos de construcción, mantenimiento o reparación.

**Duración del corte programado:** período desde el inicio de un corte programado que se da en circunstancias como: construcción, mantenimiento preventivo, o trabajo de reparación hasta completar, es decir, hasta que el componente afectado este disponible para ejecutar su función deseada.

**Razón de cortes programados:** el número principal de cortes programados de un componente por unidad de tiempo de exposición.

**Sistema:** un grupo de componentes conectados o asociados en una configuración fija para ejecutar una función específica de distribución de potencia.

**Indisponibilidad:** la fracción promedio de tiempo que un componente o sistema esta fuera de servicio debido a fallas o programas de corte. Una definición alternativa es la probabilidad de estado estable que un componente o sistema esté fuera de servicio debido a fallas o cortes programados.

## 1.7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO I.

- El estudio de confiabilidad es una herramienta muy útil para la evaluación de los sistemas de potencia, y permite formular recomendaciones y procedimientos basados en análisis estadísticos o en pruebas de laboratorio, que orienten en el diseño de instalaciones más eficaces y seguras.
- Otro aspecto que se ve enriquecido con los resultados de estos análisis es el diseño y seguimiento de programas de mantenimiento preventivo, dado que al conocer las incidencias primarias de las fallas pueden trazarse estrategias de prevención en aquellos elementos más vulnerables del sistema.
- Las empresas deben asumir con responsabilidad la tarea de evaluar la confiabilidad de sus sistemas eléctricos, pues una adecuada aplicación de los resultados se traduce en reducción de tiempos de corte en el proceso productivo, y por ende, disminución de pérdidas económicas.

## 1.8 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA DEL CAPÍTULO I.

Lewis, E. E., Introduction to reliability engineering, John Wiley & Sons. 1984

R. Ramakumar. Engineering Reliability. Fundamentals and Applications. Prentice Hall. 1993.

Torres, J. G., "Cálculo de confiabilidad de generación termoeléctrica", XVIII Taller Internacional de Capacitación en Calderas, Recipientes a Presión, Temas Afines y Exposición Industrial" AMIME. 1995.

Reliability and availability data for gas turbine generator procurement, Electric Power Research Institute. [1988]

Los cambios de la Fiabilidad. Comité de Fiabilidad. AEC., [1990].

Recommendations for safety design of industrial and commercial power systems IEEE, segunda edición, [1995].

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN.**

Un estudio de confiabilidad exige el análisis estadístico de una amplia base de datos recolectados en el campo, por tanto, debe definirse con precisión una población de la cual se extraerá una muestra representativa.

En la presente investigación, el instrumento de recolección de datos es una encuesta diseñada a partir de parámetros, conceptos y teoría de sistemas de potencia eléctrica, y destinada a empresas industriales y comerciales de alta demanda de energía.

Este capítulo tiene como principal objetivo describir el método analítico empleado para el diseño de la encuesta, su proceso de depuración y su presentación final.

#### **2.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.**

Este estudio abarca únicamente el área metropolitana de San Salvador, entendida como el nuevo "Gran San Salvador", que incluye las ciudades periféricas de Apopa, Soyapango, Santa Tecla, San Marcos, Mejicanos, Ayutuxtepeque, Cuscatancingo e Ilopango.

Dentro del área acotada, se seleccionaron empresas del sector industrial y comercial, tomando en cuenta que debían ser demandantes de potencia eléctrica por encima de los 50 KW.

#### **2.3. MÉTODO ESTADÍSTICO APLICADO.**

La determinación de la muestra a encuestar es el resultado de un proceso de cálculo estadístico, que conduce a una cantidad representativa de empresas. En esta sección se expone el procedimiento seguido para tal fin y los criterios empleados.

##### **2.3.1. TEORÍA MUESTRAL.**

El análisis estadístico implica la consideración de una serie de aspectos que norman cualquier investigación a la que se desee aplicar.

En primer lugar se necesita delimitar la unidad de análisis, es decir, el "quiénes van a ser medidos". A partir de allí se define la población, que viene a ser un subconjunto de la unidad de análisis, circunscrita por algunos criterios de estudio, propios de la investigación. Sobre la población se pretende generalizar los resultados finales del estudio. La población debe situarse claramente en torno a sus características de contenido, lugar y en el tiempo.

En el último nivel de la jerarquía se encuentra la muestra, que es a su vez un subgrupo de la población y está demarcada por las características específicas de la misma, por tanto se

espera que sea un reflejo fiel de la población. Las muestras pueden dividirse en dos grandes clases: *las muestras no probabilísticas y las probabilísticas*.

En las muestras no probabilísticas la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra, es decir, el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo de personas.

En las muestras probabilísticas todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos; esto se obtiene definiendo las características de la población, el tamaño de la muestra y a través de una selección aleatoria y/o mecánica de las unidades de análisis.

De lo expuesto anteriormente se establece que en el presente estudio:

- La unidad de análisis está conformada por las empresas industriales y comerciales.
- La población está constituida por todas las empresas industriales y comerciales ubicadas en el área metropolitana de San Salvador, que en el segundo semestre de 1998 tuvieron una demanda superior a los 50 KW.<sup>1</sup>
- La muestra es un subconjunto representativo de la población, estimado mediante cálculo.

La siguiente figura esquematiza los parámetros mencionados.

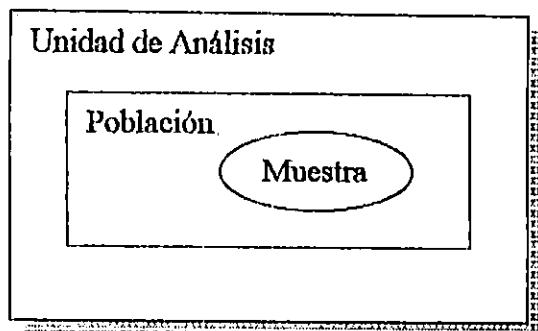


Figura 1. Parámetros estadísticos.

El tipo de muestreo elegido es probabilístico, dado que las empresas a encuestar se determinaron aleatoriamente de la base de datos obtenida (población), por tanto todas tuvieron la misma probabilidad de ser escogidas.

<sup>1</sup> Según la base de datos obtenida en CAESS, esta población es de 1140 empresas.

### 2.3.2. CÁLCULO DE LA MUESTRA.

Para calcular el número de muestras a tomar en el proceso de encuestamiento, se aplica la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(p q d^2 / e^2)}{1 + [(1/N)(p q d^2 / e^2)]} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.  
N = universo de trabajo.  
p = probabilidad de éxito.  
q = probabilidad de fracaso  
d = nivel de aceptación  
e = error permisible.

En este estudio:

N = 1140  
p = 0.60  
q = 0.40  
d = 2.00 (Altamente significativo)  
e = 0.09

El valor de "e" se obtuvo al consultar los parámetros empleados por el Comité de Defensa del Consumidor (CDC), que es un organismo con vasta experiencia en investigaciones estadísticas.

Aplicando los valores a la fórmula, se tiene:

$$n = \frac{[(0.6)(0.4)(2)^2] / (0.09)^2}{1 + \{(1/1140) [(0.6)(0.4)(2)^2 / (0.09)^2]\}}$$

n = 107.35 = 108 muestras.

Se decidió llevar la muestra a 200 para dejar un margen de 92, a fin de compensar las encuestas que pudieran no ser respondidas.

Por tanto:

n = 200 muestras.

### 2.3.3. LISTADO DE LAS EMPRESAS ENCUESTADAS.

A continuación se detallan en orden alfabético las empresas escogidas para el estudio.

- 1 ACEROS INTERNACIONALES
- 2 ADOC
- 3 ALUMINIOS CENTROAMERICANOS S.A.
- 4 ALUMINIOS DE EL SALVADOR
- 5 ANDA
- 6 ARROCERA SAN FRANCISCO S.A. DE C.V.
- 7 AVX INDUSTRIES
- 8 BANCO AGRICOLA COMERCIAL
- 9 BANCO CUSCATLAN
- 10 BANCO HIPOTECARIO
- 11 BANCO SALVADOREÑO
- 12 BATERIAS RECORD DE E L SALVADOR
- 13 BAYER DE EL SALVADOR,S.A
- 14 BLOKITUBOS S.A. DE C.V.
- 15 BON SOL S.A. DE C.V.
- 16 C. IMBERTON
- 17 CAESS
- 18 CAJAS Y BOLSAS
- 19 CALCETERA INDUSTRIAL S.A. DE C.V.
- 20 CANAL 10
- 21 CANAL 12 S.A.
- 22 CANAL 2 S.A.
- 23 CANAL 4 S.A.
- 24 CANAL 6 S.A.
- 25 CARTONERA CENTROAMERICANA
- 26 CARTOTECNIA CENTROAMERICANA SA
- 27 CELO-BLOCK S.A. DE C.V.
- 28 CELPAC S.A. DE C.V.
- 29 CEMENTO DE EL SALVADOR S.A. DE C.V.
- 30 CENTRAL PRODUCTOS ALIMENTICIOS UNIVERSAL
- 31 CODIFARMA
- 32 COLATINO DE RL
- 33 CONELCA, S.A DE C.V
- 34 CONFECCIONES INTERNACIONALES S.A.
- 35 CONFITERIA AMERICANA
- 36 CORCHO LATA S.A
- 37 CORDELERIA SALVAMEX S.A.
- 38 CORINCA
- 39 CORPORACION BONIMA S.A.

- 40 CREACIONES TROPICALES SAN ANDRES S.A.
- 41 CTE- ANTEL
- 42 CUEROS ARTIFICIALES S.A
- 43 CURTIS INDUSTRIAL, S.A DE C.V
- 44 DEL SUR
- 45 DELICIA S.A. DE C.V.
- 46 DESTILERIA LA CENTRAL S.A. DE C.V.
- 47 DESTILERIA SALVADOREÑA
- 48 DIARIO EL MUNDO
- 49 DIARIO LATINO S.A.
- 50 DROGUERIA Y LABORATORIOS ANCALMO
- 51 DUTEX EL SALVADOR S.A. DE C.V.
- 52 DYNATEC S.A. DE C.V.
- 53 EL DIARIO DE HOY
- 54 EL DORADO
- 55 EL SALVADOR CHEMICAL COMPANY S.A.
- 56 EMBOTELLADORA LA CASCADA S.A.
- 57 EMBOTELLADORA SALVADOREÑA S.A
- 58 EMPACADORA BONAMESA S.A. DE C.V.
- 59 EMPRESAS LACTEAS FOREMOST S.A. DE C.V.
- 60 ENSAMBLADORA SALVADOREÑA S.A.
- 61 ENVASADORA DIVERSIFICADA S.A.
- 62 EUREKA S.A DE C.V
- 63 FABRICA IUSA
- 64 FABRICA MINERVA S.A. DE C.V.
- 65 FABRICA OLIVA, S.A DE C.V
- 66 FACALCA HILTEX S.A. DE C.V.
- 67 FACELA S.A.
- 68 FAMESAL S.A.
- 69 FAMOSSA
- 70 FERSON
- 71 FERTICA S.A.
- 72 FILAMENTOS PLASTICOS S.A
- 73 FORMULARIOS STANDARD
- 74 GALLETAS FLORIDA S.A. DE C.V.
- 75 GAMA LABORATORIOS S.A DE C.V
- 76 GARBAL S.A. DE C.V.
- 77 GLOMERPLAST, S.A. DE C.V.
- 78 H.B. FULLER EL SALVADOR S.A.
- 79 HELADOS RIO SOTO S.A. DE C.V.
- 80 HENKEL DE EL SALVADOR S.A.
- 81 HILACASA '
- 82 HISPALIA S.A. DE C.V.
- 83 HOECHT
- 84 HOSPITAL BENJAMÍN BLOOM
- 85 HOSPITAL MILITAR
- 86 HOTEL CAMINO REAL INTERCONTINENTAL

87 IMFICA S.A. DE C.V.  
88 IMPREMATEX S.A.  
89 IMPRESORA LA UNION S.A DE C.V.  
90 IMSA DE C.V  
91 INAZUCAR INGENIO EL ANGEL  
92 INDECA  
93 INDESI S.A. DE C.V.  
94 INDUFOAM S.A. DE C.V.  
95 INDUSTRIA CARICIA S.A DE C.V  
96 INDUSTRIA DE HILOS DE EL SALVADOR  
97 INDUSTRIA UNISOLA,S.A  
98 INDUSTRIAL QUIMICA SALVADOREÑA S.A.  
99 INDUSTRIALPLAST S.A. DE C.V.  
100 INDUSTRIAS ASBESTO S.A.  
101 INDUSTRIAS CARICIA S.A.  
102 INDUSTRIAS CRISTAL DE C.A.  
103 INDUSTRIAS DIVERSAS S.A.  
104 INDUSTRIAS DUX S.A.  
105 INDUSTRIAS EL DRAGON S.A. DE C.V.  
106 INDUSTRIAS EL TAURO S.A. DE C.V.  
107 INDUSTRIAS LACTEAS SAN JOSE  
108 INDUSTRIAS MIKE MIKE S.A. DE C.V.  
109 INDUSTRIAS PLASTICAS S.A. DE C.V.  
110 INDUSTRIAS QUIMICAS S.A. (IQSA)  
111 INDUSTRIAS READI S.A. DE C.V.  
112 INDUSTRIAS ST JACK'S S.A. DE C.V.  
113 INDUSTRIAS TECNICAS S.A.  
114 INDUSTRIAS TEXTILES CUSCATLAN  
115 INDUSTRIAS UNISOLA S.A.  
116 INDUSTRIAS VIKTOR S.A. DE C.V.  
117 INDUSTRIAS YAHR  
118 INDUSTRIAS ZAMI  
119 INPELCA  
120 INSINCA  
121 INTUSA S.A  
122 JMB COMMUNICATIONS S.A. DE C.V.  
123 KATIVO DE EL SALVADOR SA  
124 KOSANG INDUSTRIAL S.A.  
125 LA CONSTANCIA S.A.  
126 LA FABRIL DE ACEITES S.A.DE C.V.  
127 LA FAVORITA S.A.  
128 LA PRENSA GRAFICA  
129 LABORATORIOS ARSAL  
130 LABORATORIOS LAFAR  
131 LABORATORIOS LAINEZ  
132 LABORATORIOS LOPEZ S.A.DE C.V.  
133 LABORATORIOS WOHLER S.A.

- 134 LENOX DE CENTROAMERICA S.A.DE C.V.
- 135 LICORES CENTROAMERICANOS S.A.
- 136 LIDO, S.A DE C.V
- 137 LINDISA
- 138 LONAS DECORATIVAS S.A. DE C.V.
- 139 LLANTAS VIFRIO DE EL SALVADOR
- 140 MALHER S.A. DE C.V.
- 141 MANUFACTURAS PLASTICAS S.A. DE C.V.
- 142 MANUFACTURERA TEXTIL S.A DE C.V
- 143 MAQUILAS ESPECIALES SALVADOREÑAS
- 144 MAQUINAS INDUSTRIALES DE EL SALVADOR S.A. DE C.V.
- 145 MARMOLINDUSTRIA C.A . S.A.
- 146 MATERIALES SALTEX S.A DE C.V
- 147 MATRICERIA INDUSTRIAL ROXY S.A.
- 148 McCORMICK DE CENTRO AMERICA
- 149 MECAFE S.A. DE C.V.
- 150 MELHER S.A. C.V.
- 151 MERCA S.A. DE C.V.
- 152 METALES TROQUELADOS S.A. DE C.V.
- 153 MOBLEX S.A. DE C.V.
- 154 MOLSA
- 155 NEMTEX S.A. DE C.V.
- 156 NESTLE
- 157 ORTIZA S.A. DE C.V.
- 158 OXGASA
- 159 PASTA S.A. DE C.V.
- 160 PINSAL S.A.
- 161 PLANTA DE TORREFACCION DE CAFE S.A.
- 162 PLASTICOS Y METALES S.A.
- 163 PLASTIGLAS DE EL SALVADOR S.A.
- 164 PROASA DE C.V.
- 165 PROCESOS DIVERSOS S.A. DE C.V,
- 166 PROCESOS LACTEOS S.A.
- 167 PRODUCTOS ALIMENTICIOS BOCADELLI S.A.
- 168 PRODUCTOS ALIMENTICIOS DIANA S.A.DE C.V.
- 169 PRODUCTOS ALIMENTICIOS SELLO DE ORO
- 170 PRODUCTOS ATLAS S.A DE C.V.
- 171 PRODUCTOS DE CAFE S.A.
- 172 PRODUCTOS DE HULE JESA
- 173 PROSIPLAST S.A. DE C.V.
- 174 QUIMICAS LASSER DE EL SALVADOR S.A. DE C.V.
- 175 RAYONES DE EL SALVADOR S.A DE C.V
- 176 RECOPAV S.A. DE C.V.
- 177 REHMANN INDUSTRIALES S.A.
- 178 ROTOFLEX
- 179 SEPACESA
- 180 SERVICIOS Y PRODUCTOS INDUSTRIALES S.A.

- 181 SHERWIN WILLIAMS DE CA SA
- 182 SIEMENS
- 183 SIGMA S.A.
- 184 SOLAIRE S.A. DE C.V.
- 185 SUN CHEMICAL
- 186 TABACALERA DE EL SALVADOR S.A.
- 187 TACOPLAST S.A. DE C.V.
- 188 TALLERES MONDINI S.A.DE C.V.
- 189 TALLERES SARTI
- 190 TECNIFORMS S.A. DE C.V.
- 191 TECNOPLASTICOS, S.A DE C.V
- 192 TECSA S.A. DE C.V.
- 193 TELEMovil
- 194 TENERIA SALVADOREÑA S.A. DE C.V.
- 195 TEXTILES GIULIANNA
- 196 TEXTUFIL S.A.DE C.V.
- 197 TINTAS EL SALVADOR S.A. DE C.V.
- 198 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
- 199 VIJOSA
- 200 YOLANDA DESIREE S.A.

#### **2.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA.**

La elaboración de la encuesta partió de una lectura minuciosa del libro "IEEE Recommendations for safety design of industrial and commercial power systems", conocido como "Gold Book" de la IEEE, que recoge las conclusiones obtenidas a partir de diferentes estudios ejecutados en los Estados Unidos, en el período 1976-1989. En base a lo analizado, se procedió a una adaptación de los parámetros eléctricos a las condiciones reales de nuestro país, con la finalidad de que el estudio estuviera acorde con los sistemas de potencia existentes en la industria y el comercio de la zona metropolitana de San Salvador.

Entre los aspectos modificados a partir de la adaptación están:

- El voltaje de entrada de los transformadores.
- El rango de potencia para los motores.
- La potencia de salida de los motores generadores.
- El rango de voltaje de los circuit breakers.
- Se incluyeron en el estudio los tableros de control de generadores y cuchillas de desconexión.
- Se suprimieron algunas causas de fallas debidas al medio ambiente propio de EEUU (nevadas).

Una vez elaborada la encuesta preliminar se procedió a un mecanismo de preencuesta, que tuvo como finalidad depurar la formulación de la misma, consultando las opiniones de personal que labora en mantenimiento en algunas empresas de la muestra. Se pretendía aclarar la redacción y algunos conceptos de la encuesta, para un mejor entendimiento por parte de los sujetos de investigación.

Entre los preencuestados se incluyeron:

- Ingenieros electricistas.
- Técnicos de mantenimiento eléctrico.
- Jefes de secciones de potencia.
- Docentes universitarios en el ramo de la ingeniería.

Después del proceso depurativo se obtuvo la encuesta definitiva.

A continuación se presenta la encuesta final obtenida a partir del procedimiento planteado anteriormente, se muestra tal como la recibieron todas las empresas encuestadas, sin variar de ninguna manera el formato original de la misma.

La encuesta comienza con una breve explicación para el técnico del personal de mantenimiento que la recibió, con la finalidad de que tenga un panorama mas claro de lo que en la encuesta se le solicita y la conteste con la mayor exactitud posible. Lo anterior es de suma importancia para nuestro estudio, ya que de estas respuestas depende en gran medida la credibilidad de los datos obtenidos.

En las paginas siguientes de la encuesta se observan los aspectos puramente técnicos de nuestro estudio, se mencionan los equipos de interés como lo son: los transformadores, los motores, los generadores, los circuit breakers, las cuchillas de desconexión etc.

Para facilitar el análisis de los datos y por problemas de espacio se diseño un formato de tablas que permitiera al encuestado colocar solamente números en las casillas de las mismas, debido a que la información solicitada era muy extensa se considero que este formato era el mas indicado para nuestra encuesta.

Cabe mencionar que cada tabla tiene en el encabezado su explicación respectiva, con el afán de proporcionar siempre, claridad al encuestado.

## 2.5. FORMULARIO DE ENCUESTA.

Estimado miembro del Departamento Técnico:

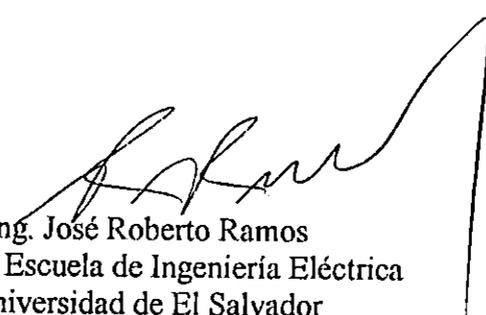
Agradecemos su gentileza al dedicar parte de su valioso tiempo para considerar esta encuesta, que es la base de un Trabajo de Graduación. Los resultados obtenidos del presente estudio beneficiarán a los sectores industrial y comercial de nuestro país, ya que permitirán establecer nuevos criterios para el uso eficiente de la energía eléctrica y un desempeño más eficaz de los equipos de potencia que ustedes poseen, como son: transformadores, motores y tableros de control, generadores, circuit breakers, etc.

En la siguiente tabla se muestran los años de los que se pide información. Por favor anote en las casillas de las derecha los años de que usted nos dará información para cada tipo de equipo.

EQUIPO ENCUESTADO	PERÍODO SOLICITADO	PERÍODO DEL QUE USTED TIENE DATOS
Transformadores	1988 a 1998	
Motores y tableros de Arranque central	1992 a 1998	
Generadores	1988 a 1998	
Circuit breakers y cuchillas de desconexión	1992 a 1998	

La veracidad de los datos obtenidos a partir de sus respuestas garantizará el éxito de esta investigación.

Le reiteramos nuestro agradecimiento por su valiosísima colaboración.



Ing. José Roberto Ramos  
Director Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de El Salvador

**PARTE I : TRANSFORMADORES**

1.1) ANOTE EN LAS CASILLAS LAS CANTIDADES SOLICITADAS.  
SE TRATA DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA QUE PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS.

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE		TRANSFORMADORES SECOS
	Capacidad de 0 a 112.5 KVA V primario entre 4 KV y 23 KV V secundario entre 0 y 600 V	Capacidad de 112.5 a 500 KVA V primario entre 4 KV y 23 KV V secundario entre 0 y 600 V	
Número de transformadores que posee en la subestación o subestaciones			
Número de fallas ocurridas en el período considerado			
Total de reparaciones sin tener repuestos en bodega			
Total de horas que llevó reparar las fallas sin tener repuestos en bodega.			
Total de reparaciones con repuestos de bodega			
Total de horas que llevó reparar las fallas usando repuestos existentes en bodega			

1.2) ESTA TABLA SE REFIERE A LOS TRANSFORMADORES DE ENTRADA UBICADOS EN EL INTERIOR DE LOS EQUIPOS RECTIFICADORES QUE SU EMPRESA POSIBLEMENTE TENGA.

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE		TRANSFORMADORES SECOS	
	Capacidad entre 0 y 112.5 KVA	Capacidad entre 112.5 y 500 KVA	Cualquier capacidad	
Número de transformadores que posee				
Número de fallas ocurridas en el período considerado				
Total de reparaciones sin tener repuestos en bodega				
Total de horas que llevó reparar las fallas sin tener repuestos en bodega.				
Total de reparaciones con repuestos de bodega				
Total de horas que llevó reparar las fallas usando repuestos existentes en bodega				

1.3) REGISTRE LOS DATOS SEGÚN LOS RANGOS DE EDAD DE LOS TRANSFORMADORES.

	TRANSFORMADORES DE POTENCIA REFRIGERADOS CON ACEITE					
	Capacidad entre 0 y 112.5 KVA		Capacidad entre 112.5 y 500 KVA		Capacidad mayor de 500 KVA	
	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad
Número de transformadores que posee			Mayores de 25 años	Mayores de 25 años		Mayores de 25 años
Número de fallas ocurridas						

1.4) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO TOTAL DE FALLAS DEL TRANSFORMADOR OCURRIDAS CONSIDERANDO LAS CAUSAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

	TRANSFORMADORES DE POTENCIA	TRANSFORMADORES A LA ENTRADA DE EQ. RECTIFICADORES
<b>CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA</b>		
<i>Fabricación defectuosa del transformador o mal ensamblaje</i>		
<i>Daño mientras se transportaba al lugar de uso</i>		
<i>Falla en la puesta en operación después de un mantenimiento</i>		
<i>Falla al hacer la primera prueba</i>		
<i>Falla al ejecutar maniobra</i>		
<i>Otros</i>		
<b>CAUSA QUE INICIÓ LA FALLA</b>		
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla de arco a tierra)</i>		
<i>Sobrecalentamiento</i>		
<i>Ruptura del aislante del embobinado</i>		
<i>Ruptura del aislamiento de los bushing</i>		
<i>Ruptura mecánica o deformación de partes estructurales</i>		
<i>Daño mecánico producido por agentes externos (excavación, accidente automovilístico, etc)</i>		
<i>Cortocircuito por animales.</i>		
<i>Cortocircuito por herramientas u otro objeto metálico</i>		
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de control de protección (relé) o dispositivo auxiliar</i>		
<i>Conexión suelta</i>		
<i>Sobrevoltajes continuos</i>		
<i>Bajo voltaje</i>		
<i>Baja frecuencia</i>		
<i>Otros</i>		
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>		
<i>Sobrecarga persistente</i>		
<i>Temperatura anormal</i>		
<i>Exposición a químicos corrosivos, solventes, polvo, humedad u otros contaminantes</i>		
<i>Deterioro normal por la edad</i>		
<i>Viento severo, lluvia u otras condiciones climáticas</i>		
<i>Carencia de dispositivos de protección</i>		
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de protección</i>		
<i>Fuga del aceite enfriador</i>		
<i>Pérdida de capacidad dieléctrica del aceite enfriador</i>		
<i>Falla durante la ejecución de una maniobra</i>		
<i>Mantenimiento inadecuado</i>		
<i>Quemaduras por fuego de origen no eléctrico</i>		
<i>Obstrucción de la ventilación</i>		
<i>Calibración incorrecta del dispositivo de protección</i>		
<i>Dispositivo de protección no apropiado</i>		
<i>Otros</i>		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA FALLA</b>		
<i>Un dispositivo de protección lo dejó fuera de servicio automáticamente</i>		
<i>El transformador se dejó fuera de servicio manualmente</i>		
<i>Falla parcial, reducción en la capacidad</i>		

**III : MOTORES Y TABLEROS DE ARRANQUE CENTRAL**

2.1) EN ESTA TABLA SE PRESENTAN DIFERENTES RANGOS DE CAPACIDAD Y VOLTAJES DE OPERACIÓN PARA MOTORES. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS. ESCRIBA LAS CANTIDADES SOLICITADAS.

MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Motores de hasta 50 HP	Más de 600 V	Motores mayores de 50 HP
	0 a 600 V		0 a 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?			
¿Cuántas fallas ocurrieron en el periodo considerado?			
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?			

MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA			
	Motores de hasta 50 HP	Más de 600 V	Motores mayores de 50 HP
	0 a 600 V		0 a 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?			
¿Cuántas fallas ocurrieron en el periodo considerado?			
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?			

2.2) EN ESTA TABLA SE PIDEN DATOS DE FALLAS EN LOS TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL DE LOS MOTORES. POR FAVOR ESCRIBA LAS CANTIDADES SOLICITADAS.

TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Para motores de hasta 50 HP	Más de 600 V	Para motores mayores de 50 HP
	0 a 600 V		0 a 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?			
¿Cuántas fallas ocurrieron en el periodo considerado?			
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?			

TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DC			
	Para motores de hasta 50 HP	Más de 600 V	Para motores mayores de 50 HP
	0 a 600 V		0 a 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?			
¿Cuántas fallas ocurrieron en el periodo considerado?			
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?			

● MARQUE CON UNA "X" SEGÚN SEA LA SITUACIÓN EN SU EMPRESA:

● ● CADA MOTOR TIENE SU PROPIO TABLERO

● ● HAY TABLEROS QUE CONTROLAN VARIOS MOTORES

2.3) EN ESTA TABLA SE LE PIDE COLOCAR LA CANTIDAD DE FALLAS Y EL TOTAL DE HORAS TRABAJADAS PARA REPARARLAS. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS.

	EN MOTORES DE HASTA 50 HP		EN MOTORES MAYORES DE 50 HP	
	Cantidad de fallas	Horas trabajadas	Cantidad de fallas	Horas trabajadas
Fallas reparadas en horario normal de trabajo				
Fallas reparadas trabajando sin cesar hasta terminar				
Fallas reparadas utilizando repuestos de bodega.				
Fallas reparadas sin urgencia				

2.4) REGISTRE LA CANTIDAD DE FALLAS DEBIDAS A LAS PIEZAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS.

PIEZA AFECTADA POR LA FALLA	MOTORES DE HASTA 50 HP		MOTORES MAYORES DE 50 HP	
	Cantidad de fallas en Motores de inducción	Cantidad de fallas en Motores de corriente directa	Cantidad de fallas en Motores de inducción	Cantidad de fallas en Motores de corr. directa
Rodamientos				
Embobinados				
Rotor				
Eje o mecanismo de acople				
Escobillas				
Dispositivos externos al motor				
Caja de conexión eléctrica del motor				

2.5) ANOTE LA CANTIDAD DE FALLAS OCURRIDAS EN LAS PIEZAS DE MOTOR INDICADAS, SEGÚN EL MOMENTO EN QUE SE DETECTÓ LA FALLA.

PIEZA QUE FALLÓ	MOTORES DE HASTA 50 HP		
	Situación en que se descubrió la falla		
	Mientras el motor operaba	Estando en mantenimiento o en prueba	En otra ocasión
Rodamientos			
Embobinados			
Rotor			
Eje o mecanismo de acople			
Escobillas			
Dispositivo externo			
Caja de conexión eléctrica del motor			
PIEZA QUE FALLÓ	MOTORES MAYORES DE 50 HP		
	Situación en que se descubrió la falla		
	Mientras el motor operaba	Estando en mantenimiento o en prueba	En otra ocasión
Rodamientos			
Embobinados			
Rotor			
Eje o mecanismo de acople			
Escobillas			
Dispositivo externo			
Caja de conexión eléctrica del motor			

2.6) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS CONSIDERANDO LAS CAUSAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

	MOTORES DE INDUCCIÓN		MOTOR DE CORR. DIRECTA	
	De 0 a 50 HP	Mayores de 50 HP	De 0 a 50 HP	Mayores de 50 HP
<b>CAUSA QUE INICIO LA FALLA</b>				
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje</i>				
<i>Sobrecalentamiento</i>				
<i>Ruptura del aislamiento</i>				
<i>Pérdida de velocidad del motor</i>				
<i>Otros</i>				
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>				
<i>Sobrecarga persistente</i>				
<i>Temperatura ambiente alta</i>				
<i>Humedad anormal</i>				
<i>Voltaje anormal</i>				
<i>Frecuencia anormal</i>				
<i>Vibración excesiva</i>				
<i>Químicos corrosivos</i>				
<i>Lubricante deficiente o deteriorado</i>				
<i>Ventilación o enfriamiento deficientes</i>				
<i>Deterioro normal por la edad</i>				
<i>Otros</i>				
<b>CAUSA DE FALLA IMPLÍCITA</b>				
<i>Componente defectuoso</i>				
<i>Falla después de instalación</i>				
<i>Falla después de mantenimiento</i>				
<i>Operación incorrecta</i>				
<i>Falla durante manejo de embarque</i>				
<i>Protección física inadecuada</i>				
<i>Protección eléctrica inadecuada</i>				
<i>Falla durante ejecución de una maniobra</i>				
<i>Incompatibilidad con el equipo que maneja el motor</i>				
<i>Otros</i>				

**PARTE III : GENERADORES DE EMERGENCIA**

3,1) A CONTINUACIÓN SE SOLICITAN DATOS SOBRE GENERADORES AC DE EMERGENCIA  
INDIQUE LAS CANTIDADES SEGÚN EL CASO DE SU EMPRESA.

	<i>GENERADORES DE EMERGENCIA HASTA 75 KVA</i>		
	<i>Nr. de unidades que posee</i>	<i>Total de fallas ocurridas</i>	<i>Total de horas de suspensión por fallas en el sistema de generación</i>
<i>Generadores de emergencia y de reserva</i>			

	<i>GENERADORES DE EMERGENCIA MAYORES DE 75 KVA</i>		
	<i>Nr. de unidades que posee</i>	<i>Total de fallas ocurridas</i>	<i>Total de horas de suspensión por fallas del generador</i>
<i>Generadores de emergencia y de reserva</i>			

**PARTE IV: CIRCUIT BREAKERS Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN  
(DATOS TENTATIVOS DE 1992 A 1998)**

4.1) ¿CUÁNTOS CIRCUIT BREAKERS POSEE SU INSTALACIÓN? \_\_\_\_\_

4.2) ¿CUÁNTAS CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN POSEE SU INSTALACIÓN? \_\_\_\_\_

4.3) ANOTE EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS SEGÚN LAS CONDICIONES INDICADAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA

CONDICIÓN EN QUE OCURRIÓ LA FALLA	Circuit breakers	Cuchillas de desconexión
Falló mientras estaba en servicio		
Falló durante prueba o mantenimiento		
El daño se descubrió durante prueba o mantto.		
La falla fue parcial		
Otros casos		

4.4) ANOTE EL NÚMERO DE FALLAS SEGÚN EL ELEMENTO DAÑADO Y EL TIPO DE FALLA.

ELEMENTO DAÑADO	Circuit breakers	Cuchillas de desconexión
Falla en bobinas		
Falla en rodamientos		
Otro aislante		
Partes móviles		
Otros daños mecánicos		
Dispositivos eléctricos auxiliares		
Dispositivos eléctricos de protección		
Taps tipo sin carga		
Taps tipo de carga		
Otras fallas		
TIPO DE FALLA		
Arco a tierra		
Otros tipos de arco		
Otros defectos eléctricos		
Defecto mecánico		
Otras fallas		

4.5) DETALLE EL NÚMERO DE FALLAS CORREGIDAS SEGÚN EL MÉTODO DE REPARACIÓN EMPLEADO.

MÉTODO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE FALLAS CORREGIDAS EN:	
	Circuit breakers	Cuchillas de desconexión
Pieza reparada en el lugar o enviada a taller		
Reparación sustituyendo la pieza por repuesto de bodega		
Otro tipo de reparación		

4.6) REGISTRE EL NÚMERO DE FALLAS SEGÚN LA URGENCIA CON QUE SE REPARARON.

URGENCIA CON QUE SE HIZO LA REPARACIÓN	Circuit breakers	Cuchillas de desconexión
Se trabajó sin horario hasta terminar la reparación		
La reparación se hizo en horario normal		
La reparación se hizo en horas extras		
No hubo prisa en la reparación		
Otras circunstancias		

4.7) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

<i>CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA</i>	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<i>Daño mientras se transportaba al lugar de uso</i>		
<i>Fabricación defectuosa del elemento o mal ensamblaje</i>		
<i>Falla al hacer la primera prueba</i>		
<i>Falla después de trabajos de mantenimiento</i>		
<i>Falla durante la ejecución de maniobra</i>		
<i>Otros</i>		
<i>CAUSA QUE INICIÓ LA FALLA</i>		
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla por arco a tierra)</i>		
<i>Sobrecalentamiento</i>		
<i>Ruptura del aislamiento</i>		
<i>Quebraduras o rupturas mecánicas</i>		
<i>Piezas sueltas, corrosión o piezas deformadas</i>		
<i>Piezas móviles quemadas o fundidas</i>		
<i>Daño causado por excavaciones o accidentes vehiculares</i>		
<i>Cortocircuitos provocados por piezas de metal</i>		
<i>Cortocircuitos causados por animales</i>		
<i>Falla en la energía del circuito de control del elemento</i>		
<i>Mal funcionamiento de relés de control</i>		
<i>Bajo voltaje</i>		
<i>Baja frecuencia</i>		
<i>Otros</i>		
<i>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</i>		
<i>Sobrecarga persistente</i>		
<i>Temperaturas arriba de lo normal</i>		
<i>Contacto con químicos corrosivos o solventes</i>		
<i>Contacto con agua o humedad</i>		
<i>Exposición al fuego</i>		
<i>Obstrucción de ventilación por objetos extraños</i>		
<i>Deterioro normal por la edad</i>		
<i>Viento, lluvia u otras condiciones ambientales</i>		
<i>Mal ajuste del relé de protección</i>		
<i>Pérdida o deficiencia de lubricante</i>		
<i>Falla durante una prueba</i>		
<i>Exposición al polvo u otro contaminante</i>		
<i>Sobredimensionamiento del dispositivo</i>		
<i>Subdimensionamiento del dispositivo</i>		
<i>Otras</i>		

## 2.6. MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENCUESTA.

Con la finalidad de que la encuesta pudiera ser introducida sin obstáculos a las diferentes empresas, se buscó el respaldo de algunas instituciones que las agremian, tales como la Asociación Salvadoreña de Industriales (ASI) y la Asociación Nacional de la Empresa Privada (ANEP); en ambas no se obtuvo colaboración, debido a que no tienen como política distribuir correspondencia fuera de su interés particular.

Esta actitud representa una limitante para el desarrollo de investigaciones académicas, debido al poco interés que existe por parte de algunos gremios y empresas en apoyar estudios que en un futuro redundarían en beneficios económicos para ellos.

Finalmente, se logró la ayuda de la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador, institución que gentilmente facilitó la distribución de las encuestas entre las empresas asociadas. Por otra parte, algunas encuestas fueron entregadas personalmente a empleados de mantenimiento de las empresas y otras contestadas concertando una entrevista.

## 2.7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO II.

La metodología adoptada para realizar la presente investigación es estadística, por medio de encuestas.

La población está demarcada por tres factores fundamentales: el tipo de empresa, la ubicación geográfica y la demanda de potencia actual.

La muestra es de tipo probabilística, lo que implica que todas las empresas han tenido igual oportunidad de ser escogidas.

Debido a que en el país, el porcentaje de encuestas retornadas es muy bajo, se ha incrementado la muestra que se obtuvo del cálculo estadístico.

## 2.8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA DEL CAPÍTULO II.

Hernández Sampieri, Roberto. Metodología de la Investigación  
McGraw-Hill, 1991.

Hines, W. W. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración  
CECSA, 1994.

López Aragón Oscar René. "Factibilidad Técnica-económica de producir en El Salvador equipo industrial de instrumentación y control electrónico". Tesis para optar al grado de Ingeniero Electricista,  
Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, 1989.

Mandel, J. The statistical analysis of experimental data.  
Nueva York: Dover publications, Inc.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE DATOS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN.

La información proporcionada en las encuestas por las empresas que componen la muestra es sometida a análisis en este capítulo. Los datos se presentan en forma tabular, teniendo como referencia indirecta los esquemas del "Gold Book" editado por la IEEE.

La evaluación de datos se enriquece con gráficos de barras y tipo pastel, a fin de ofrecer una mejor visión de los resultados. Cada sección va acompañada de su respectivo comentario, destacando las conclusiones más importantes.

Entre los parámetros básicos para el estudio de confiabilidad en este capítulo están: causas de fallas, métodos de reparación, urgencia con que se atendieron los desperfectos, duración de los cortes ocasionados por fallas, edad de los equipos, etc.

El análisis estadístico está orientado a calcular variables como el número de fallas por unidad-año (cantidad de fallas dividida entre el período considerado), la media de horas de corte por falla (tiempo total de suspensión dividido entre el número de fallas) y la mediana de horas de corte por falla. El objetivo primordial de este capítulo es demostrar la importancia que la confiabilidad tiene en la optimización de los sistemas eléctricos de potencia, sin olvidar el ahorro económico que esto conlleva.

#### 3.2 TRANSFORMADORES.

Puede definirse el transformador como el aparato en el cual dos o más circuitos eléctricos estacionarios se acoplan magnéticamente, estando encadenado el embobinado por un flujo magnético común que varía con el tiempo. Uno de estos de estos embobinados, el primario, recibe potencia a un voltaje dado desde la fuente y el otro embobinado, el secundario, suministra potencia, usualmente a un voltaje diferente, a la carga.

El transformador es un elemento indispensable en los actuales sistemas eléctricos de potencia comerciales e industriales, y un componente vital en muchas aplicaciones de baja potencia, como en el caso de algunos circuitos electrónicos.

Aún cuando el transformador es un aparato estático, ya que su construcción básica no demanda ninguna parte móvil, algunos de los principales fundamentos de su operación son útiles para analizar el comportamiento de motores eléctricos y generadores.

La potencia comercial es, prácticamente sin ninguna excepción, generada y transmitida como trifásica, implicando varias transformaciones de voltaje. La potencia trifásica puede convertirse de un voltaje a otro mediante dos o tres transformadores monofásicos o por el uso de un transformador trifásico. Es posible usar varios arreglos: delta-delta, estrella-estrella, estrella-delta o delta-estrella.

En el caso de transformadores idénticos en un arreglo dado, cada transformador lleva un tercio de la carga trifásica bajo condiciones de carga y voltajes balanceados.

Los datos relativos a transformadores se recolectaron del período 1988-1998, considerando que diez años son una estimación aceptable de vida útil para estos equipos.

La información básica está registrada en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3. A partir de ellas se desarrolla el análisis estadístico presentado en las Tablas 3.4, 3.5 y 3.6.

TABLA 3.1 DATOS GENERALES DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA REFRIGERADOS CON ACEITE Y SECOS.

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE			TRANSF. SECOS
	Desde 0 hasta 112.5 KVA	Entre 112.5 y 500 KVA	Mayores de 500 KVA	Cualquier potencia
	4KV - 23 KV / 0 - 600 V	4 KV - 23 KV / 0 - 600 V	4 KV - 23 KV / 0 - 600 V	Cualquier voltaje
Número de transformadores reportados en subestaciones	121	40	14	49
Número de fallas ocurridas desde 1988	8	2	6	1
Total de horas que llevó reparar las fallas sin tener transformadores de repuesto en bodega.	67	184	303	48
Total de horas que llevó reparar las fallas sustituyendo por transformadores existentes en bodega	12	0	144	0

TABLA 3.2 DATOS GENERALES DE TRANSFORMADORES DE ENTRADA EN EQUIPOS RECTIFICADORES

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE				TRANSFORMADORES SECOS
	Desde 0 hasta 112.5 KVA		Entre 112.5 y 500 KVA		Cualquier potencia
	0 - 600 V	4 KV - 23 KV	0 - 600 V	4 KV - 23 KV	Cualquier voltaje
Número de transformadores que posee	7	0	0	0	442
Número de fallas registradas	1	0	0	0	0
Total de horas que llevó reparar las fallas sin tener transformadores de repuesto en bodega.	0	0	0	0	0
Total de horas que llevó reparar las fallas sustituyendo por transformadores existentes en bodega	24	0	0	0	0

TABLA 3.3 DATOS GENERACIONALES DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

	TRANSFORMADORES DE POTENCIA REFRIGERADOS CON ACEITE								
	Potencia entre 0 y 112.5 KVA			Potencia entre 112.5 y 500 KVA			Potencia mayor de 500 KVA		
	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad	Mayores de 25 años	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad	Mayores de 25 años	1 - 10 años de edad	11 - 25 años de edad	Mayores de 25 años
Número de transformadores reportados	63	51	4	14	10	3	7	10	2
Número de fallas registradas	5	2	1	0	2	0	0	6	0

### 3.2.1 TIEMPOS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

El tiempo cesante debido a la falla de un componente implica pérdidas económicas, de manera que es importante la velocidad de respuesta ante las eventualidades. La siguiente tabla ofrece una evaluación estadística de los datos registrados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.4. Estadística de fallas y tiempos de reparación para transformadores de potencia.

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE			TRANSF. SECOS
	Desde 0 hasta 112,5 KVA	Entre 112,5 y 500 KVA	Mayores de 500 KVA	Cualquier potencia
	4 KV - 23 KV// 0 - 600 V	4 KV - 23 KV// 0 - 600 V	4 KV - 23 KV// 0 - 600 V	Cualquier voltaje
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	0,80	0,20	0,60	0,10
PROMEDIO DE TIEMPO DE REPARACION (HORAS POR FALLA)	8,38	92,00	50,50	48,00
PROMEDIO DE TIEMPO DE SUSTITUCION (HORAS POR FALLA)	1,50	0,00	24,00	0,00

La frecuencia de falla de los transformadores de potencia es notablemente baja, a pesar de las inclemencias de los inviernos y las irregularidades en el suministro eléctrico a causa del conflicto armado durante la década pasada.

El más representativo de esta tendencia es el caso de los transformadores refrigerados con aceite, en los rangos de 112.5-500 KVA y 4-23 KV: se registran dos fallas en una muestra de 40 elementos (véase Tabla 3.1).

Un aspecto importante que refleja esta tabla es la gran ventaja de disponer de transformadores de repuesto en bodega, ya que los promedios de tiempo que llevaron las sustituciones son considerablemente menores que el tiempo consumido en las reparaciones (dentro o fuera de la empresa). Desde luego que esto se reflejará en una sensible reducción en las pérdidas por corte. Puede concluirse que las empresas deben considerar la factibilidad de mantener una existencia razonable de repuestos en bodega, a fin de sustituir los transformadores dañados con el mínimo sacrificio de la producción. Claro está que la selección de los elementos debe provenir un análisis estadístico del historial de fallas, de modo de que la bodega no se convierta en acumulación de repuestos que nunca se utilizarán, provocando gastos innecesarios.

Los datos recopilados en este estudio ofrecen información valiosa para la elaboración de una justificación económica del mantenimiento de bodegas.

Los tiempos de corte pueden reducirse si las empresas contratan los servicio de CAESS o DELSUR para la sustitución rápida de los transformadores dañados, dados la experiencia y los recursos de que disponen estas distribuidoras para tales eventualidades.

### 3.2.2 TIEMPOS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN PARA TRANSFORMADORES DE ENTRADA DE RECTIFICADORES DE POTENCIA.

Esta tabla contiene la evaluación estadística de los datos presentados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.5. Estadística de fallas y tiempos de reparación para transformadores de entrada de rectificadores

	TRANSFORMADORES REFRIGERADOS CON ACEITE				TRANSFORMADORES SECOS
	Desde 0 hasta 112.5 KVA		Entre 112.5 y 500 KVA		Cualquier potencia
	0- 600 V	4 KV- 23 KV	0- 600 V	4 KV- 23 KV	Cualquier voltaje
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	0,1	0	0	0	0
PROMEDIO DE TIEMPO DE REPARACION (HORAS POR FALLA)	0	0	0	0	0
PROMEDIO DE TIEMPO DE SUSTITUCION (HORAS POR FALLA)	24	0	0	0	0

Los transformadores de entrada en equipos rectificadores aparecen reportados solamente en el rango de 0-112.5 KVA y de 0-600 voltios. Aunque su tasa de fallas por año es baja (0.1), se advierte una inversión considerable de tiempo en la restauración del equipo por sustitución. Hay que recordar que los desperfectos en estos transformadores frecuentemente repercuten en el sistema rectificador en general, pudiendo hacer más complicada la reparación del sistema.

Desafortunadamente no hay reporte sobre los transformadores secos. Usualmente éstos se emplean en sistemas de iluminación de grandes instalaciones. Los transformadores secos no poseen tanque y se encuentran expuestos. Son enfriados por el aire del entorno.

### 3.2.3 FALLAS Y TIEMPOS DE REPARACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA COTEJADOS CON LA EDAD.

El tiempo de servicio de los transformadores al momento de la falla es una variable útil en la elaboración de planes de mantenimiento. La Tabla 3.6 contiene el análisis estadístico de los datos recolectados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.6. Fallas y tiempos de reparación para transformadores de potencia refrigerados con aceite, cotejados con la edad.

	<i>Potencia entre 0 y 112.5 KVA</i>		
	<i>1 - 10 años de edad</i>	<i>11 - 25 años de edad</i>	<i>Mayores de 25 años</i>
<i>NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS</i>	63	51	4
<i>NUMERO DE FALLAS REPORTADAS</i>	5	2	1
<i>FALLAS POR UNIDAD-AÑO</i>	0,5	0,2	0,1
	<i>Potencia entre 112.5 y 500 KVA</i>		
	<i>1 - 10 años de edad</i>	<i>11 - 25 años de edad</i>	<i>Mayores de 25 años</i>
<i>NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS</i>	14	10	3
<i>NUMERO DE FALLAS REPORTADAS</i>	0	2	0
<i>FALLAS POR UNIDAD-AÑO</i>	0	0,2	0
	<i>Potencia mayor de 500 KVA</i>		
	<i>1 - 10 años de edad</i>	<i>11 - 25 años de edad</i>	<i>Mayores de 25 años</i>
<i>NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS</i>	7	10	2
<i>NUMERO DE FALLAS REPORTADAS</i>	0	6	0
<i>FALLAS POR UNIDAD-AÑO</i>	0	0,6	0

La “muerte por vejez” es la más significativa en los transformadores mayores de 25 años y con potencia entre 0 y 112.5 KVA. De acuerdo a la muestra podría estimarse como 1 de 4 transformadores. En el rango superior a los 500 KVA se tiene la mayor cantidad de fallas por unidad año cuando la edad del transformador se ubica entre los 11 y 25 años.

En general, la “mortalidad infantil” no es una amenaza en la muestra estudiada. Es notable la pequeña cantidad de transformadores de edad avanzada (mayores de 25 años) que se reportan operando, y asimismo, la baja tasa de fallas por unidad-año. Posiblemente esa clase de unidades son retiradas de servicio y sustituidas antes de un fallo fatal.

### 3.2.4 CAUSAS DE FALLAS EN TRANSFORMADORES .

Tabla 3.7 Causas de fallas en transformadores de potencia y de entrada de rectificadores.

CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA	TRANSFORMADORES DE POTENCIA		TRANSFORMADORES A LA ENTRADA DE EQ. RECTIFICADORES	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
<i>Fabricación defectuosa del transformador o mal ensamblaje</i>	2	29%	0	0%
<i>Daño mientras se transportaba al lugar de uso</i>	0	0%	1	50%
<i>Falla en la puesta en operación después de un mantenimiento</i>	1	14%	1	50%
<i>Falla al hacer la primera prueba</i>	0	0%	0	0%
<i>Falla al ejecutar maniobra</i>	0	0%	0	0%
Otros	4	57%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>

CAUSA QUE INICIO LA FALLA				
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla de arco a tierra)</i>	1	8%	0	0%
<i>Sobrecalentamiento</i>	2	15%	0	0%
<i>Ruptura del aislante del embobinado</i>	2	15%	0	0%
<i>Ruptura del aislamiento de los bushing</i>	1	8%	0	0%
<i>Ruptura mecánica o deformación de partes estructurales</i>	2	15%	0	0%
<i>Daño mecánico producido por agentes externos (excavación, accidente automovilístico, etc)</i>	0	0%	0	0%
<i>Cortocircuito por animales.</i>	1	8%	0	0%
<i>Cortocircuito por herramientas u otro objeto metálico</i>	0	0%	0	0%
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de control de protección (relé) o dispositivo auxiliar</i>	0	0%	1	100%
<i>Conexión suelta</i>	2	15%	0	0%
<i>Sobrevoltajes continuos</i>	0	0%	0	0%
<i>Bajo voltaje</i>	0	0%	0	0%
<i>Baja frecuencia</i>	0	0%	0	0%
Otros	2	15%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>

CAUSA QUE CONTRIBUYO A LA FALLA				
<i>Sobrecarga persistente</i>	3	25%	1	20%
<i>Temperatura anormal</i>	0	0%	0	0%
<i>Exposición a químicos corrosivos, solventes, polvo, humedad u otros contaminantes</i>	0	0%	0	0%
<i>Deterioro normal por la edad</i>	5	42%	4	80%
<i>Viento severo, lluvia u otras condiciones climáticas</i>	0	0%	0	0%
<i>Carencia de dispositivos de protección</i>	0	0%	0	0%
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de protección</i>	0	0%	0	0%
<i>Fuga del aceite enfriador</i>	0	0%	0	0%
<i>Pérdida de capacidad dieléctrica del aceite enfriador</i>	3	25%	0	0%
<i>Falla durante la ejecución de una maniobra</i>	0	0%	0	0%
<i>Mantenimiento inadecuado</i>	1	8%	0	0%
<i>Quemaduras por fuego de origen no eléctrico</i>	0	0%	0	0%
<i>Obstrucción de la ventilación</i>	0	0%	0	0%
<i>Calibración incorrecta del dispositivo de protección</i>	0	0%	0	0%
<i>Dispositivo de protección no apropiado</i>	0	0%	0	0%
Otros	0	0%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

CARACTERÍSTICAS DE LA FALLA				
<i>Un dispositivo de protección lo dejó fuera de servicio automáticamente</i>	3	60%	1	100%
<i>El transformador se dejó fuera de servicio manualmente</i>	1	20%	0	0%
<i>Falla parcial, reducción en la capacidad</i>	1	20%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>

A fin de hacer un diagnóstico exhaustivo de las razones por las que fallan los transformadores, la investigación se orientó a tres categorías de causas:

- Causas responsables: causas terminales de las fallas que el personal de mantenimiento detecta primariamente al examinar el componente.
- Causas iniciadoras: causas originadoras o desencadenantes de los desperfectos.
- Causas contribuyentes: causas laterales que contribuyen al desenlace.

De la Tabla 3.7, para los transformadores de potencia, se puede determinar que los aspectos de mayor responsabilidad fueron: fabricación defectuosa del transformador o mal ensamblaje, con un 29%, y “otros”, con un 57%. Estos resultados podrían interpretarse en el peor de los casos como un intento de descargar la responsabilidad en agentes fuera del control de la empresa.

El aspecto “falla en la puesta en operación después de un mantenimiento” tiene un peso del 14%. De ello puede inferirse que las deficiencias técnicas del personal de mantenimiento tienen incidencias estimables en los desperfectos.

Los transformadores de entrada de rectificadores acusan que las dos causas principalmente responsables de las fallas son: daño mientras se transportaba al lugar de uso, con un 50%, y falla en la puesta en operación después de un mantenimiento, con un 50%. De nuevo, este último aspecto pudiera reflejar deficiencias técnicas del personal.

La causa que inició la falla en los transformadores de potencia abarca diversos rubros, los cuales son: sobrecalentamiento con un 15%, ruptura mecánica o deformación de partes estructurales con un 15%, conexión suelta con 15% y otros con 15%. No hay, pues, una variable dominante.

Para los transformadores de rectificador sin embargo, los resultados fueron distintos: el mal funcionamiento del dispositivo de control de protección o dispositivo auxiliar fue el causante de la falla en un 100%. Este dato apuntaría a la mala calidad de las protecciones o a un inadecuado dimensionamiento de las mismas.

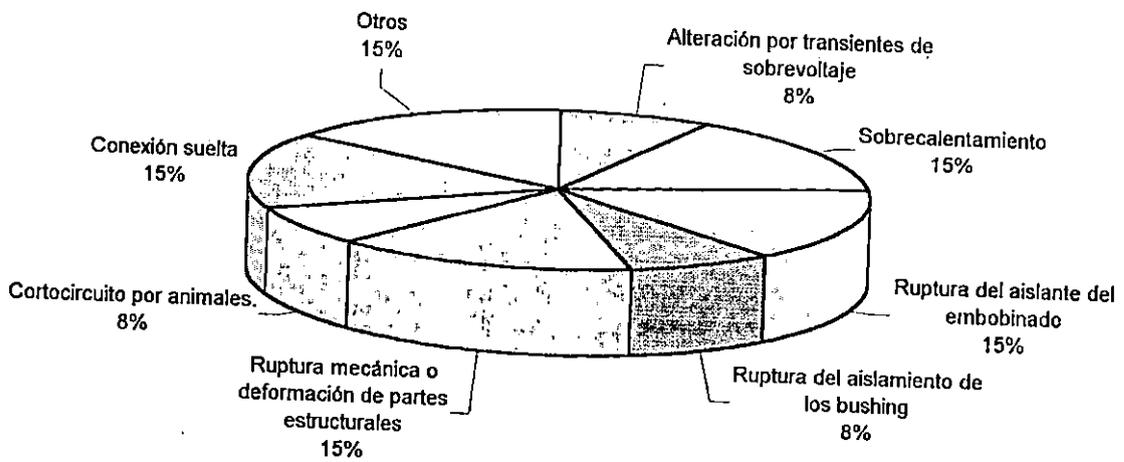
Por otra parte, la causa que más contribuyó para que un transformador de potencia fallara fue el deterioro normal por la edad, con un 41%. La pérdida de la capacidad dieléctrica del aceite enfriador ocupa la segunda ubicación con un 25%.

Los resultados obtenidos para los transformadores de equipo rectificador fueron: sobrecarga persistente, con un 20%, y deterioro normal por la edad, con un 80%.

La tendencia de los datos registrados para las características de aislamiento de las fallas, refleja que para los transformadores de potencia, el accionamiento de la protección dejó al componente fuera del sistema en el 60% de los casos. Esto es notorio porque refleja sintomatología de inadecuada protección o coordinación.

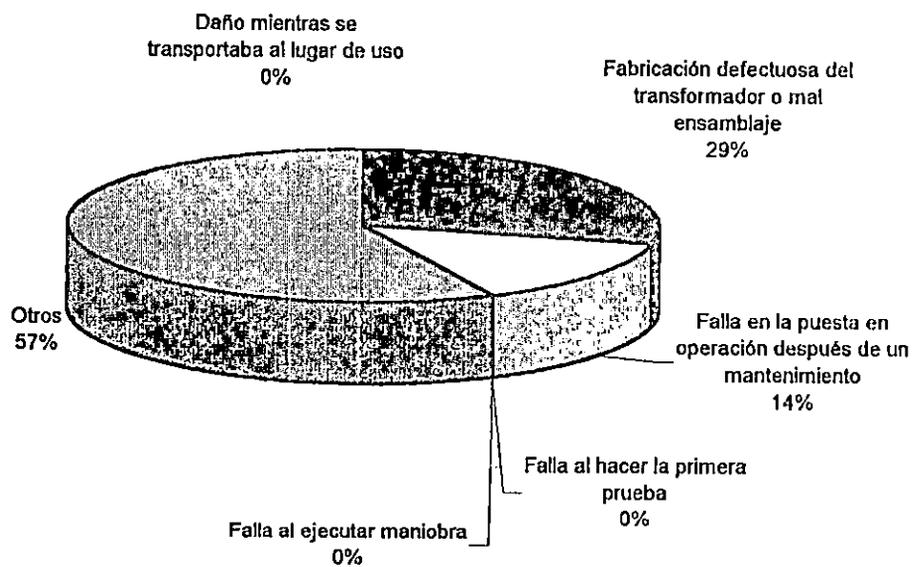
Distinta es la situación para los transformadores de equipo rectificador; pues el dispositivo de protección actuó para sacar de servicio automáticamente en el 100% de los casos.

**GRÁFICO 3.1**  
**CAUSAS INICIADORAS DE FALLAS**  
**EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

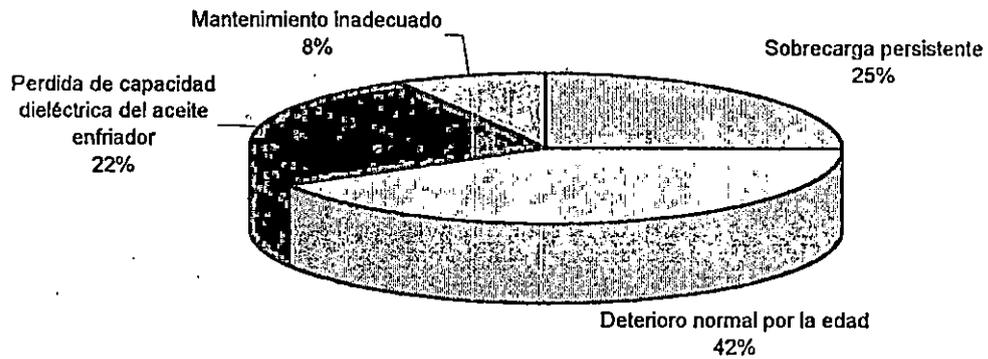


- SIN PORCENTAJE**
- Baja frecuencia
  - Bajo voltaje
  - Sobrevoltajes continuos
  - Falla de relé o dispositivo auxiliar
  - Falla de arco a tierra
  - Mal funcionamiento del dispositivo de control de protección
  - Daño por excavación, accidente automovilístico, etc
  - Daño mecánico producido por agentes externos

**GRÁFICO 3.2**  
**CAUSAS RESPONSABLES DE FALLAS**  
**EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA**



**GRÁFICO 3.3**  
**CAUSAS QUE CONTRIBUYERON A LAS FALLAS**  
**EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA**



**SIN PORCENTAJE**

- Fuga del aceite enfriador
- Mal funcionamiento del dispositivo de protección
- Carencia de dispositivos de protección
- Viento severo, lluvia u otras condiciones climáticas
- Exposición a químicos corrosivos, solventes, polvo, humedad
- Temperatura anormal
- Falla durante la ejecución de una maniobra
- Obstrucción de la ventilación
- Quemaduras por fuego de origen no eléctrico
- Calibración incorrecta del dispositivo de protección
- Dispositivo de protección no apropiado

### 3.3 MOTORES DE INDUCCIÓN Y DE CORRIENTE DIRECTA.

Los motores de inducción y de corriente directa son estudiados en el periodo de 1992 a 1998, totalizando 6 años, lo que representa una estimación de vida útil.

Las dos grandes categorías de capacidad consideradas tienen como demarcación media los 50 hp, teniendo en cuenta que la mayoría de la población en la industria y el comercio nacional se ubica en el rango menor a los 50 hp.

Los motores son el tipo de equipo más representativo del universo estudiado en el sentido de que está presente abundantemente en las instalaciones.

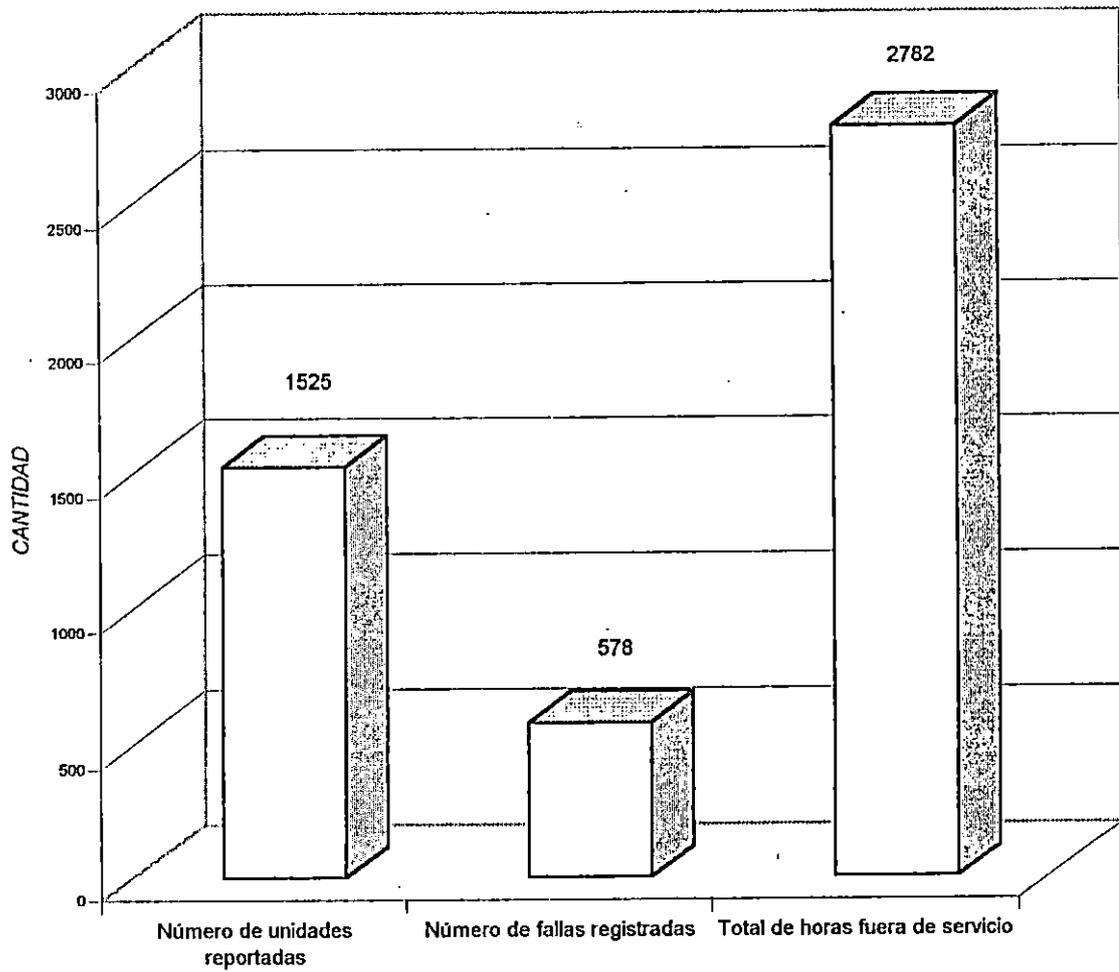
Tabla 3.8 Datos generales de motores de inducción y DC.

	MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
Número de unidades reportadas	1525	0	107	7
Número de fallas registradas	578	0	37	5
Total de horas fuera de servicio	2782	0	614	400
	MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA (DC)			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
Número de unidades reportadas	100	0	7	0
Número de fallas registradas	10	0	10	0
Total de horas fuera de servicio	140	0	360	0

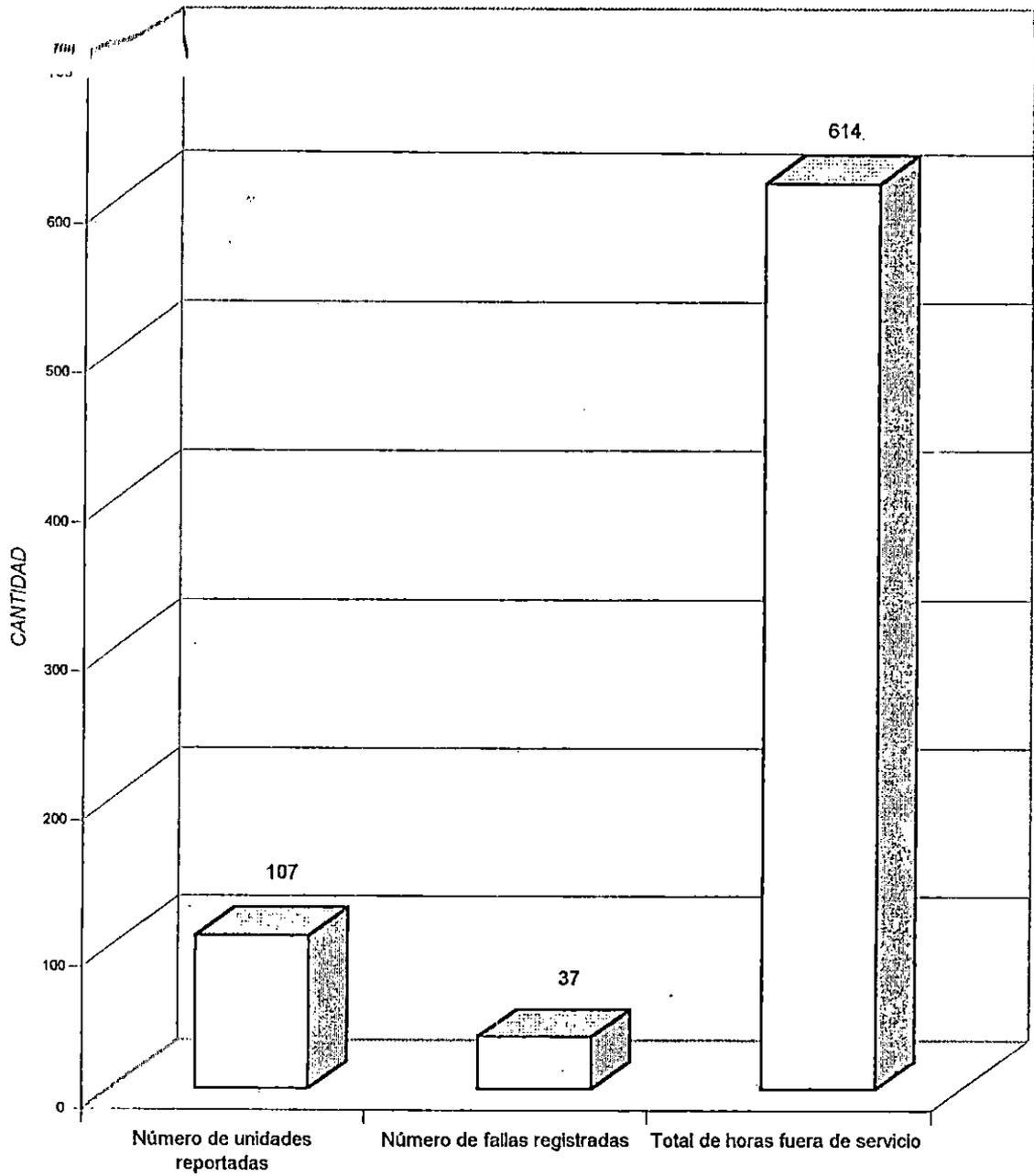
Tabla 3.9 Datos generales de tableros de arranque y control para motores de inducción y de corriente directa.

	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
Número de unidades reportadas	485	0	66	0
Número de fallas registradas	307	0	84	0
Total de horas fuera de servicio	2952	0	120	0
	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DC			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
Número de unidades reportadas	67	0	6	0
Número de fallas registradas	25	0	0	0
Total de horas fuera de servicio	75	0	0	0

**GRÁFICO 3.4 ESTADÍSTICA DE MOTORES DE INDUCCIÓN  
CAPACIDAD 0-50 HP \* VOLTAJE 0-600 V**



**GRÁFICO 3.5 ESTADÍSTICA DE MOTORES DE INDUCCIÓN  
CAPACIDAD: 50 HP EN ADELANTE \* VOLTAJE: 0-600 V**



### 3.3.1 FALLAS Y TIEMPOS DE REPARACIÓN PARA MOTORES DE INDUCCIÓN Y DE CORRIENTE DIRECTA.

La siguiente tabla presenta la evaluación estadística de los datos contenidos en la Tabla 3.8.

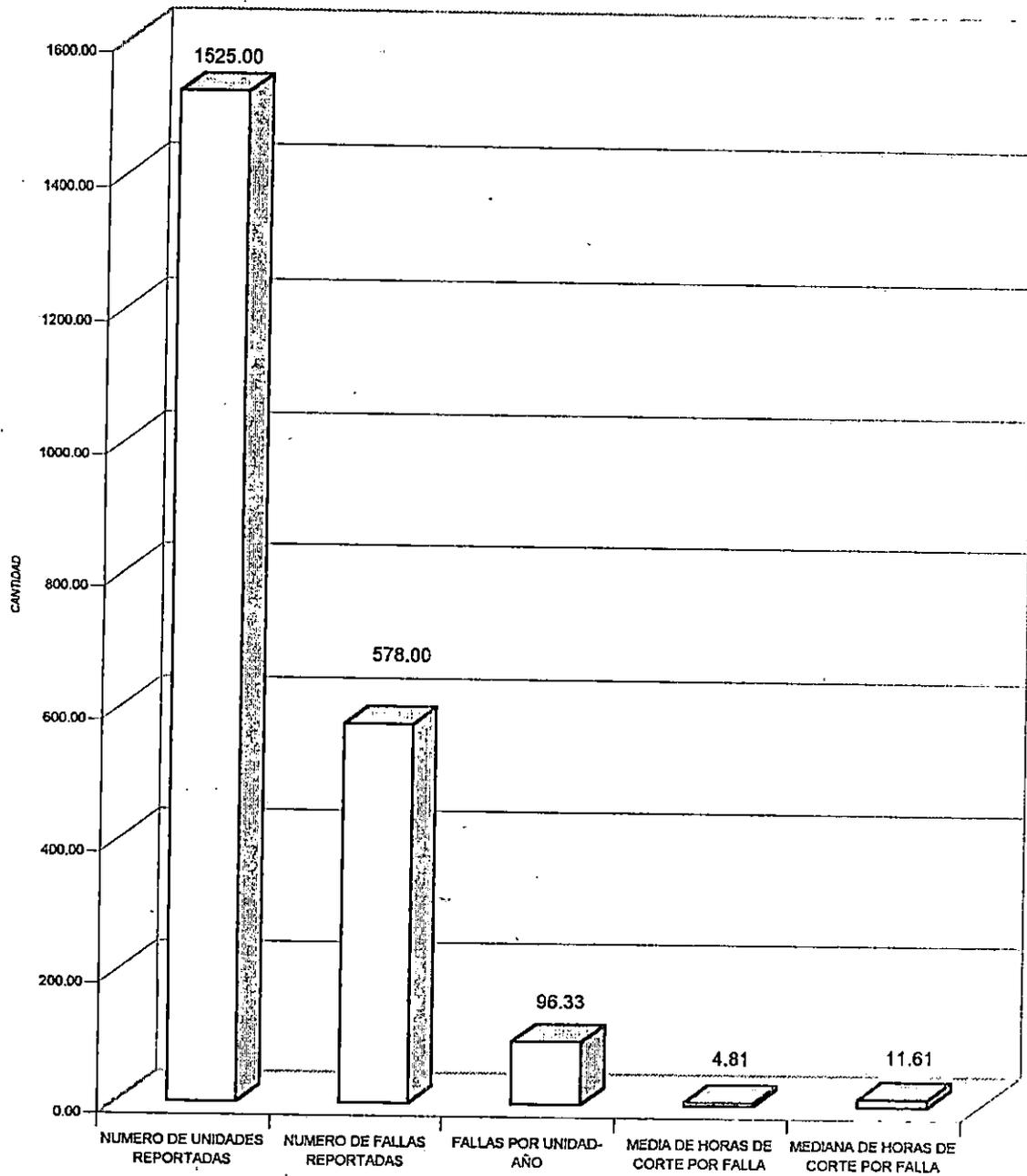
Tabla 3.10. Fallas y tiempos de reparación para motores de inducción y de corriente directa.

	MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS	1525,00	0,00	107,00	7,00
NUMERO DE FALLAS REPORTADAS	578,00	0,00	37,00	5,00
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	96,33	0,00	6,17	0,83
MEDIA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	4,81	0,00	16,59	80,00
MEDIANA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	11,61	0,00	72,00	80,00
	MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA (DC)			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS	100,00	0,00	7,00	0,00
NUMERO DE FALLAS REPORTADAS	10,00	0,00	10,00	0,00
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	1,67	0,00	1,67	0,00
MEDIA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	14,00	0,00	36,00	0,00
MEDIANA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	10,00	0,00	36,00	0,00

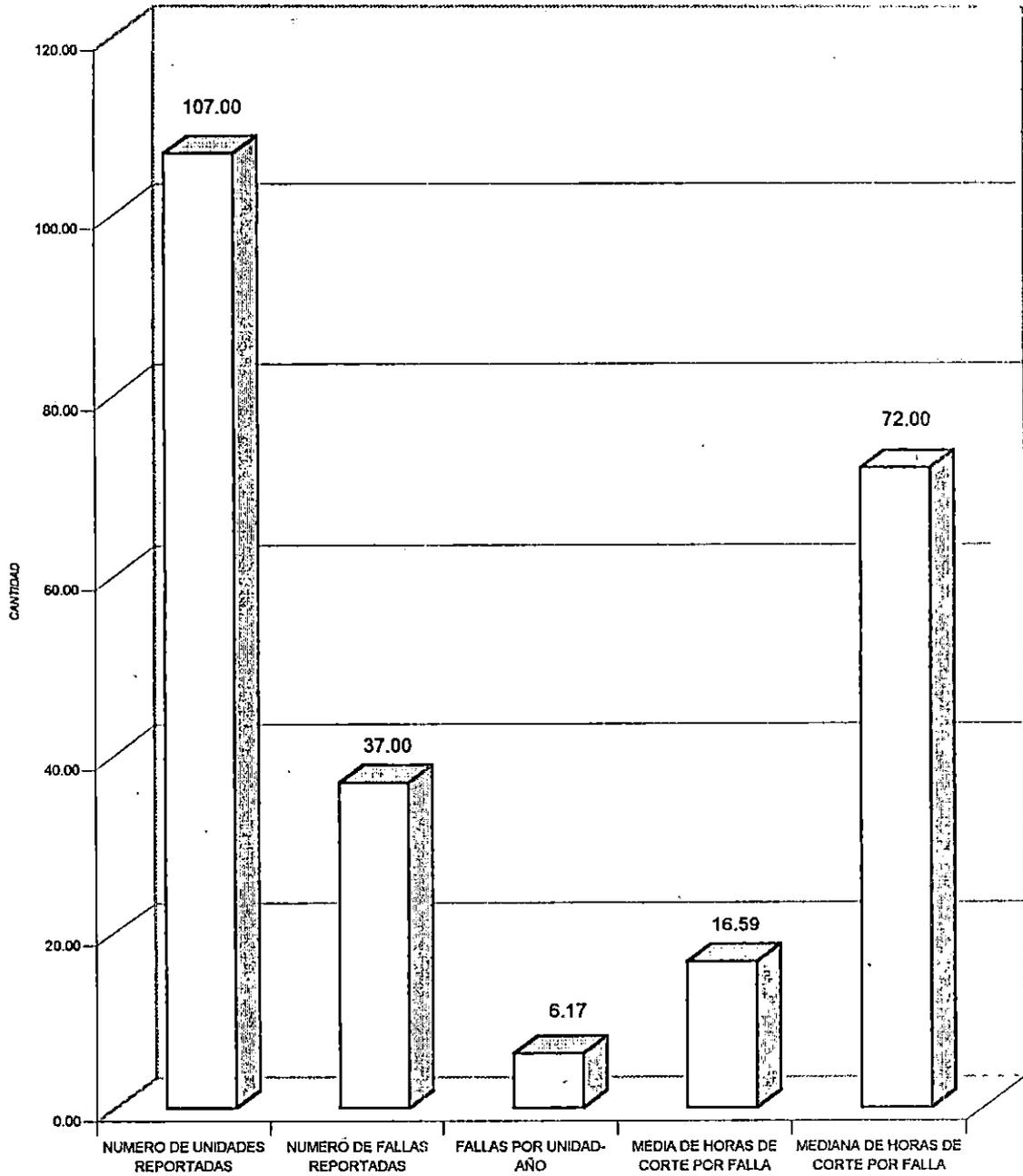
Las empresas industriales y comerciales encuestadas poseen primordialmente motores de inducción y de corriente directa con potencias menores o iguales a 50 HP. Los superiores son característicos de los grandes sistemas mecánicos o hidráulicos.

El número de fallas por unidad-año para esta categoría es considerablemente alto (96.33); concluyéndose que el motor es uno de los elementos más golpeados por los desperfectos en nuestro medio. Pero el bajo promedio de horas de corte por falla (así como la baja mediana) refleja posiblemente el hecho de que la experiencia ha enseñado a responder con rapidez y eficacia las eventualidades, de manera que la reparación se solventa con prontitud, reduciendo consecuentemente las pérdidas. Puede deducirse que la disponibilidad de repuestos (en bodega o en el mercado) es buena. Todo lo contrario es el panorama de los grandes motores (mayores de 50 HP) con voltajes de operación superiores a los 600 V. A pesar del bajo número de fallas por unidad-año (0.83), provocan largos tiempos de corte del proceso productivo (80 horas promedio por falla).

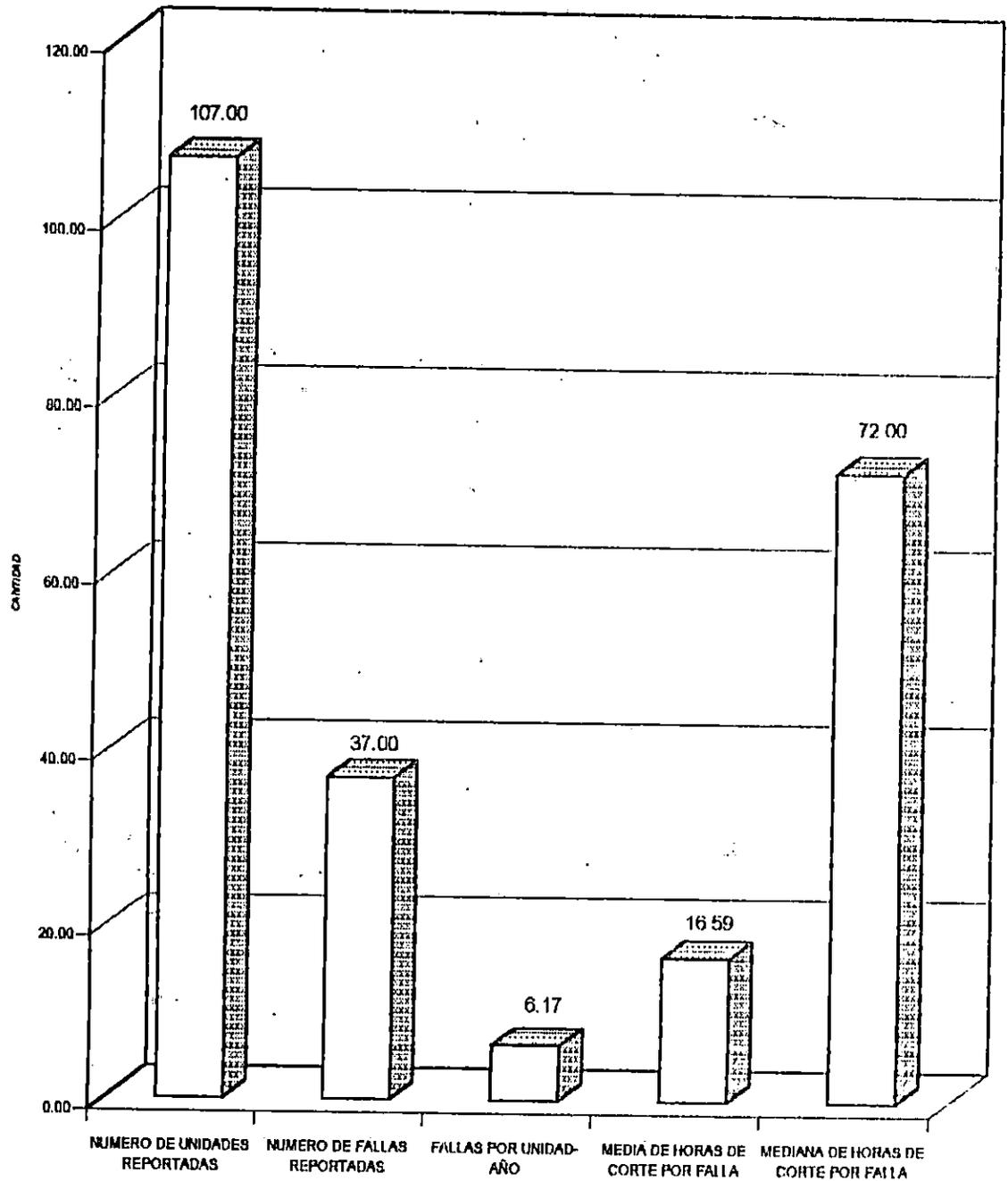
**GRÁFICO 3.6 ESTADÍSTICA DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN  
CAPACIDAD: 0-50 HP \* VOLTAJE: 0-600 V**



**GRÁFICO 3.7 ESTADÍSTICA DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN**  
**CAPACIDAD: 50 HP O MAS \* VOLTAJE: 0- 600 V**



**GRÁFICO 3.7 ESTADÍSTICA DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN  
CAPACIDAD: 50 HP O MAS \* VOLTAJE: 0- 600 V**



### 3.3.2 FALLAS Y TIEMPOS DE REPARACIÓN PARA TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL.

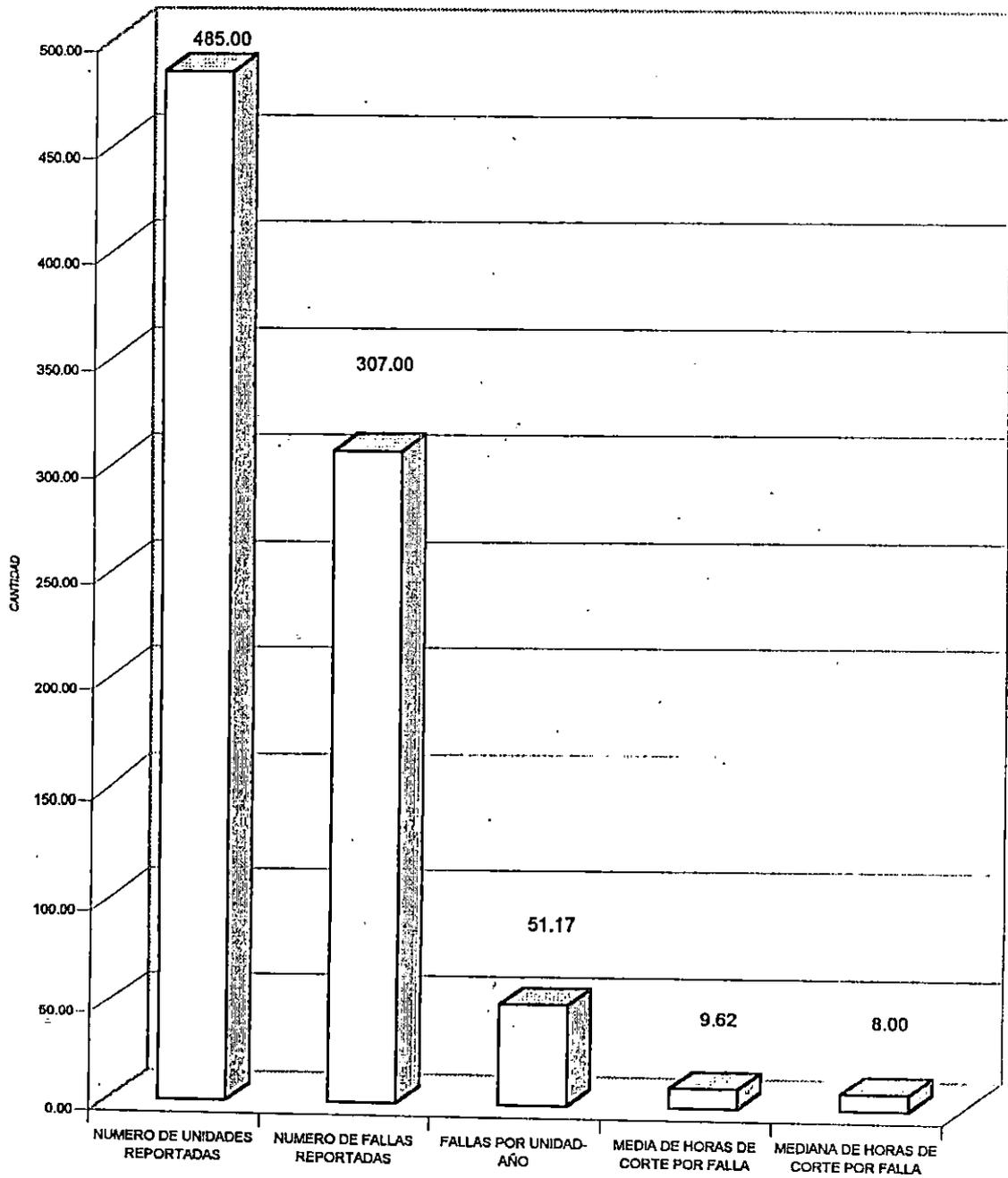
La referencia para el cálculo de los datos de esta tabla se encuentra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.11. Fallas y tiempos de reparación para tableros de arranque y control

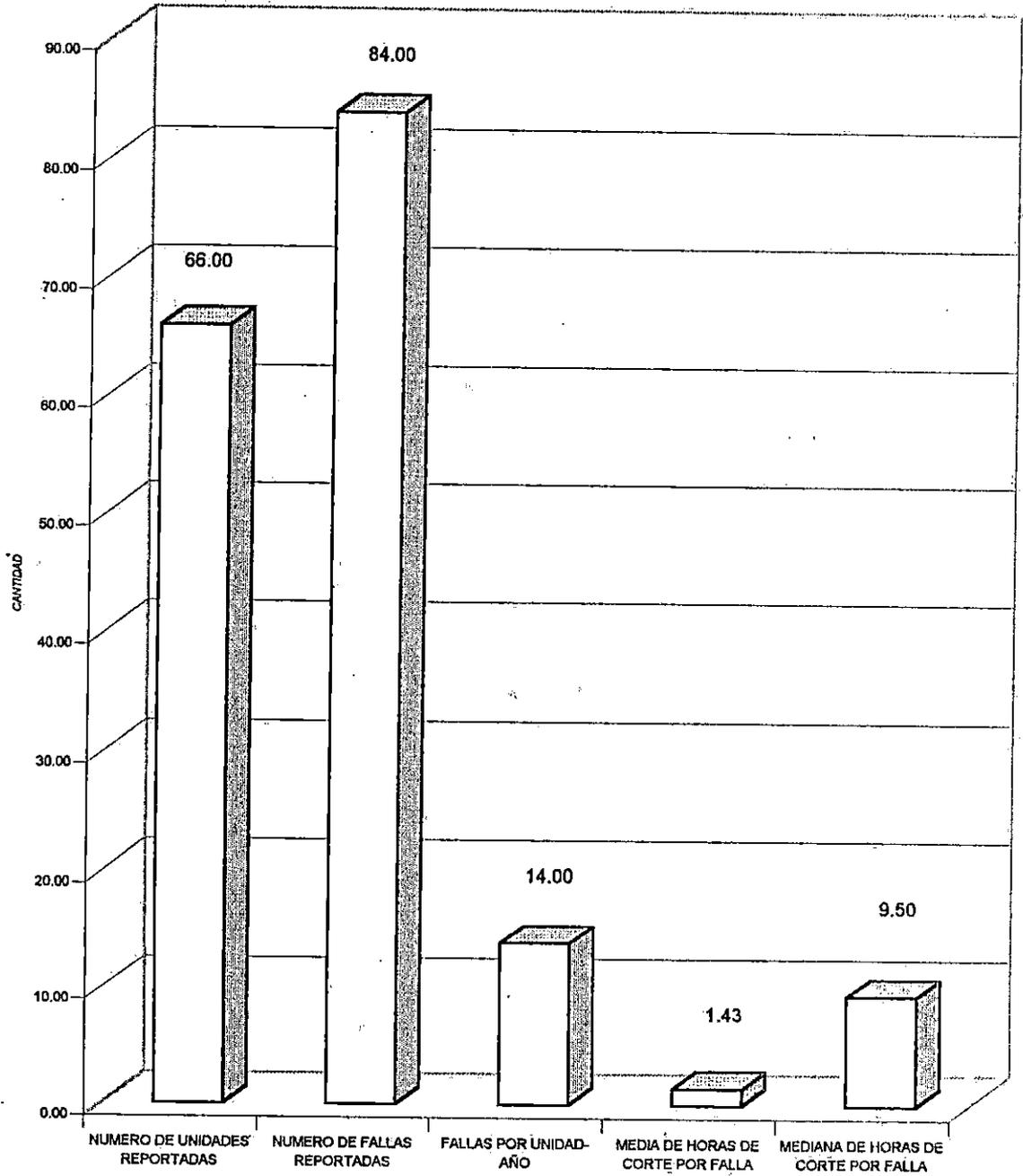
	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS	485,00	0,00	66,00	0,00
NUMERO DE FALLAS REPORTADAS	307,00	0,00	84,00	0,00
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	51,17	0,00	14,00	0,00
MEDIA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	9,62	0,00	1,43	0,00
MEDIANA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	8,00	0,00	9,50	0,00
	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DC			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
NUMERO DE UNIDADES REPORTADAS	67,00	0,00	6,00	0,00
NUMERO DE FALLAS REPORTADAS	25,00	0,00	0,00	0,00
FALLAS POR UNIDAD-AÑO	4,17	0,00	0,00	0,00
MEDIA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	3,00	0,00	0,00	0,00
MEDIANA DE HORAS DE CORTE POR FALLA	0,00	0,00	24,00	0,00

Los tableros de control asociados a los motores menores de 50 HP (sean de inducción o de corriente directa) siguen la misma tendencia en cuanto a fallas. Exhiben alta tasa de desperfectos y un discreto promedio de horas de corte por falla. Debe anotarse que el tablero es frecuentemente solidario al daño en el motor, pues las fallas en el sistema de potencia pueden fácilmente repercutir en la circuitería de control.

GRÁFICO 3.8 ESTADÍSTICA DE FALLAS PARA TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL DE MOTORES DE INDUCCIÓN (CAPACIDAD HASTA 50 HP \* VOLTAJE 0-600 V)



**GRÁFICO 3.9 ESTADÍSTICA DE FALLAS PARA TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL DE MOTORES DE INDUCCIÓN (CAPACIDAD MAYOR DE 50 HP \* VOLTAJE 0- 600 V)**



### 3.3.3 MODALIDADES DE REPARACIÓN DE FALLAS EN MOTORES DE HASTA 50 HP.

Las modalidades de reparación reflejan la prioridad con que las fallas son tratadas, y normalmente este aspecto sintoniza con la magnitud de las pérdidas económicas que el corte de producción subsecuente representa.

Tabla 3.12. Modalidades de reparación de fallas en motores de hasta 50 hp.

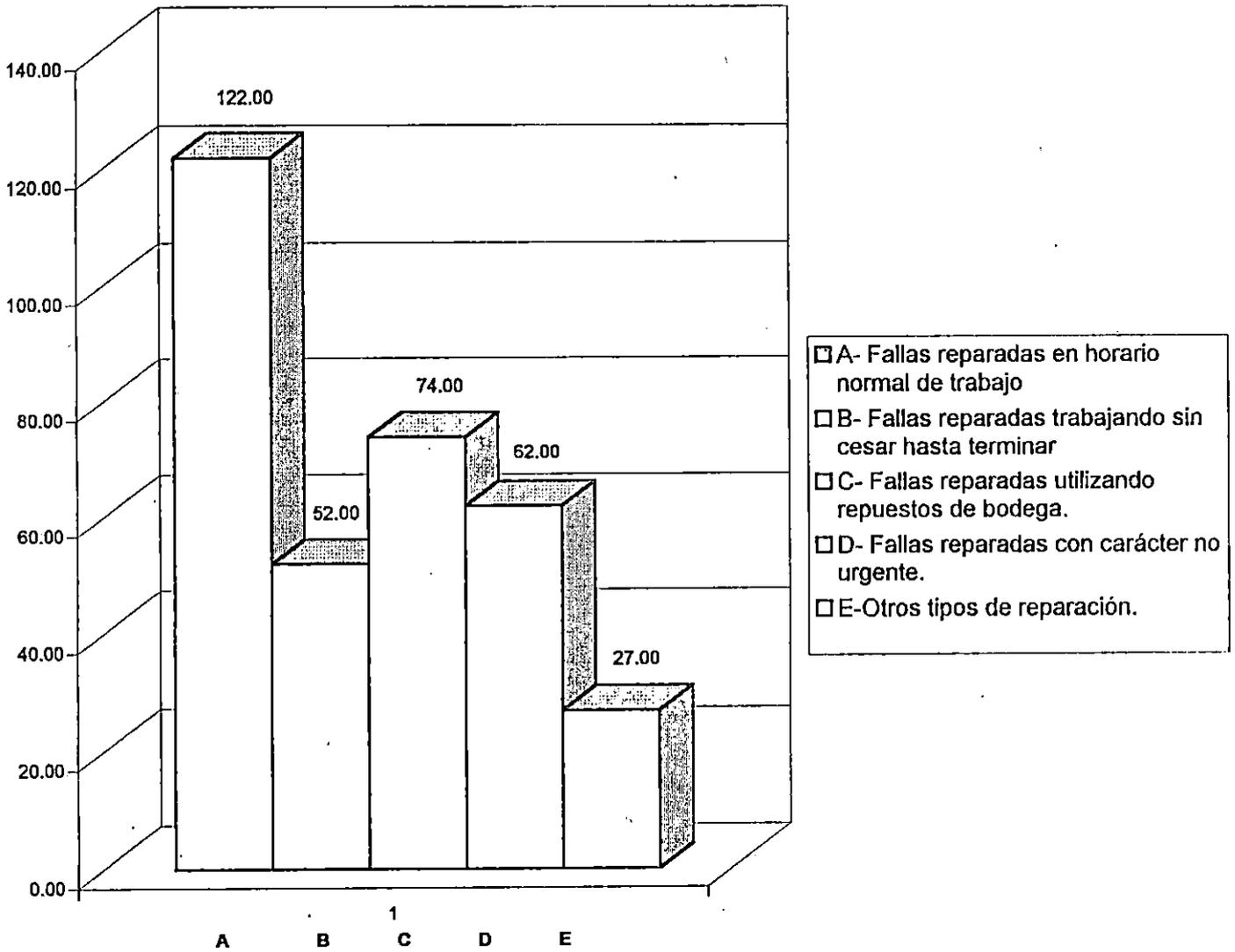
MODALIDAD DE REPARACION	NR. DE FALLAS	HORAS PROMEDIO DE PARO POR FALLA	MEDIANA DE HORAS DE PARO POR FALLA
A- Fallas reparadas en horario normal de trabajo	122,00	5,67	9,55
B- Fallas reparadas trabajando sin cesar hasta terminar	52,00	5,50	9,44
C- Fallas reparadas utilizando repuestos de bodega.	74,00	1,58	7,77
D- Fallas reparadas con carácter no urgente.	62,00	5,31	8,66
E- Otros tipos de reparación.	27,00	0,00	7,50

La cantidad de fallas reparadas en horario normal de trabajo llegan más que a duplicar a las atendidas trabajando sin parar. Esta cotejación revela que la urgencia no es una característica dominante en las reparaciones. Las excepciones podrían ser aquellos casos en que diferir el trabajo implicaría pérdidas significativas.

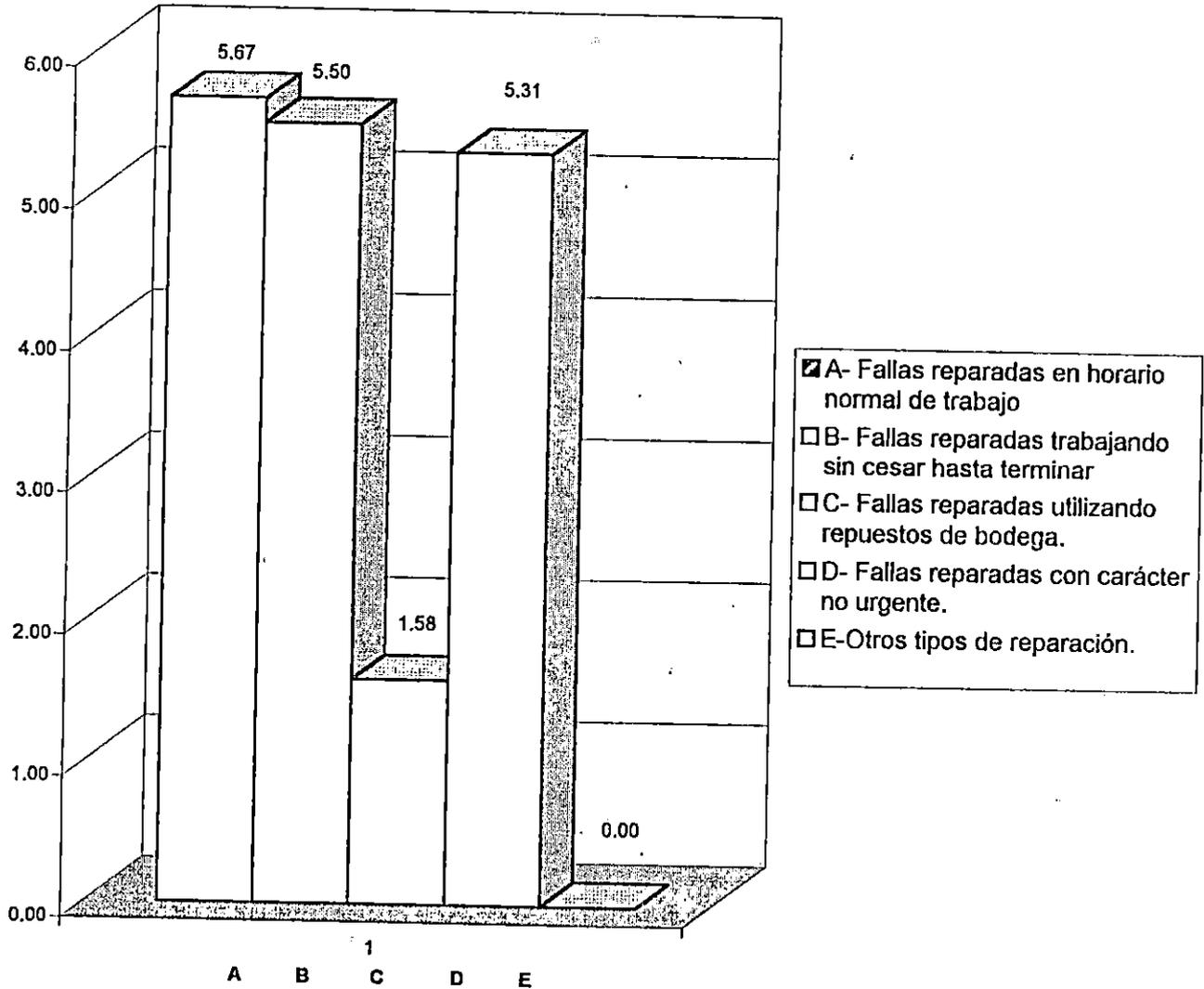
Por otro lado, es interesante confirmar que las fallas reparadas utilizando repuestos existentes en bodega consumen el más bajo promedio de horas. El estudio, pues, arroja datos que alientan a mantener una existencia de repuestos adecuada, disponible para disminuir los costos por interrupciones en los procesos productivos.

Con todo, es importante que la decisión sea tomada con criterios económicos y técnicos. La planeación de una bodega exige un análisis detenido de la circunstancia particular de cada empresa. La existencia de repuestos no debe ser subdimensionada porque no contribuye a la rápida y eficaz respuesta ante las eventualidades peligrosas que generan cortes de producción. Por el contrario, una bodega sobredimensionada puede conducir a pérdidas económicas al mantener existencia de repuestos que pueden descontinuarse antes de ponerse en uso. Con un criterio técnico acertado se evita que la bodega se convierta en "cementerio" de repuestos.

**GRÁFICO 3.10**  
**MODALIDADES DE REPARACIÓN EN MOTORES DE HASTA 50 HP**



**GRÁFICO 3.11**  
**HORAS PROMEDIO DE PARO POR FALLAS**  
**EN MOTORES DE HASTA 50 HP**



### 3.3.4 MODALIDADES DE REPARACIÓN DE FALLAS EN MOTORES MAYORES DE 50 HP.

La modalidad de reparación es importante porque ofrece implícitamente información acerca del grado de urgencia con que las fallas son atendidas.

El mantenimiento preventivo debe considerarse como una inversión, no como un despilfarro. Un adecuado programa de mantenimiento preventivo minimiza el mantenimiento correctivo, pero una vez se presenta la necesidad de este último debe asumirse con disposición y con carácter de inversión. Naturalmente que esto presenta una disyuntiva al empresario porque conlleva el empleo de repuestos y la posibilidad de asignar horas de trabajo extraordinarias al equipo técnico. No obstante, la modalidad de reparación en tiempo extra puede ser una alternativa ineludible cuando está en pleigro el proceso productivo.

Con todo y la crisis económica casi generalizada en nuestro tiempo, los rubros que contribuyen a la mantenibilidad de los sistemas deben ser fortalecidos porque garantizan la estabilidad y operabilidad de los componentes instalados.

Tabla 3.13. Modalidades de reparación de fallas en motores mayores de 50 hp.

	NR. DE FALLAS	HORAS PROMEDIO DE PARO POR FALLA	MEDIANA DE HORAS DE PARO POR FALLA
<i>Fallas reparadas en horario normal de trabajo</i>	3,00	10,67	11,00
<i>Fallas reparadas trabajando sin cesar hasta terminar</i>	2,00	35,00	35,00
<i>Fallas reparadas utilizando repuestos de bodega.</i>	2,00	0,00	0,00
<i>Fallas reparadas con carácter no urgente.</i>	2,00	0,00	0,00
<i>Otros tipos de reparación.</i>	0,00	0,00	0,00

El número de fallas ocurridas en motores de capacidad igual o superior a 50 HP es reducido en comparación a los de baja capacidad. Sin embargo, queda evidenciada la dificultad para efectuar las reparaciones respectivas al observar el alto promedio de horas de paro por falla.

Por otra parte, se revela la gravedad de las fallas al considerar la urgencia con que fueron tratadas los dos desperfectos que, no obstante, consumieron 35 horas de paro.

Aunque los motores mayores de 50 hp son exclusividad de las grandes industrias, y por tanto no son la nota dominante en la zona metropolitana de San Salvador, deben ser estudiados con interés, dado que tienen asociados sistemas potentes y complicados, y por lo tanto, sus fallas revisten importancia a causa de las evidentes repercusiones en el sistema.

### 3.3.5 COMPONENTES FALLADOS EN MOTORES DE INDUCCIÓN Y CORRIENTE DIRECTA.

Tabla 3.14. Componentes fallados en motores de inducción y de corriente directa.

COMPONENTE FALLADO	MOTORES DE HASTA 50 HP			
	Motores de inducción		Motores de corriente directa	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Rodamiento	107	24%	0	0%
Embobinado	196	43%	3	12%
Rotor	34	7%	7	27%
Eje o mecanismo de acople	50	11%	3	12%
Escobilla	20	4%	10	38%
Dispositivo externo al motor	14	3%	1	4%
Caja de conexión eléctrica del motor	31	7%	0	0%
Otros	2	0%	2	8%
<b>TOTALES</b>	<b>454</b>	<b>100%</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>
COMPONENTE FALLADO	MOTORES MAYORES DE 50 HP			
	Motores de inducción		Motores de corr. directa	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Rodamiento	3	25%	0	0%
Embobinado	7	58%	0	0%
Rotor	0	0%	0	0%
Eje o mecanismo de acople	0	0%	0	0%
Escobilla	0	0%	6	60%
Dispositivo externo al motor	0	0%	0	0%
Caja de conexión eléctrica del motor	2	17%	0	0%
Otros	0	0%	4	40%
<b>TOTALES</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Puede verse claramente a partir de la tabla anterior, que los dos componentes en los que se da la mayor cantidad de fallas para los motores de inducción son los rodamientos y los embobinados. Este comportamiento se da tanto para motores de hasta 50 HP como para los de mayor capacidad.

Por otro lado, para los motores de corriente directa, los componentes que más fallaron fueron las escobillas, en todos los niveles de potencia. Las escobillas están comúnmente compuestas de carbón, grafito y materiales orgánicos. Una capa entre las caras de óxido de cobre con un depósito delgado de grafito, existe en entre las escobillas y la superficie del conmutador. Esta capa tiene un efecto importante en la vida de la escobilla, desgaste del conmutador, y en la propia conmutación. El grafito actúa como un lubricante aún cuando otros ingredientes en la escobilla mantienen pulida la superficie del conmutador. La resistencia de la capa es lo suficientemente alta para limitar a la corriente de cortocircuito. Debe recordarse que la corriente en las armaduras de motores DC está alternando mientras que el circuito conectado externamente a la armadura a través de las escobillas es unidireccional para condiciones estables normales. La dirección de la corriente en cada bobina de la armadura se invierte a medida que los segmentos del conmutador en donde termina la bobina pasa bajo una escobilla. El intervalo durante el cual ocurre esto se conoce como el período de conmutación.

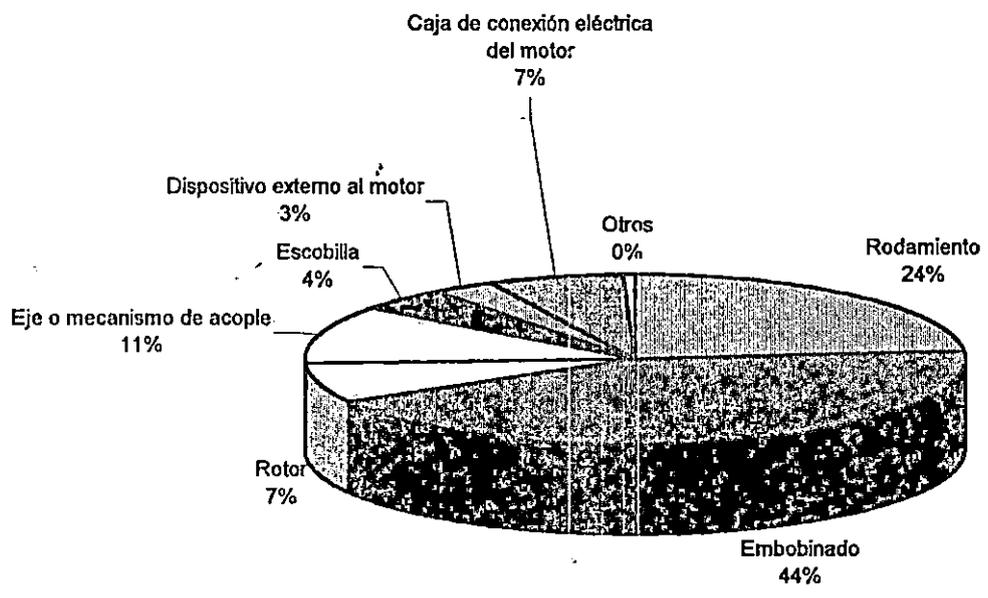
La conmutación es un proceso complicado, y la variación lineal del tiempo de la corriente en la bobina en cortocircuito no se realiza en la práctica, a menos que un voltaje se introduzca en la bobina en cortocircuito, ya sea moviendo las escobillas en la dirección necesaria o por el uso de polos conmutadores, para sobreponer la fuerza electromotriz a la inducción propia generada por la inversión de los flujos de dispersión en las bobinas de la armadura en cortocircuito. La inversión de la corriente retardada produce una densidad de corriente excesiva en la punta última de la escobilla y puede causar que la escobilla se sobrecaliente. Adicionalmente, si la inversión de la corriente no se completa cuando la barra conmutadora deja la escobilla, resultará chisporroteo en la punta de la escobilla. Un chisporroteo excesivo quema las escobillas y la superficie del conmutador.

Los resultados sugieren deducciones interesantes. Como generalmente las escobillas están expuestas al desgaste debido a la fricción constante con el conmutador y el fenómeno del chisporroteo, es imperante el ajuste periódico y el alineamiento.

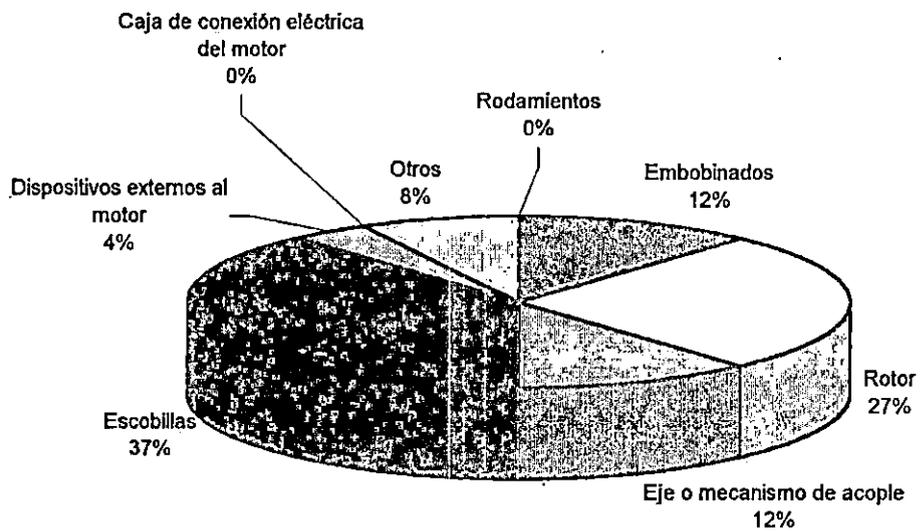
Los embobinados son afectados frecuentemente por la falta de mantenimiento. La acumulación de suciedad contribuye al recalentamiento de los conductores, y en consecuencia, al deterioro del aislamiento. Otro factor que abona al daño de las bobinas es el mantenimiento preventivo inapropiado, cuando se emplean sustancias abrasivas para "limpiar" los conductores. Asimismo, los residuos de humedad llevan a desenlaces fatales.

Los mecanismos de acople o ejes demandan procedimientos preventivos de alineamiento para minimizar los esfuerzos cortantes.

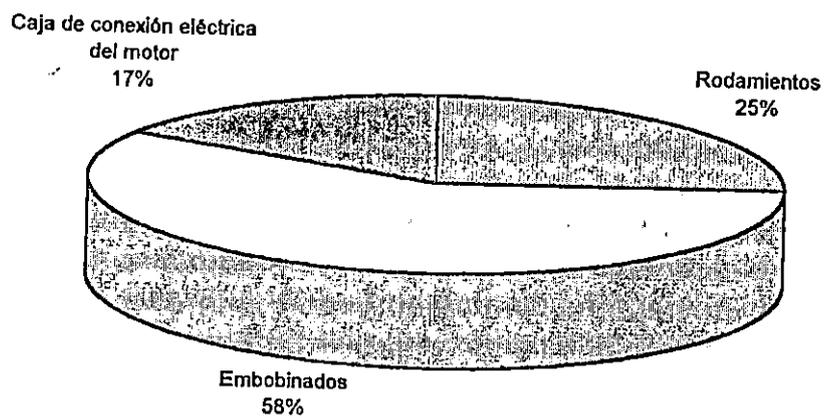
**GRÁFICO 3.12**  
**COMPONENTES FALLADOS**  
**MOTORES DE INDUCCIÓN DE HASTA 50 HP**



**GRÁFICO 3.13**  
**COMPONENTES FALLADOS**  
**MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA DE HASTA 50 HP**

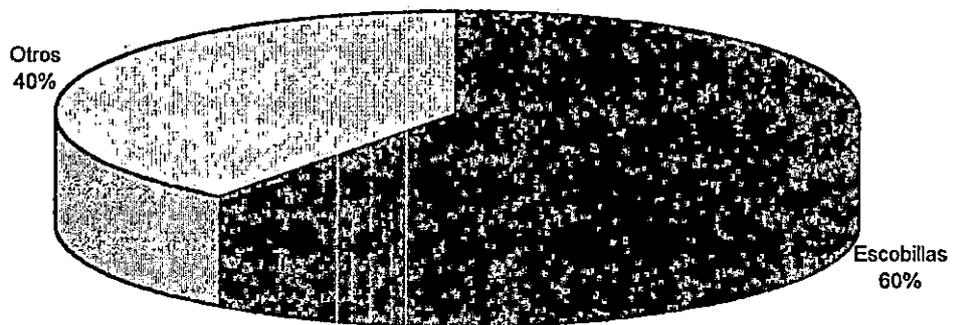


**GRÁFICO 3.14**  
**COMPONENTES FALLADOS**  
**MOTORES DE INDUCCIÓN MAYORES DE 50 HP**



**SIN PORCENTAJE**  
Eje o mecanismo de acople  
Dispositivos externos al motor  
Escobillas  
Rotor  
Otros

**GRÁFICO 3.15**  
**COMPONENTES FALLADOS**  
**MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA MAYORES DE 50 HP**



- SIN PORCENTAJE**
- Caja de conexión eléctrica del motor
  - Dispositivos externos al motor
  - Rotor
  - Embobinados
  - Rodamientos
  - Eje o mecanismo de acople

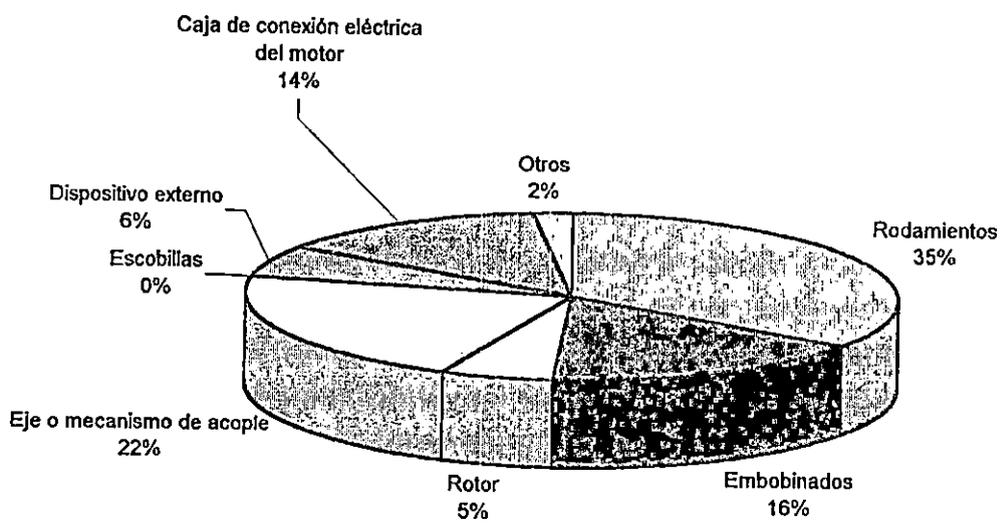
3.3.6. CIRCUNSTANCIAS EN QUE SE DESCUBRIERON LAS FALLAS EN COMPONENTES DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y DE CORRIENTE DIRECTA.

Tabla 3.15. Circunstancias en que se descubrieron las fallas en componentes de motores de inducción y de corriente directa.

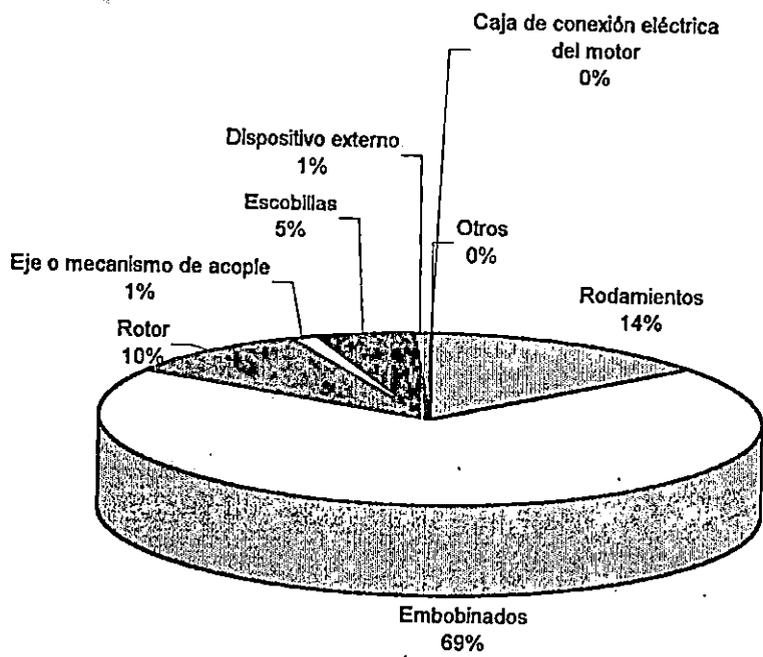
PIEZA QUE FALLO	MOTORES DE HASTA 50 HP					
	Situación en que se descubrió la falla					
	Mientras operaba		Estando en mantenimiento o en prueba		En otra ocasión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Rodamiento	76	35%	31	14%	0	0%
Embobinado	36	16%	151	69%	0	0%
Rotor	12	5%	21	10%	0	0%
Eje o mecanismo de acople	48	22%	3	1%	0	0%
Escobilla	0	0%	10	5%	0	0%
Dispositivo externo	13	6%	2	1%	0	0%
Caja de conexión eléctrica del motor	31	14%	0	0%	0	0%
Otros	4	2%	0	0%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>220</b>	<b>100%</b>	<b>218</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>
PIEZA QUE FALLO	MOTORES MAYORES DE 50 HP					
	Situación en que se descubrió la falla					
	Mientras operaba		Estando en mantenimiento o en prueba		En otra ocasión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Rodamiento	4	19%	0	0%	0	0%
Embobinado	7	33%	0	0%	0	0%
Rotor	0	0%	0	0%	0	0%
Eje o mecanismo de acople	0	0%	0	0%	0	0%
Escobilla	6	29%	0	0%	0	0%
Dispositivo externo	0	0%	0	0%	0	0%
Caja de conexión eléctrica del motor	0	0%	0	0%	0	0%
Otros	4	19%	0	0%	0	0%

Los datos presentados indican que para los motores de 50 HP o menos, las fallas de rodamientos y el eje o mecanismo de acople son las más numerosas, y se descubrieron durante la operación normal del motor con un 35% y 22% respectivamente. Por otro lado, las fallas de los embobinados fueron las más abundantes durante pruebas o mantenimiento, con un 70%. En los motores con potencias por encima de los 50 HP, fallaron más los embobinados, con un 33%, y las escobillas con un 29%. Dichos desperfectos se descubrieron durante la operación normal del motor. Es muy importante detectar las fallas mientras el motor se encuentra en mantenimiento y no durante la operación normal, debido a las pérdidas económicas que implica para la empresa el paro forzoso. Un buen programa de mantenimiento preventivo minimiza las fallas sorpresas.

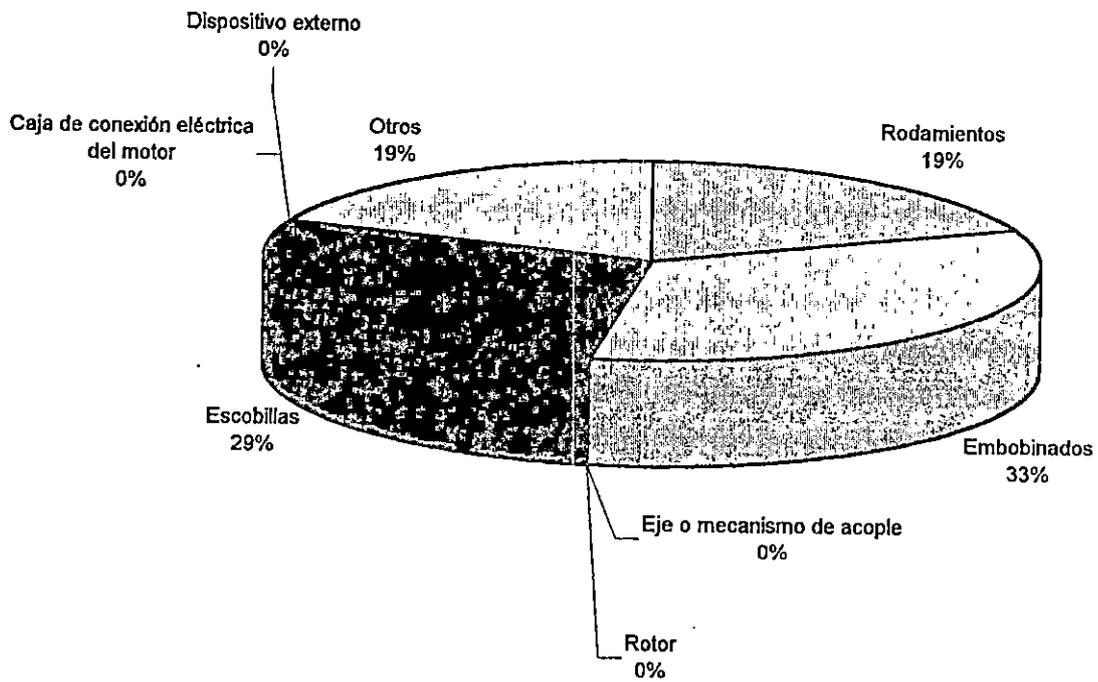
GRÁFICO 3.16  
FALLAS DESCUBIERTAS MIENTRAS EL EQUIPO OPERABA  
MOTORES DE HASTA 50 HP



**GRÁFICO 3.17**  
**FALLAS DESCUBIERTAS**  
**MIENTRAS EL EQUIPO ESTABA EN MANTENIMIENTO O PRUEBA**  
**MOTORES DE HASTA 50 HP**



**GRÁFICO NR. 3.18**  
**FALLAS DESCUBIERTAS MIENTRAS EL EQUIPO OPERABA**  
**MOTORES MAYORES DE 50 HP**



### 3.3.7 CAUSAS DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN Y DE CORRIENTE DIRECTA.

La categorización de causas de fallas permite en esta tabla lograr una mejor visión de los orígenes de los desperfectos en los motores, como en el estudio de los transformadores.

Tabla 3.16. Causas de fallas en motores de inducción y de corriente directa.

	MOTORES DE INDUCCIÓN		MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA	
	De 0 a 50 HP	Más de 50 HP	De 0 a 50 HP	Más de 50 HP
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
<b>CAUSAS DE FALLAS EN MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA</b>				
Aterización por transferencias de sobrecarga	27	100%	0	0%
Sobrecalentamiento	20	7%	3	100%
Pérdida de aislamiento	202	73%	0	0%
Pérdida de velocidad del motor	2	1%	1	33%
Otros	24	9%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>275</b>	<b>100%</b>	<b>3</b>	<b>67%</b>
<b>CAUSAS DE FALLAS EN MOTORES DE INDUCCIÓN</b>				
Sobrecarga persistente	46	19%	0	0%
Temperatura ambiente alta	1	0%	0	0%
Humedad ambiental	8	3%	0	0%
Válvulas atornilladas	112	37%	1	20%
Fiebre ambiental	0	0%	0	0%
Vibración excesiva	30	10%	1	20%
Clavijas conosivos	10	3%	0	0%
Lubricante deficiente o deteriorado	64	21%	0	0%
Ventilación insuficiente o deficiente	7	2%	0	0%
Deterioro prematuro por la edad	25	8%	4	80%
Otros	2	1%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>305</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>
<b>CAUSAS DE FALLAS EN MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA</b>				
Operante deficiente	6	11%	0	0%
Falla después de la instalación	0	0%	0	0%
Falla después de mantenimiento	3	6%	0	0%
Operación incorrecta	6	11%	0	0%
Falla durante el manejo de entornos	0	0%	0	0%
Prueba de aislamiento incorrecta	0	0%	0	0%
Prueba de aislamiento incorrecta	12	22%	0	0%
Falla durante la ejecución de una maniobra	4	7%	0	0%
Inoperabilidad de los equipos que manejan el motor	0	0%	0	0%
Otros	23	43%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>

Para los motores de inducción de hasta 50 HP, la principal causa de inicio de falla es la ruptura del aislamiento con un 73%; diferente es el comportamiento para estos motores con potencias arriba de 50 HP, pues la causa de inicio de falla es el sobrecalentamiento en un 100%.

Para los motores de corriente directa, la causa mayor de inicio de falla no está clarificada; el más alto parámetro que arroja el estudio corresponde a la categoría "otros", con un 67% y con un 33% vuelve a manifestarse la ruptura de aislamiento.

La incidencia notoria de las fallas en el aislamiento confirma que este es un elemento determinante para la vida del motor, y que por tanto, debe ser objeto de especial atención y mantenimiento.

La tabla de "Causa que contribuyó a la falla" evidencia que para los motores de inducción de 50 HP o menos, los desencadenantes principales son voltaje anormal con 37% y lubricante deficiente o deteriorado con 21%.

Para motores con capacidad por encima de los 50 HP, sólo dos aspectos contribuyeron a la falla: deterioro normal por la edad con un 80% y vibración excesiva con un 20%.

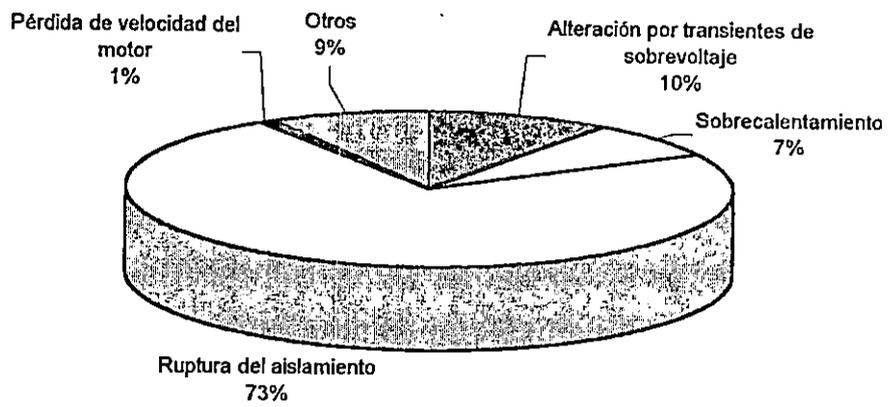
En los motores de corriente directa se reportaron datos únicamente para aquellos de 50 HP o menos; los rubros que mayor incidencia tuvieron fueron lubricante deficiente o deteriorado y otros, con un 40% cada uno, y el factor de humedad anormal (20%).

La "causa de falla implícita" se conceptualiza como un factor subyacente y lateral que incide en el desencadenamiento del desperfecto. Se advierte que la más incidente en los motores de inducción de hasta 50 HP, fue el rubro de "otros" con un 43. Le siguen la protección eléctrica inadecuada con un 22% y la operación incorrecta con un 11%.

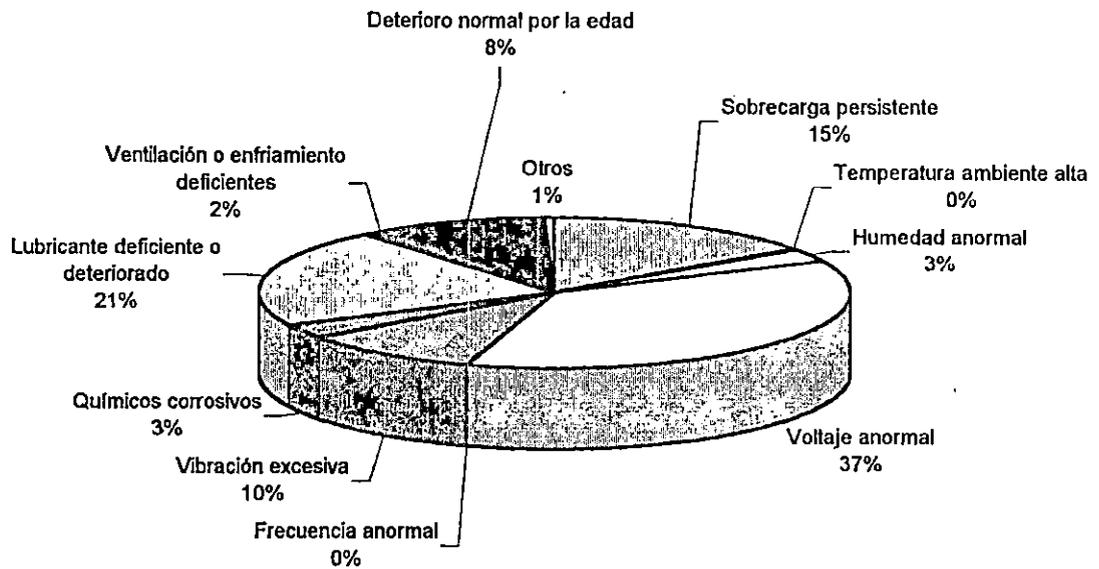
El caso de los motores de DC por debajo de 50 HP arrojó un 50% en el rubro de "otros" y un 50% en "componente defectuoso". Los resultados en este tipo de motores, pero por encima de los 50 HP fue el siguiente: 60% para componente defectuoso y 40% en el rubro de "otros". Desafortunadamente no se obtuvieron datos para motores con potencias arriba de los 50 HP, lo que hubiera permitido evaluar la tendencia de fallas en los grandes sistemas en que son frecuentes estos elementos.

El registro metódico de datos exige de los técnicos profundizar en las causas de las fallas y no limitarse a la sustitución de los elementos dañados. De hecho, la prioridad es restablecer el proceso productivo en el menor tiempo posible, sin embargo no debe dejarse de lado el diagnóstico cuidadoso de la eventualidad, de manera que pueda recuperarse información valiosa para el análisis de confiabilidad. Adoptar esta cultura de la evaluación es un reto para el comercio y la industria de nuestro país, que, no obstante, redundaría en sensibles beneficios económicos a mediano plazo.

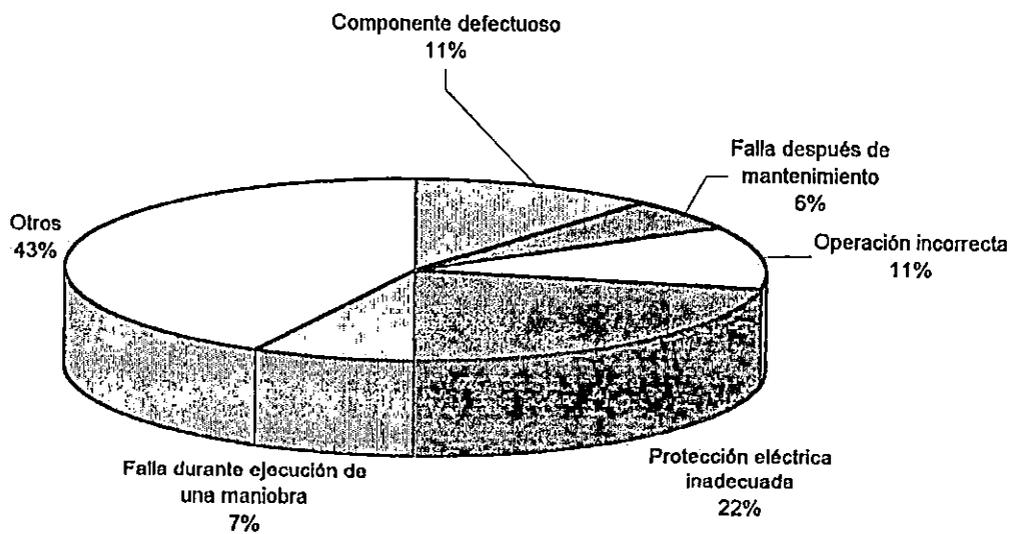
**GRÁFICO 3.19**  
**CAUSAS INICIADORAS DE FALLAS**  
**EN MOTORES DE INDUCCIÓN DE HASTA 50 HP**



**GRÁFICO 3.20**  
**CAUSAS CONTRIBUYENTES A LAS FALLAS**  
**EN MOTORES DE INDUCCIÓN DE HASTA 50 HP**



**GRÁFICO 3.21**  
**CAUSAS DE FALLA IMPLÍCITAS**  
**EN MOTORES DE INDUCCIÓN DE HASTA 50 HP**



**SIN PORCENTAJE**  
Falla después de instalación  
Protección física inadecuada  
Falla durante manejo de embarque  
Incompatibilidad con el equipo que maneja el motor

### 3.4 GENERADORES DE EMERGENCIA.

El generador de emergencia es un componente muy importante en una instalación industrial o comercial, dando respaldo de suministro cuando falla la red comercial. Idealmente deben tener asociado un interruptor de transferencia automático que ejecute la tarea de conmutación sin intervención del personal.

Los sistemas convencionales de la industria de potencia son alimentados por generadores sincrónicos trifásicos que caen en dos clasificaciones generales: máquinas de rotor cilíndrico y máquinas de polos salientes.

La construcción de rotor cilíndrico es propia de generadores sincrónicos impulsados por turbinas de vapor y que también son conocidos como turboalternadores o generadores de turbina. Las turbinas de vapor operan a velocidades relativamente altas, siendo comunes las velocidades de 1800 y 3600 revoluciones por minuto para 60 Hz, consideradas para la construcción de rotor cilíndrico, que debido a su rigidez fácilmente resisten las fuerzas centrífugas desarrolladas en los grandes tamaños, a esas velocidades. Además, lo suave del contorno del rotor sirve para pérdidas reducidas del embobinado.

Los rotores de polos salientes se utilizan en generadores sincrónicos de bajas velocidades, tales como los impulsados por ruedas de agua. También son usados en motores sincrónicos. Debido a sus bajas velocidades, los generadores de polos salientes exigen un alto número de polos, como por ejemplo, 72 polos para un generador de 100 rpm y 60 Hz.

Los generadores de emergencia se investigados son del tipo recíprocante; están adaptados a una fuente de rotación constituida por un motor de combustión interna, ya sea de diesel o gasolina. Esta clase de equipo de respaldo es el típico de la industria y el comercio metropolitano. Se descartaron los sistemas impulsados por turbina de gas e hidráulicos.

El período del que se recolectaron datos es 1988-1998. Se incluyeron también aquellos generadores que están disponibles de reserva ("standby").

La mayoría de unidades se reportaron en el rango inferior a 75 KVA.

Tabla 3.17a Datos generales de motores generadores de emergencia

	GENERADORES DE HASTA 75 KVA		
	Nr. de unidades reportadas	Total de fallas registradas	Total de horas de suspensión por fallas en el sistema de generación
Generadores de emergencia y de reserva	52	27	590

Tabla 3.17b Datos generales de motores generadores de emergencia.

	<i>GENERADORES MAYORES DE 75 KVA</i>		
	<i>Nr. de unidades reportadas</i>	<i>Total de fallas registradas</i>	<i>Total de horas de suspensión por fallas del generador</i>
<i>Generadores de emergencia y de reserva</i>	33	38	232

### 3.4.1. ESTADÍSTICA DE FALLAS EN GENERADORES.

Los datos calculados tienen como base los presentados en la Tabla 3.17.

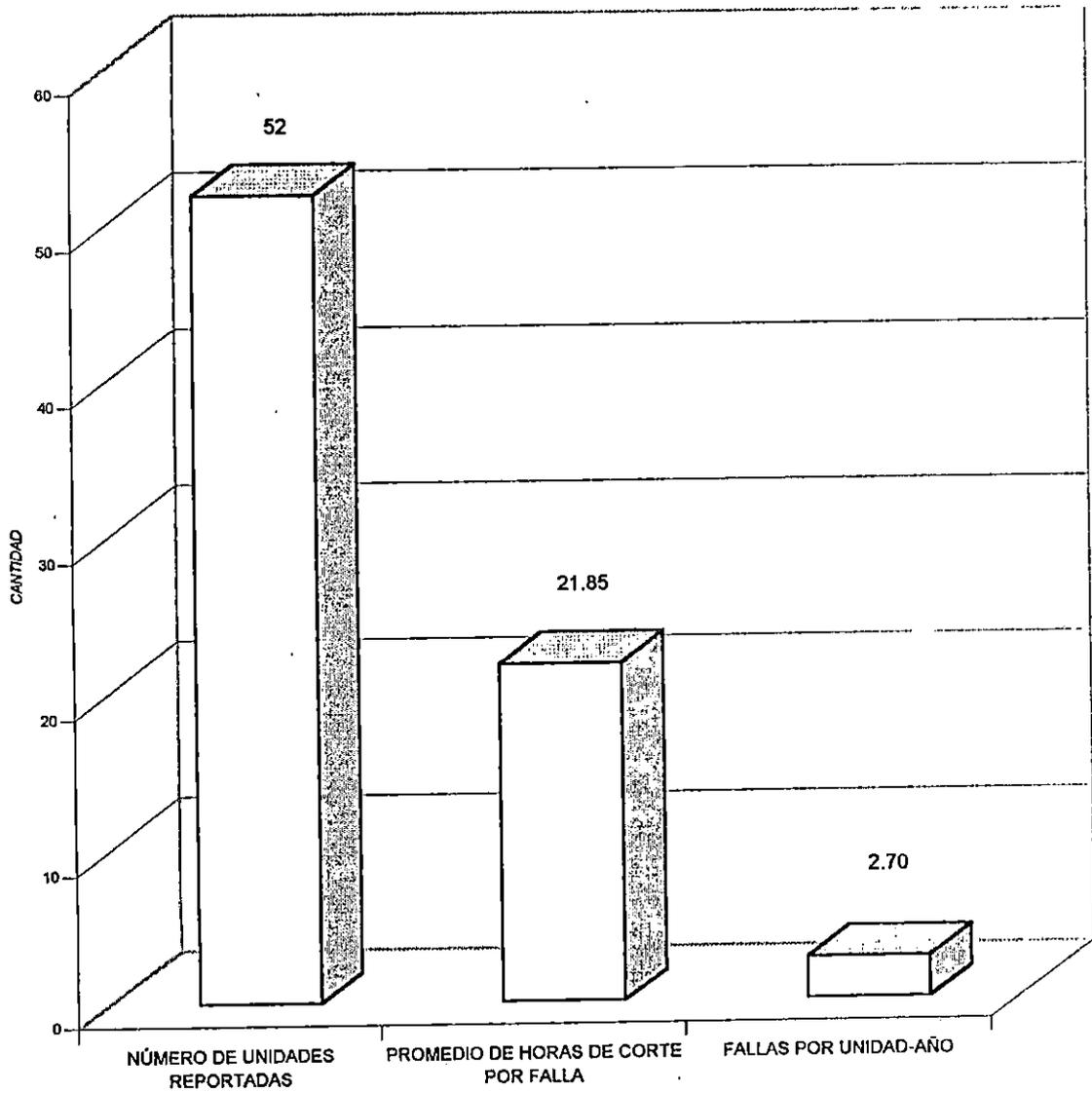
Tabla 3.18. Estadística de fallas en generadores de emergencia.

<i>TIPO</i>	<i>PROMEDIO DE HORAS DE CORTE POR FALLA</i>	<i>FALLAS POR UNIDAD-AÑO</i>
<i>GENERADORES DE HASTA 75 KVA</i>	21,85	2,70
<i>GENERADORES MAYORES DE 75 KVA</i>	6,11	3,40

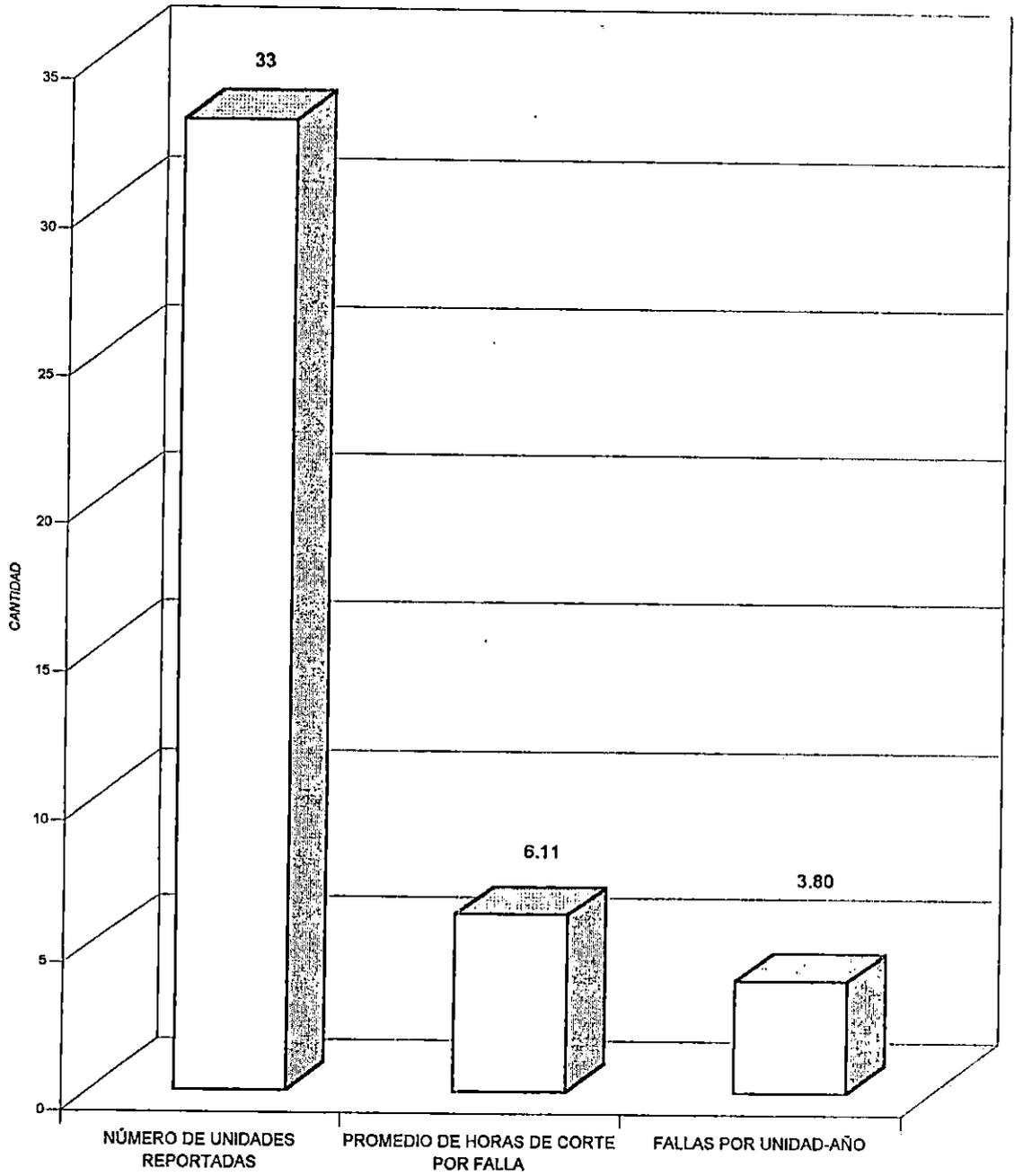
El promedio de horas de corte por falla en los generadores menores de 75 KVA es muy elevado (21.85). Siendo este tipo de generador el más abundante en la industria y el comercio, el dato presupone un efecto pronunciado de las fallas en los procesos de las empresas, que merece atención especial por los cuadros de mantenimiento preventivo.

Los resultados de esta tabla reflejan que los generadores de potencia superior a 75 KVA son menos frecuentes en las instalaciones y más propensos a fallar. Con todo, el promedio de horas de corte por falla es bajo, lo que sugiere una rápida eliminación del desperfecto.

**GRÁFICO 3.22 ESTADÍSTICA DE GENERADORES DE EMERGENCIA  
CON POTENCIA DE HASTA 75 KVA**



**GRÁFICO 3.23 ESTADÍSTICA DE GENERADORES DE EMERGENCIA  
CON POTENCIA MAYOR DE 75 KVA**



### 3.5 "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Los "circuit breakers" están presentes en todas instalación eléctrica, y como elementos de protección quedan expuestos al impacto de las condiciones drásticas que se presentan en los sistemas de suministro en condiciones de fallas. Se incluyen en el estudio porque su confiabilidad es determinante para asegurar la continuidad de los procesos productivos.

Las cuchillas de desconexión no son consideradas en los reportes del "Libro Dorado" pero fueron agregadas al estudio como un adaptación importante para nuestro medio. Estos componentes de conmutación están asociados generalmente a un banco de fusibles de entrada u otros elementos de protección.

El período abarcado en la investigación es de 1992 a 1998.

#### 3.5.1 CIRCUNSTANCIAS EN QUE OCURRIERON LAS FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Tabla 3.19. Circunstancias en que ocurrieron las fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.

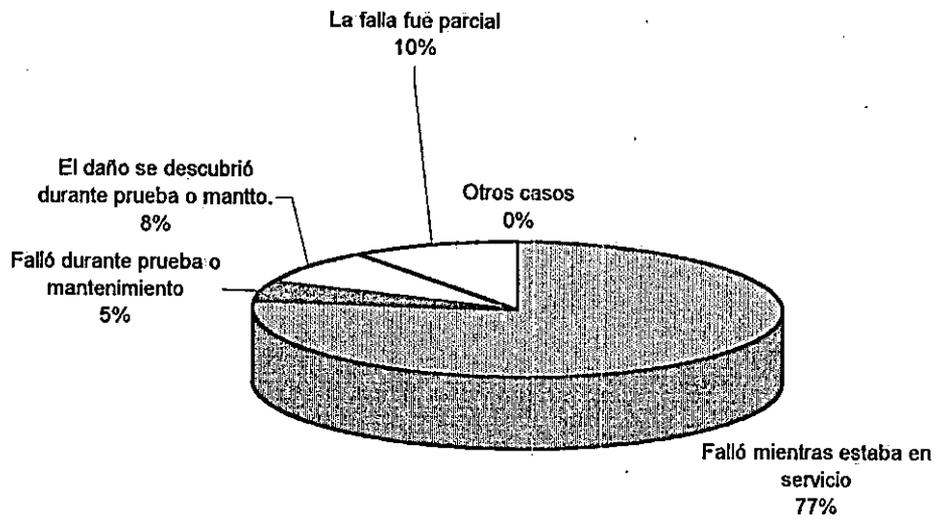
CONDICIÓN EN QUE OCURRIÓ LA FALLA	Circuit breakers		Cuchillas de desconexión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Falló mientras estaba en servicio	385	77%	853	94,57%
Falló durante prueba o mantenimiento	25	5%	49	5,43%
El daño se descubrió durante prueba o manitio.	42	8%	0	0,00%
La falla fue parcial	51	10%	0	0,00%
Otros casos	0	0%	0	0,00%
<b>TOTALES</b>	<b>503</b>	<b>100%</b>	<b>902</b>	<b>100,00%</b>

Es evidente en esta tabla que las fallas que presentaron los "circuit breakers" y las cuchillas de desconexión se dieron, en su gran mayoría, en el momento que se encontraban en servicio. Los "circuit breakers" presentaron un 76% de fallas, y las cuchillas de desconexión, un 94%.

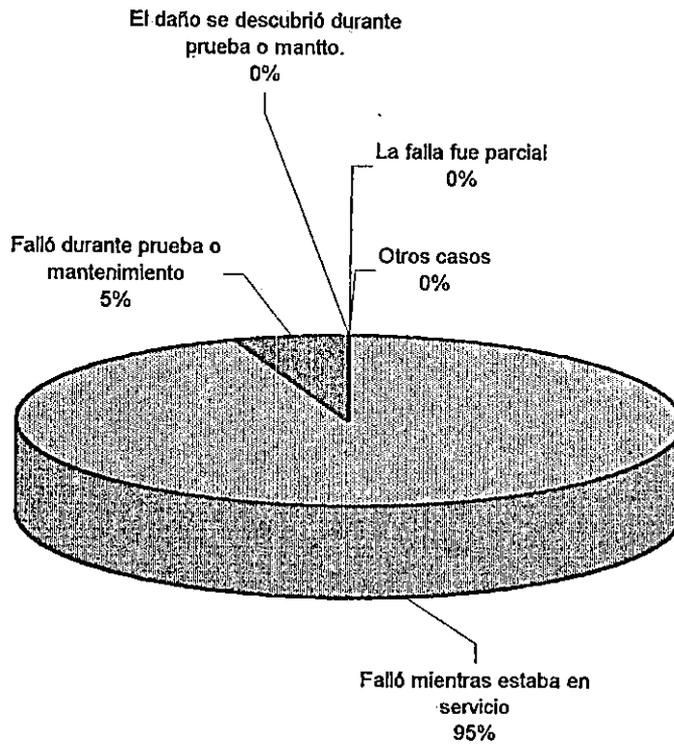
Hay que notar aquí el bajo porcentaje de fallas detectadas durante pruebas o mantenimiento (8% para "circuit breakers" y 0% para cuchillas de desconexión). Este indicador refleja poca efectividad para descubrir daños a tiempo, de lo que podría inferirse que el mantenimiento preventivo es escaso o de pobre calidad.

Nuevamente la tendencia demuestra que la generalidad de las fallas ocurren durante el servicio y no en período de mantenimiento. Este resultado es nocivo para las empresas debido al corte de la producción y las consecuentes pérdidas económicas. El elemento sorpresa puede minimizarse fortaleciendo los programas de mantenimiento preventivo

**GRÁFICO 3.24**  
**CONDICIONES EN QUE OCURRIERON LAS FALLAS**  
**EN CIRCUIT BREAKERS**



**GRÁFICO 3.25**  
**CONDICIONES EN QUE OCURRIERON LAS FALLAS**  
**EN CUCHILLAS DE DESCONEXION**



### 3.5.2 ELEMENTOS DAÑADOS Y TIPOS DE FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Tabla 3.20. Elementos dañados y tipos de fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.

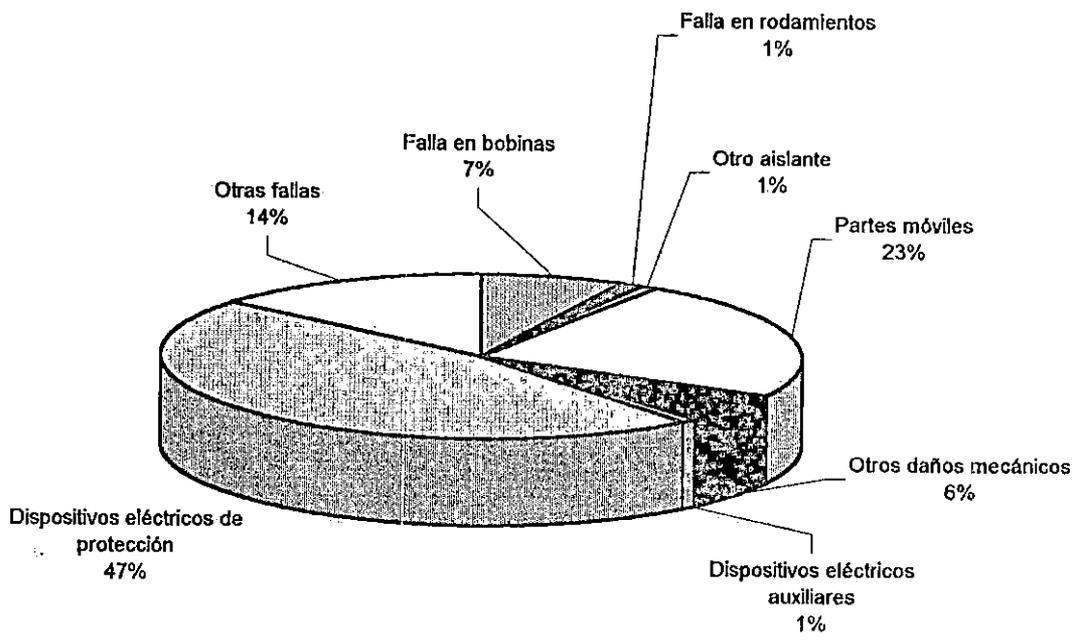
ELEMENTO DAÑADO	Circuit breakers		Cuchillas de desconexión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Bobinas	30	7%	0	0%
Rodamientos	5	1%	0	0%
Otro aislante	4	1%	0	0%
Partes móviles	98	23%	4	18%
Otros daños mecánicos	24	6%	2	9%
Dispositivos eléctricos auxiliares	4	1%	0	0%
Dispositivos eléctricos de protección	195	46%	16	73%
Otras fallas	60	14%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>420</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>
<b>TIPO DE FALLA</b>				
Arco a tierra	97	24%	0	0%
Otros tipos de arco	26	6%	0	0%
Otros defectos eléctricos	202	49%	16	73%
Defecto mecánico	79	19%	6	27%
Otras fallas	5	1%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>409</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>

Los componentes de los "circuit breakers" dañados con mayor frecuencia son sus partes móviles (24%), y los dispositivos eléctricos de protección (47%).

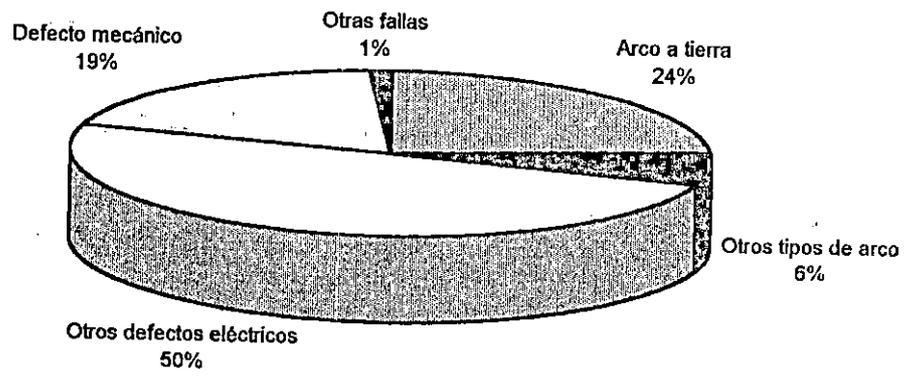
Con las cuchillas de desconexión se invierten las proporciones, los elementos que más se deterioran son los dispositivos eléctricos de protección (72%) y las partes móviles (18%). Los fusibles que acompañan a las cuchillas experimentan calentamiento en una instalación sobrecargada, desencadenando desperfectos. Asimismo, los mecanismos de choque de las cuchillas se desajustan con el uso, propiciando arcos y recalentamiento.

De esta misma tabla se desprende que las fallas más frecuente en los "circuit breakers" ocurren por defectos eléctricos, con un 49%, y de arco a tierra, con un 24%. En el caso de las cuchillas de desconexión, las fallas son mayoritariamente de tipo eléctrico, en un 72%.

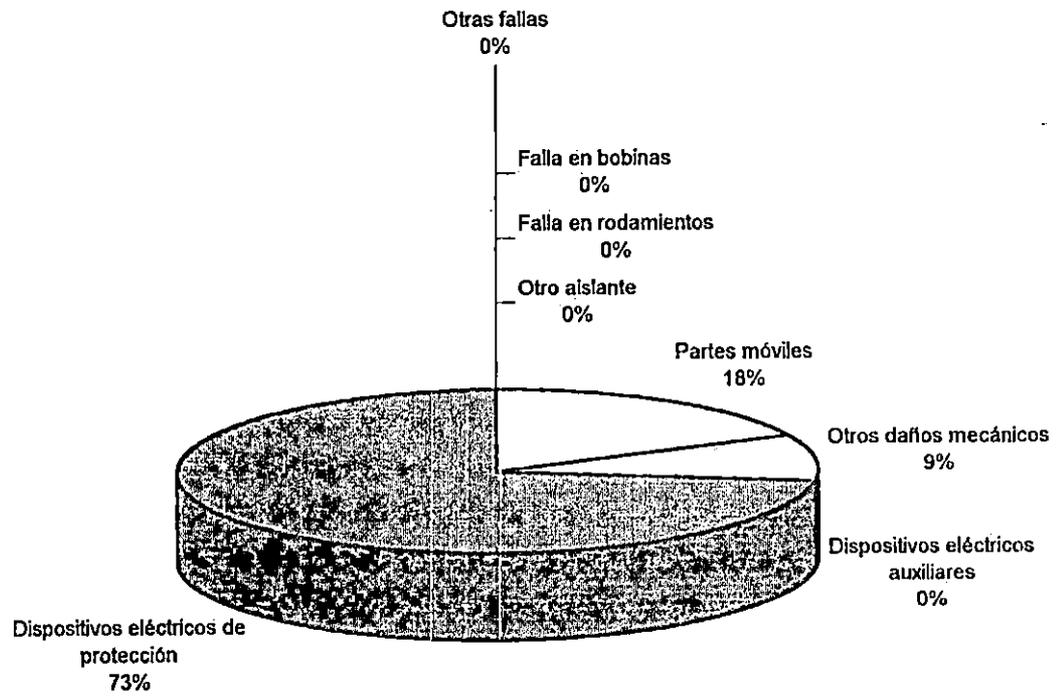
**GRÁFICO 3.26.**  
**COMPONENTES FALLADOS EN "CIRCUIT BREAKERS"**



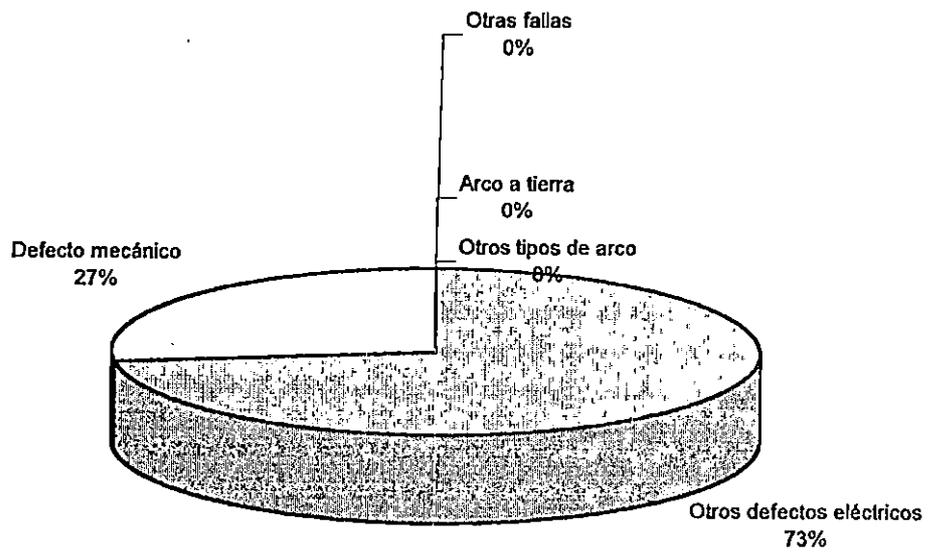
**GRÁFICO 3.27**  
**TIPOS DE FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS"**



**GRÁFICO 3.28**  
**COMPONENTES DAÑADOS EN CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



**GRÁFICO 3.29**  
**TIPOS DE FALLA EN CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



### 3.5.3 MÉTODOS DE REPARACIÓN DE "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Tabla 3.21. Métodos de reparación de fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.

MÉTODO DE REPARACIÓN	Circuit breakers		Cuchillas de desconexión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Pieza reparada en el lugar o enviada a taller	28	7%	50	50%
Reparación sustituyendo la pieza por repuesto de bodega	364	89%	50	50%
Otro tipo de reparación	18	4%	1	1%
TOTALES	410	100%	101	100%

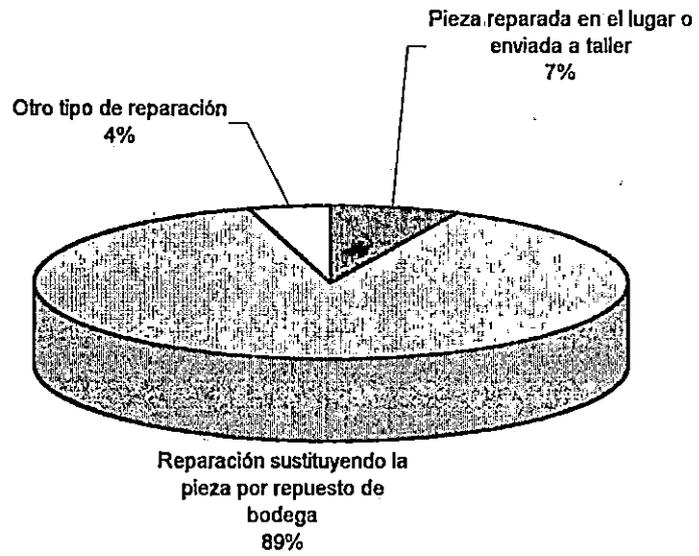
Los resultados revelan que cuando los "circuit breakers" se dañan, en un 89% de los casos son sustituidos por repuestos existentes en bodega.

Diferente es el caso en desperfectos de las cuchillas de desconexión: un 50% es sustituido por repuesto de bodega, y otro 50% es reparado en el lugar de la falla o enviado a reparación en taller.

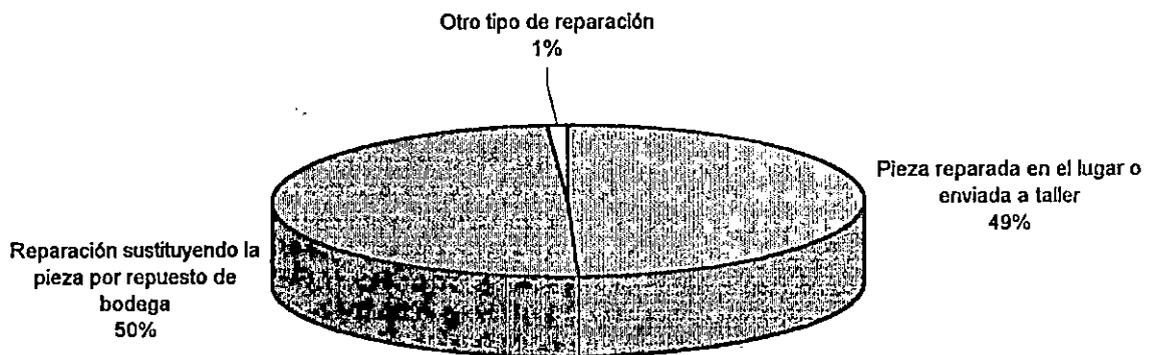
Es evidente que para el departamento de mantenimiento se hace necesario poseer un lote adecuado de repuestos, tanto de "circuit breakers" como de cuchillas de desconexión.

.....

**GRÁFICO 3.30**  
**MÉTODOS DE REPARACIÓN DE "CIRCUIT BREAKERS"**



**GRÁFICO 3.31**  
**MÉTODOS DE REPARACIÓN DE CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



### 3.5.4 URGENCIA EN LA REPARACIÓN DE "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Tabla 3.22. Urgencia con que se atendieron las fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.

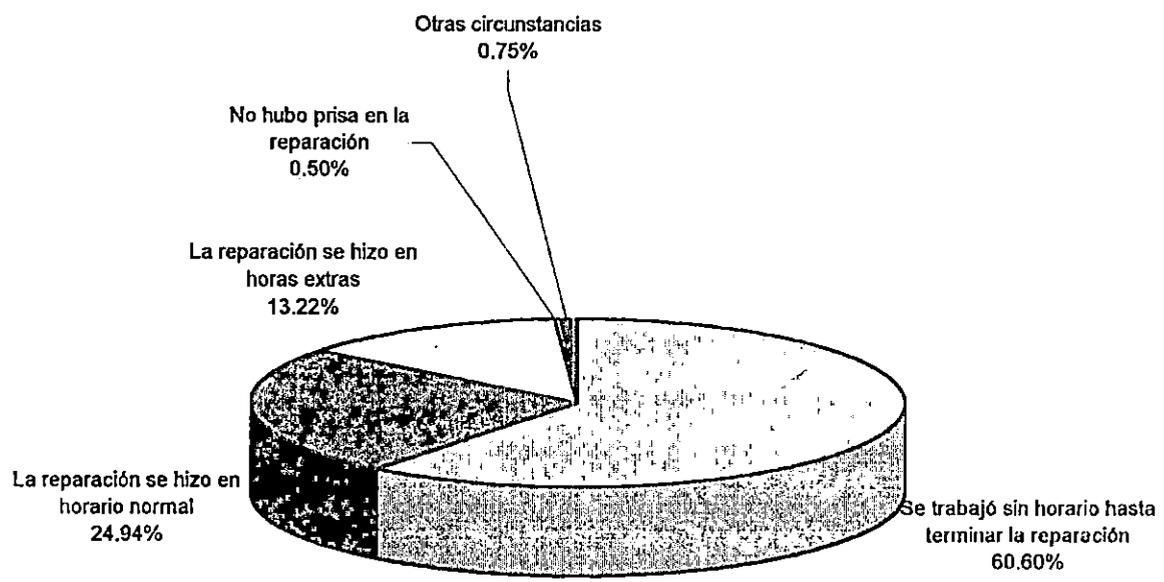
URGENCIA CON QUE SE HIZO LA REPARACIÓN	Circuit breakers		Cuchillas de desconexión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Se trabajó sin horario hasta terminar la reparación	243	61%	2	10%
La reparación se hizo en horario normal	100	25%	18	86%
La reparación se hizo en horas extras	53	13%	0	0%
No hubo prisa en la reparación	2	0%	0	0%
Otras circunstancias	3	1%	1	5%
TOTALES	401	100%	21	100%

Este reporte pone en evidencia la alta urgencia con que son tratadas las fallas en "circuit breakers", el 61%, contra un 0.5% de atendidas sin prisa. Este fenómeno puede interpretarse a raíz de que la pérdida de un circuit breaker implica la suspensión del suministro eléctrico para un sistema.

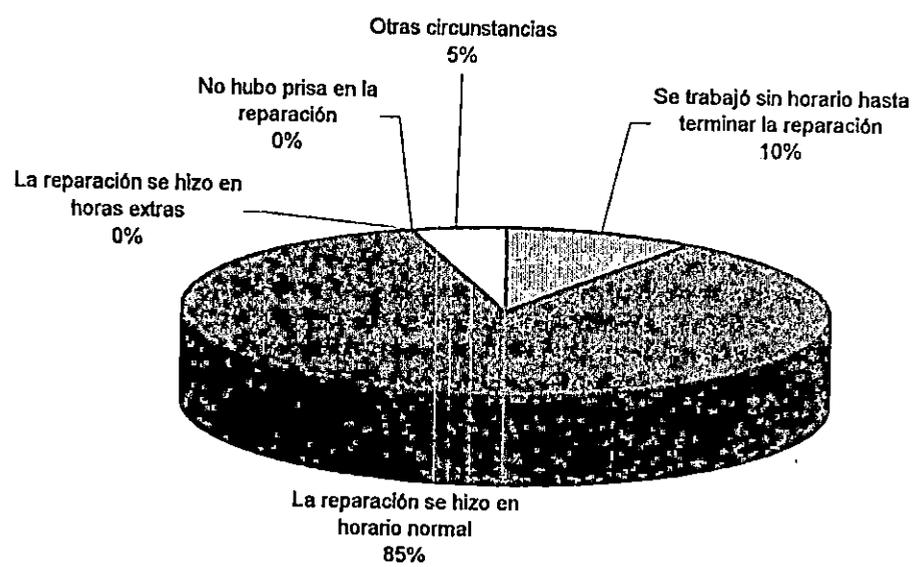
La atención a cuchillas de desconexión revela una relación inversa, pues el 86% de las fallas fueron reparadas en horario normal.

.....

**GRÁFICO 3.32**  
**NIVELES DE URGENCIA EN LA REPARACIÓN DE "CIRCUIT BREAKERS"**



**GRÁFICO 3.33.**  
**NIVELES DE URGENCIA EN LA REPARACIÓN**  
**DE CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



### 3.5.5 CAUSAS DE FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS" Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN.

Tabla 3.23. Causas de fallas en "circuit breakers" y cuchillas de desconexión.

CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA	Circuit breakers		Cuchillas de desconexión	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Daño mientras se transportaba al lugar de uso	0	0%	0	0%
Fabricación defectuosa del elemento o mal ensamblaje	0	0%	1	17%
Falla al hacer la primera prueba	0	0%	0	0%
Falla después de trabajos de mantenimiento	5	12%	0	0%
Falla durante la ejecución de maniobra	27	64%	4	67%
Otros	10	24%	1	17%
<b>TOTALES</b>	<b>42</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>
<b>CAUSA QUE INICIÓ LA FALLA</b>				
Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla por arco a tierra)	1	3%	1	5%
Sobrecalentamiento	4	11%	16	73%
Ruptura del aislamiento	2	5%	0	0%
Quebraduras o rupturas mecánicas	22	59%	5	23%
Piezas sueltas, corrosión o piezas deformadas	0	0%	0	0%
Piezas móviles quemadas o fundidas	6	16%	0	0%
Daño causado por excavaciones o accidentes vehiculares	0	0%	0	0%
Cortocircuitos provocados por piezas de metal	0	0%	0	0%
Cortocircuitos causados por animales	0	0%	0	0%
Falla en la energía del circuito de control del elemento	0	0%	0	0%
Mal funcionamiento de relés de control	0	0%	0	0%
Bajo voltaje	1	3%	0	0%
Baja frecuencia	0	0%	0	0%
Otros	1	3%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>37</b>		<b>22</b>	
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>				
Sobrecarga persistente	7	17%	14	67%
Temperaturas arriba de lo normal	3	7%	0	0%
Contacto con químicos corrosivos o solventes	3	7%	0	0%
Contacto con agua o humedad	2	5%	1	5%
Exposición al fuego	0	0%	0	0%
Obstrucción de ventilación por objetos extraños	0	0%	0	0%
Deterioro normal por la edad	12	29%	2	10%
Viento, lluvia u otras condiciones ambientales	0	0%	0	0%
Mal ajuste del relé de protección	0	0%	0	0%
Pérdida o deficiencia de lubricante	2	5%	0	0%
Falla durante una prueba	0	0%	0	0%
Exposición al polvo u otro contaminante	12	29%	4	19%
Sobredimensionamiento del dispositivo	0	0%	0	0%
Subdimensionamiento del dispositivo	0	0%	0	0%
Otros	1	2%	0	0%
<b>TOTALES</b>	<b>42</b>	<b>100%</b>	<b>21</b>	<b>100%</b>

De la Tabla 3.23 se deduce que la mayoría de “circuit breakers” y cuchillas de desconexión fallan durante la ejecución de su maniobra. Los “circuit breakers” presentan un 64% de incidencia en la falla, y las cuchillas de desconexión, un 67%.

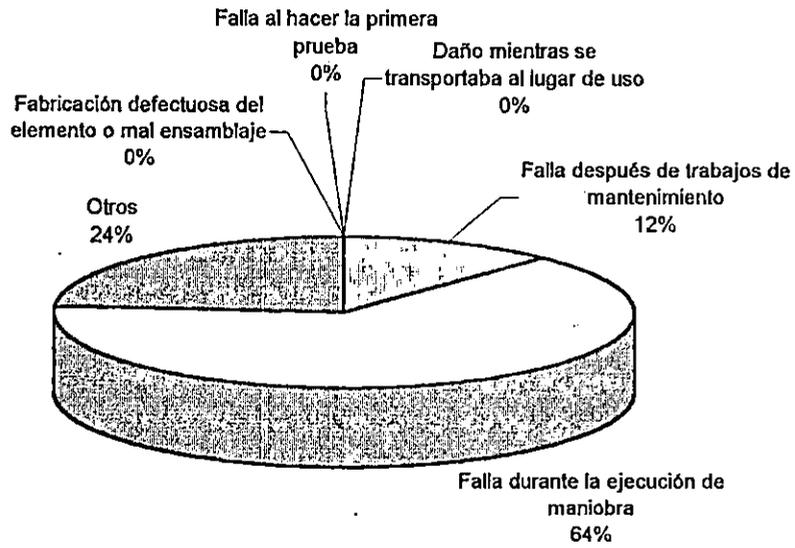
Sobre las causas de inicio de fallas para “circuit breakers” y cuchillas de desconexión, las encuestas presentaron un porcentaje mayor en el rubro “quebraduras o rupturas mecánicas” con un 59% para “circuit breakers” y sobrecalentamiento con 73%, en el caso de cuchillas de desconexión.

En la tabla también se enumeran las posibles causas que contribuyeron a la ocurrencia de fallas. Para los “circuit breakers” la mayor incidencia se dio en los aspectos “exposición al polvo u otro componente” y “deterioro normal por la edad”, con 29% cada uno.

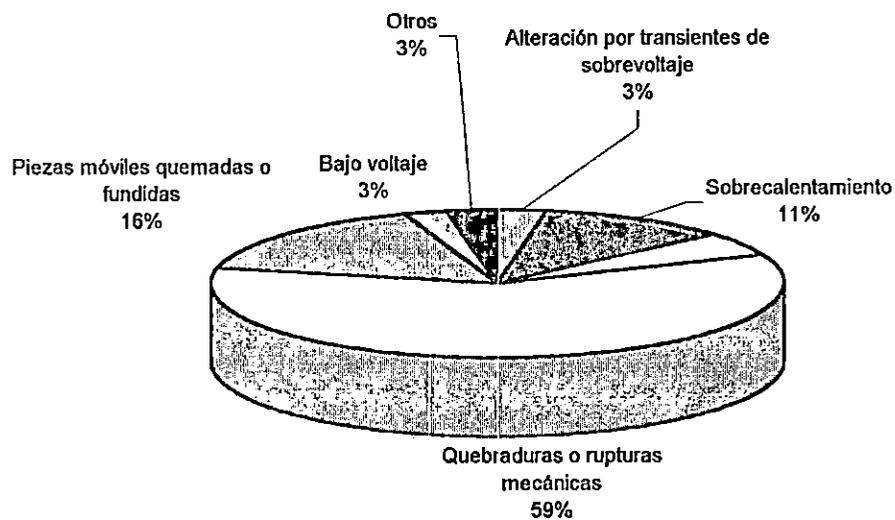
Para las cuchillas de desconexión la causa principal que contribuyente fue “sobrecarga persistente” con un 67%.

La incidencia de fallas por sobrecalentamiento y rupturas mecánicas son notorias en estas dos categorías de equipos, lo que demanda mayor atención al censo de carga y ajuste de estructuras mecánicas.

**GRÁFICO 3.34**  
**CAUSAS RESPONSABLES DE FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS"**

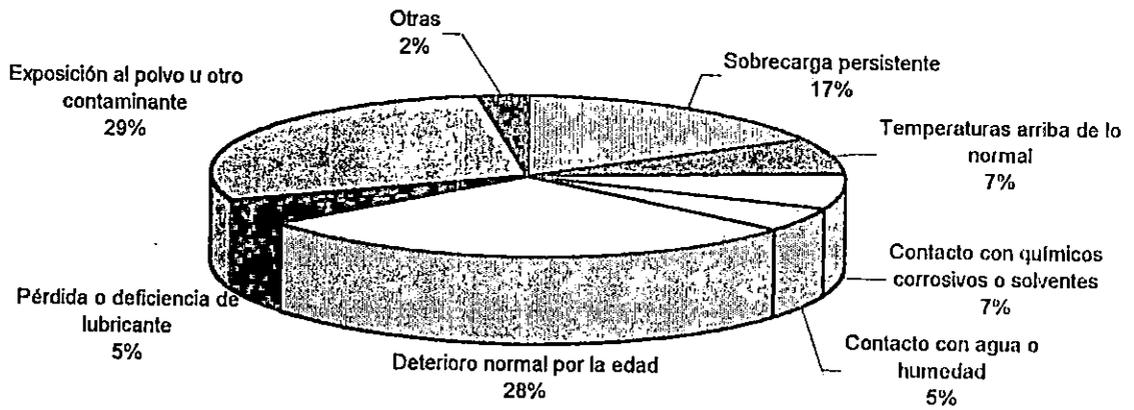


**GRÁFICO 3.35**  
**CAUSAS INICIADORAS DE FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS"**



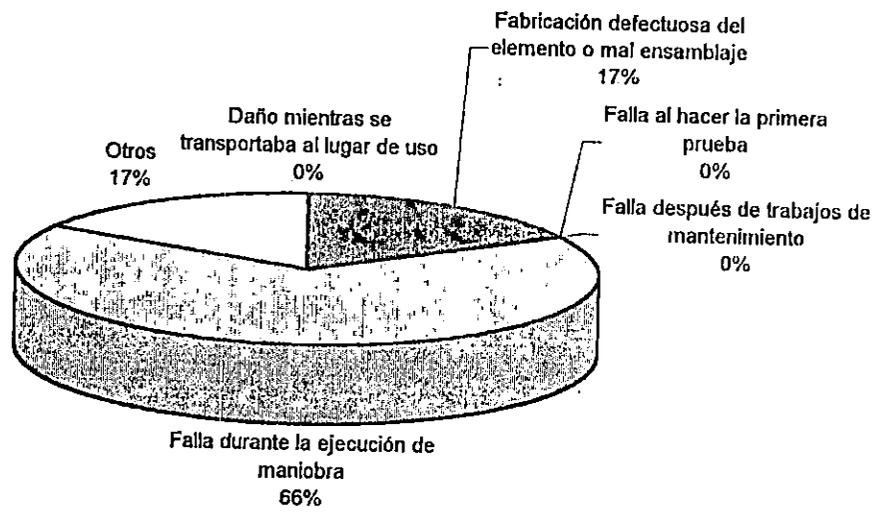
- SIN PORCENTAJE**
- Piezas sueltas, corrosión o piezas deformadas
  - Daño causado por excavaciones o accidentes vehiculares
  - Ruptura del aislamiento
  - Cortocircuitos provocados por piezas de metal
  - Cortocircuitos causados por animales
  - Falla en la energía del circuito de control del elemento
  - Mal funcionamiento de relés de control
  - Raia frecuencia

GRÁFICO 3.36  
CAUSAS CONTRIBUYENTES A LAS FALLAS EN "CIRCUIT BREAKERS"

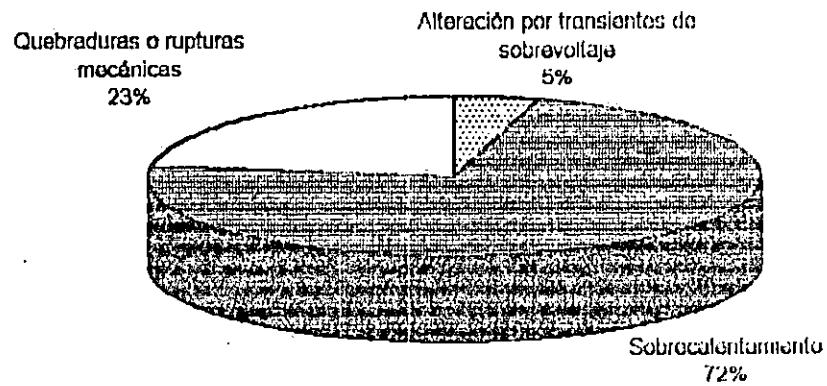


- SIN PORCENTAJE**
- Falla durante una prueba
  - Viento, lluvia u otras condiciones ambientales
  - Mal ajuste del relé de protección
  - Sobredimensionamiento del dispositivo
  - Subdimensionamiento del dispositivo
  - Exposición al fuego
  - Obstrucción de ventilación por objetos extraños
  - Contacto con agua o humedad
  - Contacto con químicos corrosivos o solventes

**GRÁFICO 3.37**  
**CAUSAS RESPONSABLES DE FALLAS EN CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



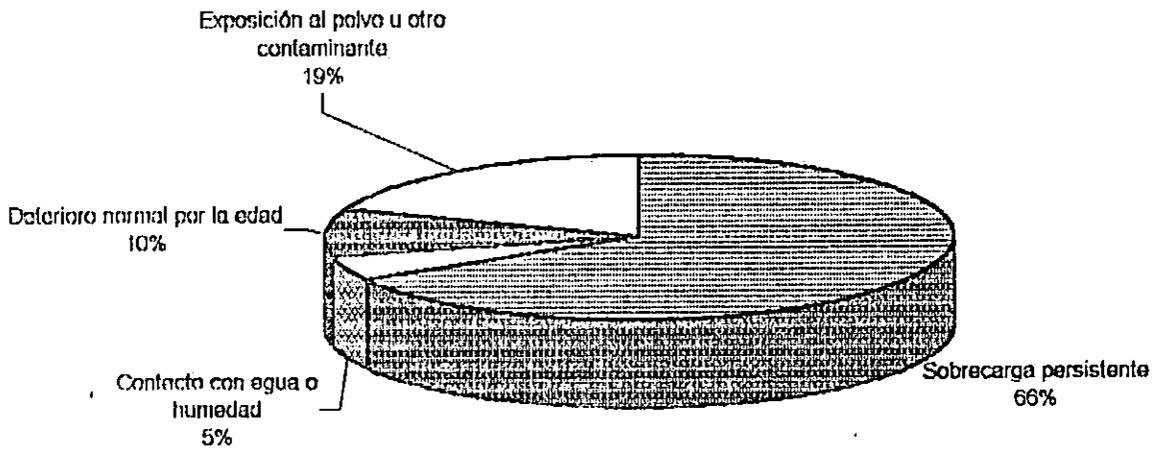
**GRÁFICO 3.3B**  
**CAUSAS INICIADORAS DE FALLAS EN CUCHILLAS DE DESCONEJIÓN**



**SIN PORCENTAJE**

- Ruptura del aislamiento
- Falla en la energía del circuito de control del elemento
- Baja frecuencia
- Bajo voltaje
- Mal funcionamiento de relés de control
- Cortocircuitos causados por animales
- Cortocircuitos provocados por piezas de metal
- Daño causado por excavaciones o accidentes vehiculares
- Piezas móviles quemadas o fundidas
- Piezas sueltas, corrosión o piezas deformadas

**GRÁFICO 3.39**  
**CAUSAS CONTRIBUYENTES A LAS FALLAS EN CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**



- SIN PORCENTAJE**
- Contacto con químicos corrosivos o solventes
  - Temperaturas arriba de lo normal
  - Subdimensionamiento del dispositivo
  - Sobredimensionamiento del dispositivo
  - Viento, lluvia u otras condiciones ambientales
  - Mal ajuste del relé de protección
  - Pérdida o deficiencia de lubricante
  - Falla durante una prueba
  - Exposición al fuego
  - Otras

### 3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- De acuerdo a los resultados obtenidos con la presente investigación, la mayoría de las empresas industriales y comerciales del área metropolitana de San Salvador, con demanda igual o superior a los 50 KW, no poseen un registro preciso de fallas en equipo eléctrico que oriente la planeación del mantenimiento preventivo y que les permita tomar decisiones técnicas y económicas a partir de un análisis de confiabilidad.
- Paralelamente, tampoco cuentan con un cómputo fiel del tiempo de corte en los procesos productivos debido a fallas en el equipo eléctrico, de manera que no es factible estimar las pérdidas económicas con exactitud.
- Existe apatía en muchas empresas para colaborar facilitando datos útiles para el estudio de confiabilidad. No se percibe una visión del beneficio que les aportaría. Cualquier investigación subsecuente a la presente deberá considerar esta dificultad y diseñar las estrategias oportunas para la recolección de información.
- La Universidad Nacional, y la Escuela de Ingeniería Eléctrica en lo particular, deben ejecutar políticas de colaboración con los gremios industriales y comerciales, a fin de que haya una interacción efectiva que, por un lado, enriquezca el quehacer académico y científico de la Alma Máter, y por otro, aporte soluciones efectivas a la problemática de la realidad nacional. En esta dirección es importante estrechar lazos con instituciones gremiales como la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador, La Asociación Nacional de la Empresa Privada y la Asociación Salvadoreña de Industriales.
- El análisis de los datos obtenidos en la investigación permite formular varias proposiciones:
  - Es importante el registro ordenado, y con criterio de ingeniería, de la información relativa a fallas, de manera que puedan utilizarse en la evaluación de confiabilidad. La cultura del registro, que no es el carisma de la industria y el comercio nacionales, debe adoptarse en esta nueva era de competitividad.
  - Los datos obtenidos en este quehacer deben ser analizados por personal idóneo, con experiencia en estudios de confiabilidad, y ser presentados a los niveles gerenciales, en los que se encuentra el poder de decisión.
  - Los tiempos de sustitución de elementos dañados son siempre inferiores a los tiempos de reparación, por lo que se propone a las empresas realizar una evaluación económica de las pérdidas por corte en cada contexto, a fin de determinar el contenido necesario de una bodega de repuestos.
  - Los daños frecuentes reportados por deficiencias en el aceite enfriador de los transformadores pueden prevenirse con un mantenimiento eficiente que incluya las pruebas de acidez y aislamiento. La distribuidora CAESS ha puesto este servicio a disposición de las empresas interesadas.

### 3.7 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

Hernández Sampieri, Roberto. Metodología de la investigación  
McGraw – Hill, 1991

Hines, W. W. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración  
CECSA, 1994

Lewis, E.E. Introducción to reliability engineering  
John Wiley & Sons, 1984

Mandel, J. The statistical analysis of experimental data  
Nueva York: Dover Publications, Inc.

Matsch Leander. Maquinas electromagnéticas y electromecánicas  
Alfaomega, 1990

R. Ramakumar. Engineering reliability. Fundamentals and applications  
Prentice Hall, 1993

Torres, J.G. “Cálculo de confiabilidad de generación termoeléctrica”,  
XVIII Taller Internacional de Capacitación en Calderas, Recipientes a Presión, temas  
afines y Exposición Industrial”  
AMIME, 1995

Comité de fiabilidad. Los cambios de la Fiabilidad  
AEC, 1990

IEEE. IEEE Recommendations for safety design of industrial and commercial power  
systems.  
1995

Electric Power Research Institute. EPRI AP-5974, Reliability and availability data for gas  
turbine generator procurement.  
1988

**ANEXO**

**ENCUESTA PROPUESTA  
PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

El proceso de recolección de datos permitió detectar aspectos de la encuesta que merecen ser modificados. Algunos deben ser aclarados, otros ampliados, unos eliminados y algunos replanteados. Acumulando esa experiencia, se procedió a rediseñar la encuesta para ofrecerla con los nuevos criterios que contribuirán a una mejor investigación en el futuro.



1.4) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO DE FALLAS PROVOCADAS POR LAS CAUSAS SEÑALADAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

	TRANSFORMADORES DE POTENCIA	TRANSFORMADORES A LA ENTRADA DE EQ. RECTIFICADORES
<b>CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA</b>		
<i>Fabricación defectuosa del transformador o mal ensamblaje</i>		
<i>Daño mientras se transportaba al lugar de uso</i>		
<i>Falla en la puesta en operación después de un mantenimiento</i>		
<i>Falla al hacer la primera prueba</i>		
<i>Falla al ejecutar maniobra</i>		
<b>CAUSA INICIADORA DE LA FALLA</b>		
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla de arco a tierra)</i>		
<i>Sobrecalentamiento</i>		
<i>Ruptura del aislante del embobinado</i>		
<i>Ruptura del aislamiento de los bushing</i>		
<i>Ruptura mecánica o deformación de partes estructurales</i>		
<i>Daño mecánico producido por agentes externos (excavación, accidente automovilístico, etc)</i>		
<i>Cortocircuito por animales</i>		
<i>Cortocircuito por herramientas u otro objeto metálico</i>		
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de control de protección (relé) o dispositivo auxiliar</i>		
<i>Conexión suelta</i>		
<i>Sobrevoltajes continuos</i>		
<i>Bajo voltaje</i>		
<i>Baja frecuencia</i>		
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>		
<i>Sobrecarga persistente</i>		
<i>Temperatura anormal</i>		
<i>Exposición a químicos corrosivos, solventes, polvo, humedad u otros contaminantes</i>		
<i>Deterioro normal por la edad</i>		
<i>Viento severo, lluvia u otras condiciones climáticas</i>		
<i>Fuga del aceite enfriador</i>		
<i>Pérdida de capacidad dieléctrica del aceite enfriador</i>		
<i>Falla durante la ejecución de una maniobra</i>		
<i>Mantenimiento inadecuado</i>		
<i>Obstrucción de la ventilación</i>		
<i>Carencia de dispositivos de protección</i>		
<i>Mal funcionamiento del dispositivo de protección</i>		
<i>Calibración incorrecta del dispositivo de protección</i>		
<i>Dispositivo de protección no apropiado</i>		
<b>MODO EN QUE EL TRANSFORMADOR SE DESCONECTÓ AL FALLAR</b>		
<i>Un dispositivo de protección lo dejó fuera de servicio automáticamente</i>		
<i>El transformador se dejó fuera de servicio manualmente</i>		

### PARTE III : MOTORES Y TABLEROS DE ARRANQUE CENTRAL

2.1) EN ESTA TABLA SE PRESENTAN DIFERENTES RANGOS DE CAPACIDAD Y VOLTAJES DE OPERACIÓN PARA MOTORES. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS. ESCRIBA LAS CANTIDADES SOLICITADAS.

	MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?				
¿Cuántas fallas ocurrieron en el período considerado?				
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?				

	MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA			
	Motores de hasta 50 HP		Motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?				
¿Cuántas fallas ocurrieron en el período considerado?				
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?				

2.2) EN ESTA TABLA SE PIDEN DATOS DE FALLAS EN LOS TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL DE LOS MOTORES. POR FAVOR ESCRIBA LAS CANTIDADES SOLICITADAS.

	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DE INDUCCIÓN			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?				
¿Cuántas fallas ocurrieron en el período considerado?				
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?				

	TABLEROS DE ARRANQUE Y CONTROL PARA MOTORES DC			
	Para motores de hasta 50 HP		Para motores mayores de 50 HP	
	0 a 600 V	Más de 600 V	0 a 600 V	Más de 600 V
¿Con cuántas unidades cuentan ustedes?				
¿Cuántas fallas ocurrieron en el período considerado?				
¿Cuántas horas de paro ocasionaron estas fallas?				

MARQUE CON UNA "X" SEGÚN SEA LA SITUACIÓN EN SU EMPRESA:

\* CADA MOTOR TIENE SU PROPIO TABLERO

\* HAY TABLEROS QUE CONTROLAN VARIOS MOTORES

2.3) EN ESTA TABLA SE LE PIDE COLOCAR LA CANTIDAD DE FALLAS Y EL TOTAL DE HORAS TRABAJADAS PARA REPARARLAS. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS.

	EN MOTORES DE HASTA 50 HP		EN MOTORES MAYORES DE 50 HP	
	Cantidad de fallas	Horas trabajadas	Cantidad de fallas	Horas trabajadas
Fallas reparadas en horario normal de trabajo				
Fallas reparadas trabajando sin cesar hasta terminar				
Fallas reparadas utilizando repuestos de bodega.				
Fallas reparadas sin urgencia				

2.4) REGISTRE LA CANTIDAD DE FALLAS DEBIDAS A LAS PIEZAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA. LOS MOTORES PUEDEN SER MONOFÁSICOS O TRIFÁSICOS.

PIEZA AFECTADA POR LA FALLA	MOTORES DE HASTA 50 HP		MOTORES MAYORES DE 50 HP	
	Cantidad de fallas en Motores de inducción	Cantidad de fallas en Motores de corriente directa	Cantidad de fallas en Motores de inducción	Cantidad de fallas en Motores de corr. directa
Rodamientos				
Embobinados				
Rotor				
Eje o mecanismo de acople				
Escobillas				
Dispositivos externos al motor				
Caja de conexión eléctrica del motor				

2.5) ANOTE LA CANTIDAD DE FALLAS OCURRIDAS EN LAS PIEZAS DE MOTOR INDICADAS, SEGÚN EL MOMENTO EN QUE SE DETECTÓ LA FALLA.

PIEZA QUE FALLO	MOTORES DE HASTA 50 HP		
	Situación en que se descubrió la falla		
	Mientras el motor operaba	Estando en mantenimiento o en prueba	En otra ocasión
Rodamientos			
Embobinados			
Rotor			
Eje o mecanismo de acople			
Escobillas			
Dispositivo externo			
Caja de conexión eléctrica del motor			
PIEZA QUE FALLO	MOTORES MAYORES DE 50 HP		
	Situación en que se descubrió la falla		
	Mientras el motor operaba	Estando en mantenimiento o en prueba	En otra ocasión
Rodamientos			
Embobinados			
Rotor			
Eje o mecanismo de acople			
Escobillas			
Dispositivo externo			
Caja de conexión eléctrica del motor			

2.6) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS CONSIDERANDO LAS CAUSAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

	MOTORES DE INDUCCIÓN		MOTOR DE CORR. DIRECTA	
	De 0 a 50 HP	Mayores de 50 HP	De 0 a 50 HP	Mayores de 50 HP
<b>CAUSA QUE INICIÓ LA FALLA</b>				
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje</i>				
<i>Sobrecalentamiento</i>				
<i>Ruptura del aislamiento</i>				
<i>Pérdida de velocidad del motor</i>				
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>				
<i>Sobrecarga persistente</i>				
<i>Temperatura ambiente alta</i>				
<i>Humedad anormal</i>				
<i>Voltaje anormal</i>				
<i>Frecuencia anormal</i>				
<i>Vibración excesiva</i>				
<i>Químicos corrosivos</i>				
<i>Lubricante deficiente o deteriorado</i>				
<i>Ventilación o enfriamiento deficientes</i>				
<i>Deterioro normal por la edad</i>				
<b>CAUSA DE FALLA IMPLÍCITA</b>				
<i>Componente defectuoso</i>				
<i>Falla después de instalación</i>				
<i>Falla después de mantenimiento</i>				
<i>Operación incorrecta</i>				
<i>Falla durante manejo de embarque</i>				
<i>Protección física inadecuada</i>				
<i>Protección eléctrica inadecuada</i>				
<i>Falla durante ejecución de una maniobra</i>				
<i>Incompatibilidad con el equipo que maneja el motor</i>				

**PARTE III : GENERADORES DE EMERGENCIA**

3,1) A CONTINUACIÓN SE SOLICITAN DATOS SOBRE GENERADORES AC DE EMERGENCIA  
INDIQUE LAS CANTIDADES SEGÚN EL CASO DE SU EMPRESA.

	<i>GENERADORES DE EMERGENCIA HASTA 75 KVA</i>		
	<i>Nr. de unidades que posee</i>	<i>Total de fallas ocurridas</i>	<i>Total de horas de suspensión por fallas en el sistema de generación</i>
<i>Generadores de emergencia y de reserva</i>			

	<i>GENERADORES DE EMERGENCIA MAYORES DE 75 KVA</i>		
	<i>Nr. de unidades que posee</i>	<i>Total de fallas ocurridas</i>	<i>Total de horas de suspensión por fallas del generador</i>
<i>Generadores de emergencia y de reserva</i>			

## **PARTE IV: CIRCUIT BREAKERS Y CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN**

4.1) ¿CUÁNTOS CIRCUIT BREAKERS POSEE SU INSTALACIÓN? \_\_\_\_\_

4.2) ¿CUÁNTAS CUCHILLAS DE DESCONEXIÓN POSEE SU INSTALACIÓN? \_\_\_\_\_

4.3) ANOTE EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS SEGÚN LAS CONDICIONES INDICADAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA

<i>CONDICIÓN EN QUE OCURRIÓ LA FALLA</i>	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<i>Falló mientras estaba en servicio</i>		
<i>Falló durante prueba o mantenimiento</i>		
<i>El daño se descubrió durante prueba o mantto.</i>		
<i>La falla fue parcial</i>		

4.4) ANOTE EL NÚMERO DE FALLAS SEGÚN EL ELEMENTO DAÑADO Y EL TIPO DE FALLA.

<i>ELEMENTO DAÑADO</i>	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<i>Falla en bobinas</i>		
<i>Falla en rodamientos</i>		
<i>Otro aislante</i>		
<i>Partes móviles</i>		
<i>Otros daños mecánicos</i>		
<i>Dispositivos eléctricos auxiliares</i>		
<i>Dispositivos eléctricos de protección</i>		
<i>TIPO DE FALLA</i>		
<i>Arco a tierra</i>		
<i>Otros tipos de arco</i>		
<i>Otros defectos eléctricos</i>		
<i>Defecto mecánico</i>		

4.5) DETALLE EL NÚMERO DE FALLAS CORREGIDAS SEGÚN EL MÉTODO DE REPARACIÓN EMPLEADO.

<i>MÉTODO DE REPARACIÓN</i>	<i>NÚMERO DE FALLAS CORREGIDAS EN:</i>	
	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<i>Pieza reparada en el lugar o enviada a taller</i>		
<i>Reparación sustituyendo la pieza por repuesto de bodega</i>		

4.6) REGISTRE EL NÚMERO DE FALLAS SEGÚN LA URGENCIA CON QUE SE REPARARON.

<i>URGENCIA CON QUE SE HIZO LA REPARACIÓN</i>	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<i>Se trabajó sin horario hasta terminar la reparación</i>		
<i>La reparación se hizo en horario normal</i>		
<i>La reparación se hizo en horas extras</i>		
<i>No hubo prisa en la reparación</i>		

4.7) INDIQUE EN LAS CASILLAS EL NÚMERO DE FALLAS OCURRIDAS CONSIDERANDO LAS CARACTERÍSTICAS DESCRITAS EN LA COLUMNA DE LA IZQUIERDA.

	<i>Circuit breakers</i>	<i>Cuchillas de desconexión</i>
<b>CAUSA RESPONSABLE DE LA FALLA</b>		
<i>Daño mientras se transportaba al lugar de uso</i>		
<i>Fabricación defectuosa del elemento o mal ensamblaje de fabrica</i>		
<i>Falla al hacer la primera prueba (elemento nuevo)</i>		
<i>Falla después de trabajos de mantenimiento</i>		
<i>Falla durante la ejecución normal en operación</i>		
<b>CAUSA QUE INICIÓ LA FALLA</b>		
<i>Alteración por transientes de sobrevoltaje (accionamiento de interruptores, falla por arco a tierra)</i>		
<i>Sobrecalentamiento</i>		
<i>Ruptura del aislamiento</i>		
<i>Quebraduras o rupturas mecánicas</i>		
<i>Piezas sueltas, corrosión o piezas deformadas</i>		
<i>Piezas móviles quemadas o fundidas</i>		
<i>Daño causado por excavaciones o accidentes vehiculares</i>		
<i>Cortocircuitos provocados por piezas de metal</i>		
<i>Cortocircuitos causados por animales</i>		
<i>Falla en la energía del circuito de control del elemento</i>		
<i>Mal funcionamiento de relés de control</i>		
<i>Bajo voltaje</i>		
<i>Baja frecuencia</i>		
<b>CAUSA QUE CONTRIBUYÓ A LA FALLA</b>		
<i>Sobrecarga persistente</i>		
<i>Temperaturas arriba de lo normal</i>		
<i>Contacto con químicos corrosivos o solventes</i>		
<i>Contacto con agua o humedad</i>		
<i>Exposición al fuego</i>		
<i>Obstrucción de ventilación por objetos extraños</i>		
<i>Deterioro normal por la edad</i>		
<i>Viento, lluvia u otras condiciones ambientales</i>		
<i>Mal ajuste del relé de protección</i>		
<i>Pérdida o deficiencia de lubricante</i>		
<i>Falla durante una prueba de mantenimiento</i>		
<i>Exposición al polvo u otro contaminante</i>		
<i>Sobredimensionamiento del dispositivo</i>		
<i>Subdimensionamiento del dispositivo</i>		