

T. UES  
1504  
081e  
1999  
Ej 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**



**“Evaluación de Costos de Interrupciones, Apagones y Perturbaciones en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales en el Área Metropolitana de San Salvador.”**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:**

**JUAN FRANCISCO OSEGUEDA OSEGUEDA**  
**JOSÉ RAÚL PINEDA LEMUS**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:**

15101349  
15101349



**INGENIERO ELECTRICISTA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 1999**

UNITED STATES DEPARTMENT OF JUSTICE  
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION  
WASHINGTON, D. C. 20535



TO: DIRECTOR, FBI (100-442888) FROM: SAC, NEW YORK (100-100000) (P)  
SUBJECT: [REDACTED] (NY 100-100000) (P)

RE: [REDACTED]

NY 100-100000 (P)

NY 100-100000 (P)

NY 100-100000 (P)

NY 100-100000 (P)

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

## AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.

RECTOR:

**DR. JOSÉ BENJAMIN LÓPEZ GUILLEN**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. ENNIO ARTURO LUNA**

## FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

**ING. JOAQUÍN ALBERTO VANEGAS AGUILAR**

SECRETARIO a.i:

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNANDEZ**

## ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

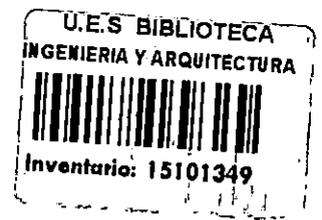
DIRECTOR:

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS**

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

SECRETARIO:

**ING. MARVÍN HERNANDEZ**



**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 Costos de Interrupciones, Apagones y  
Perturbaciones en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales  
en el Área Metropolitana de San Salvador.”**

PRESENTADO POR:

**JUAN FRANCISCO OSEGUEDA OSEGUEDA  
JOSÉ RAÚL PINEDA LEMUS**

COORDINADOR:

**ING. MARVÍN HERNANDEZ**

ASESOR:

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS**

**SAN SALVADOR, ENERO 1999**



TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

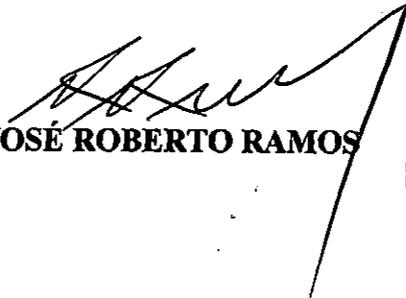
COORDINADOR:



ING. MARVÍN HERNANDEZ



ASESOR:



ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS



ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 18 de enero de 1999 en el local de la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a quince 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



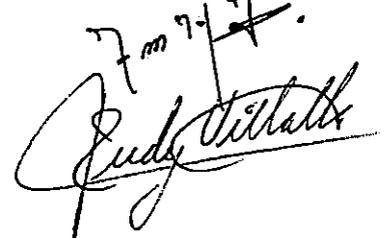
Firma



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

- 1- Ing. Huberto Jaime Meléndez
- 2- Ing. José Fredy Villalta

Firma



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

"Evaluación de Costos de Interrupciones, Apagones y Perturbaciones en Sistemas Eléctricos Industriales y Comerciales en el Area Metropolitana de San Salvador (AMSS)"

A cargo de los Bachilleres:

OSEGUEDA OSEGUEDA, JUAN FRANCISCO  
PINEDA LEMUS, JOSE RAUL

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 9.0  
(nueve punto cero )

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA  
Departamento de Eléctrica

**Trabajo dedicado a:**

Dios todopoderoso, por haberme iluminado para culminar ésta carrera.

Mis padres, Felipe Osegueda y Juana de Osegueda; Por toda la confianza, cariño y amor que me dieron durante mi carrera.

Mi esposa, Ana Cecilia de Osegueda ; por su amor y comprensión.

Mi hijo, Juan Francisco; por ser la fuente de inspiración para seguir adelante y esperanza en el futuro.

Mis hermanos; Rubén Antonio y Carlos Felipe por el apoyo incondicional brindado durante todo este tiempo.

A Don Marcos (Q.E.P.D); que desde que comencé siempre me aconsejó a seguir adelante.

Mis cuatro grandes amigos y hermanos Herbert, Meme, Víctor y Omar; por todo el respaldo, comprensión y consejos recibidos.

**Juan Francisco Osegueda Osegueda.**

**Trabajo dedicado a:**

Dios todopoderoso.

Mi madre, María Esperanza Cruz Lemus ( Q.D.D.G ); por su amor, por sus consejos, los cuales me ayudaron a darme fuerza para terminar exitosamente mis estudios.

Mi padre, Raúl Pineda Portillo; por su comprensión y apoyo durante el desarrollo de mi carrera.

Mi madrastra, Marilú Claribel Abarca; por su apoyo y colaboración.

Mis hermanos José Orlando, Reina Isabel, Deysi Marilú, María Esperanza; que siempre estuvieron conmigo.

Ana Estela; por su apoyo en los momentos más difíciles.

Mis compañeros de trabajo Obdulio Israel Najarro y demás por su apoyo incondicional.

Mis Amigos, Gloria, Maricruz, Yenny, Ana, Oscar, Mario, Armando, Efrain, Arnulfo, Carlos y demás.

**José Raúl Pineda Lemus.**

## AGRADECIMIENTOS.

A:

Todas las instituciones y empresas que de manera desinteresada nos proporcionaron recursos, tanto humanos como técnicos e información necesaria para el desarrollo de éste trabajo; agradeciendo especialmente a la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador (CCIES) y la Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador (CAESS).

Además queremos expresar nuestros agradecimientos particulares a las siguientes personas:

Ing. Roxana Iraheta de Rauda.

Ing. Manuel Cuadra.

Sra. Marta Leticia de Grande.

Y a las personas que nos ayudaron directa e indirectamente en el desarrollo de éste trabajo.

## **PREFACIO.**

En vista del papel que juega el sector eléctrico en el desarrollo económico de un país es vital que este sector suministre un servicio de energía confiable. En este sentido en el país se están realizando diversas acciones para mejorar la calidad, continuidad y confiabilidad de este servicio. Una de estas acciones esas acciones fue la privatización de las distribuidoras de energía eléctrica que lleva como objetivo alentar la inversión privada tan necesaria para invertir en el mejoramiento del servicio eléctrico y la atención al cliente, pero a pesar de esto muy poco se ha avanzado en la mejoría de la calidad y continuidad del servicio eléctrico.

Las investigaciones de las de las pérdidas económicas que sufren los usuarios industriales y comerciales debido a problemas en estos sistemas de suministro principalmente interrupciones y perturbaciones eléctricas es de suma importancia para la inversión en el mejoramiento o diseño de los sistemas de distribución para mejorar la calidad, continuidad y confiabilidad de este servicio. Estos datos pueden utilizarse para decidir entre diferentes alternativas de diseño. Además de esta información existen otros no menos importantes como el tiempo crítico de pérdida del servicio eléctrico, tiempo de restauración de las empresas, etc. Que también son indispensables para evaluación de la confiabilidad del servicio eléctrico.

En base a lo antes mencionado, este estudio tiene como fundamental objetivo elaborar un documento en el cual se presente la forma en la que se pueda estimar pérdidas económicas en las empresas debido a interrupciones y perturbaciones eléctricas del servicio eléctrico del país, tomándose como base la zona metropolitana de San Salvador, considerada el área de mayor concentración de empresas industriales y comerciales.

Como un segundo objetivo perseguido es encontrar información adecuada para evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución, de los cuales podemos mencionar: Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico, tiempo de restauración o reinicio de operación de las empresas, método de restauración del servicio empleado por las empresas, razón y duración de fallas de componentes eléctricos, etc.

Esta información se puede utilizar como se mencionó antes; para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas de distribución con el objeto de mejorar o diseñar sistemas de distribución de energía eléctrica más confiables.

## RESUMEN.

En el primer capítulo se establecen fundamentos teóricos que son la base del estudio en cuestión, está específicamente orientado a la investigación de estudios similares ya realizados en otros países, esto con el afán de conocer los antecedentes históricos de la evaluación económica de pérdidas que sufre el consumidor debido a interrupciones o perturbaciones del servicio eléctrico, así mismo también los efectos que causan estos a las plantas industriales y comerciales, como también eventos de energía que causan pérdidas económicas a las empresas. Es de suma importancia la presentación de la fórmula que se emplea comúnmente y que fue presentada en el libro *Gold Book* editado por The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) para encontrar las pérdidas en plantas industriales como también en plantas comerciales.

En el segundo capítulo, se presenta el diseño metodológico que se utiliza en la investigación. Este diseño incluye la población, muestra, área de estudio, método de recolección de la información, procedimientos para la recolección de información y plan de tabulación y análisis. En este diseño metodológico se incluye la teoría estadística básica de muestreo necesaria para la determinación de la muestra a emplear en el análisis, así como también, el diseño de la encuesta, cuyo objetivo primordial fue obtener la información acerca de las pérdidas que sufren las plantas Industriales y Comerciales debido a interrupciones y perturbaciones en el servicio eléctrico específicamente en el área metropolitana de San Salvador.

En el tercer capítulo se presentan en forma de tabla y gráfico los datos obtenidos por medio de la encuesta. Estos datos son de suma importancia para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas independientemente si son de distribución o no. La información que se consideran más principales en este capítulo son: Pérdidas en colones por interrupción, tiempo de reinicio de operaciones, duración crítica de la pérdida del servicio, pérdidas por falla, método de restauración del servicio entre otros. Esta información es de gran utilidad para la evaluación cuantitativa de la confiabilidad.

Además se presentan ecuaciones matemáticas que relacionan las pérdidas por KWH de energía no servida, pérdidas por KW de carga interrumpida que sufren las empresas en función de la duración de la interrupción.

## TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO .....	Página.
1. Importancia de los costos o pérdidas que sufren los usuarios industriales y comerciales Debido a interrupciones y perturbaciones eléctricas.	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes históricos de la evaluación económica de pérdidas que sufren los Consumidores debido a interrupciones y perturbaciones eléctricas. ....	1
1.3. Efectos que causan las interrupciones eléctricas a las plantas industriales. ....	2
1.4. Definiciones de fenómenos electromagnéticos que causan pérdidas económicas a las Empresas. ....	3
1.5. Efectos que causan a las empresas comerciales las interrupciones y perturbaciones eléctricas. ....	5
1.6. Ecuaciones para determinar los costos debido a interrupciones y perturbaciones eléctricas. ....	6
1.7. Pérdidas adicionales debidas a interrupciones eléctricas. ....	7
1.8. Conclusiones y recomendaciones. ....	8
2. Metodología para el trabajo de campo.	
2.1. Introducción.....	9
2.2. Diseño metodológico. ....	10
2.3. Universo y muestra . ....	10
2.4. Área de estudio. ....	11
2.5. Tipo de estudio. ....	11
2.5.1. Determinación de la muestra mediante muestreo aleatorio estratificado..	13
2.5.2. Cálculo de la muestra.....	14
2.6. Método de recolección de la información. ....	15
2.6.1. La entrevista.....	16
2.6.2. El cuestionario.....	16
2.6.3. Empresas seleccionadas. ....	17
2.7. Procedimiento para la recolección de la información. ....	17
2.8. Plan de tabulación y análisis. ....	17
2.9. Conclusiones y recomendaciones. ....	19
3. Recolección y tabulación de los datos.	
3.1. Introducción .....	20
3.2. Bitácora. ....	21
3.3. Tabulación y análisis de los resultados. ....	22
3.3.1. Actividad de las empresas. ....	22
3.3.2. Datos físicos de las empresas. ....	23
3.3.3. Horario de operación o trabajo de las empresas. ....	24
3.3.4. Compañías distribuidoras que proveen el servicio a las empresas. ....	25
3.3.5. Tipo de conexiones en el banco de transformadores del sistema de alimentación de las empresas. ....	26
3.3.6. Consumo energético de las empresas. ....	27
3.3.7. Costos Vrs. Duración de las interrupciones. ....	28

3.3.8.	Determinación de relaciones matemáticas de las pérdidas en función de datos generales de las empresas. ....	34
3.3.8.1	Pérdidas/empleados/hora Vrs. Duración de las interrupciones. ..	34
3.3.8.2	Pérdidas/área construida de la empresas/hora Vrs. Duración de la interrupciones. ....	37
3.3.8.3	Pérdidas/KWH Vrs. Duración de la interrupción. ....	39
3.3.9.	Evaluaciones económicas de las pérdidas del usuario debido a Interrupciones.....	41
3.3.9.1	Estimaciones de las pérdidas que sufren los usuarios industriales Debido a interrupciones eléctricas. ....	41
3.3.9.2	Estimaciones de las pérdidas que sufren los usuarios comerciales Debido a interrupciones eléctricas. ....	45
3.3.10.	Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.....	49
3.3.11.	Duración del tiempo de restauración de las empresas. ....	51
3.3.12.	Costos por reparación o pérdida de equipo debido a interrupciones o perturbaciones eléctricas. ....	53
3.3.13.	Elementos o equipos que causaron más pérdidas económicas a las empresas. ....	59
3.3.14.	Método de restauración del servicio después de una interrupción eléctrica. ....	61
3.3.15.	Cantidad y duración de las interrupciones eléctricas sufridas por las empresas debido a fallas en el sistema de distribución. ....	62
3.3.16.	Cantidad y duración de las interrupciones sufridas por las empresas debido a fallas en su sistema eléctrico. ....	65
3.3.17.	Frecuencia de falla de los elementos eléctricos y equipo de las empresas.	68
3.4.	Conclusiones y recomendaciones. ....	73
3.5.	Referencia bibliográfica. ....	75

Anexo A.	Tarifas eléctricas.
Anexo B.	Cuestionario.
Anexo C.	Método para evaluar cuantitativamente la confiabilidad.
Anexo D.	Relaciones matemáticas de datos físicos de las empresas con datos eléctricos.
Anexo E.	Relaciones funcionales entre el costo y la duración de las interrupciones.
Anexo F.	Causa y soluciones para disminuir los efectos en las computadoras de los fenómenos electromagnéticos.
Anexo G.	Posibles soluciones para disminuir los efectos de las interrupciones eléctricas.
Anexo H.	Método <i>Cut-Set</i> mínimo.
Anexo I.	Análisis estadístico de las fallas de los componentes eléctricos.
Anexo J.	Definiciones.

## LISTA DE TABLAS.

Tablas .....	Página.
3.1. Porcentaje de empresas según actividad.....	22
3.2. Datos físicos de las empresas industriales.....	23
3.3. Datos físicos de las empresas comerciales.....	23
3.4. Total de días y horas de operación de las empresas.....	24
3.5. Porcentajes de empresas con respecto a que distribuidora les provee el servicio.....	25
3.6. Tipo de conexiones en el banco de transformadores de las empresas.....	26
3.7. Valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas industriales.....	28
3.8. Valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas comerciales.....	31
3.9. Resumen de ecuaciones de pérdidas por duración de la interrupción para todos los estratos.....	32
3.10. Valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas industriales ( Con planta de emergencia).....	33
3.11. Costos/empleados/hora para empresas industriales < 50 KW.....	34
3.12. Costos/empleados/hora para empresas industriales > 50 KW.....	35
3.13. Costos/empleados/hora para empresas industriales > 50 KW ( Con planta )....	35
3.14. Costos/empleados/hora para empresas comerciales < 50 KW.....	36
3.15. Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora para las empresas industriales < 50 KW.....	37
3.16. Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora para las empresas industriales > 50 KW.....	37
3.17. Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora para las empresas industriales > 50 KW ( Trabajando con planta ).....	38
3.18. Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora para las empresas comerciales < 50 KW.....	38
3.19. Costos/KWH para las empresas industriales < 50 KW.....	39
3.20. Costos/KWH para las empresas industriales > 50 KW.....	39
3.21. Costos/KWH para las empresas industriales > 50 KW ( Trabajando con planta ).....	40
3.22. Costos/KWH para las empresas comerciales < 50 KW.....	40
3.23. Ecuaciones para encontrar pérdidas por KW en función de la duración de la interrupción.....	46
3.24. Ecuaciones para encontrar las pérdidas por KWH en función de la duración de la interrupción.....	47
3.25. Valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas por KW y perdidas/ KWH.....	47
3.26. Mediana de costos de interrupciones para plantas industriales en El Salvador..	48
3.27. Costos promedio de interrupciones para plantas industriales en El Salvador....	48
3.28. Mediana y promedio de Costos para plantas comerciales en El Salvador.....	48
3.29. Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.....	49
3.30. Tiempos Mínimos, Máximos, Mediana y promedio de la duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.....	50

3.31. Tiempo de restauración de las empresas.....	50
3.32. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y Promedio del tiempo de reinicio de operaciones de las empresas.....	52
3.33. Cantidad de empresas ( %) que reportaron pérdidas debido a perturbaciones e interrupciones eléctricas.....	53
3.34. Porcentaje de empresas que reportaron pérdidas debido a perturbación o interrupción.....	54
3.35. Pérdidas por reparación de equipos.....	55
3.36. Pérdidas por sustitución de equipos.....	56
3.37. Pérdidas por falla.....	57
3.38. Componentes que causaron más pérdidas a las empresas.....	60
3.39. Método de restauración del servicio.....	61
3.40. Cantidad de interrupciones en el período 1996-1998.....	62
3.41. Valores mínimos, máximos y promedio de las interrupciones de los Sistemas Caess y Delsur.....	64
3.42. Cantidad de interrupciones en el período 1996-1998 debido a fallas en el sistema de las empresas.....	66
3.43. Duración de las interrupciones debido a problemas en los sistemas de potencia de las empresas.....	67
3.44. Total de fallas reportadas en el período 1996-1998 de los componentes eléctricos.....	68
3.45. Total de fallas reportadas en el período 1996-1998 de las maquinas y equipo... ..	69
3.46. Cantidad de componentes eléctricos reportados en el período 1996-1998.....	69
3.47. Cantidad de equipos y maquinas reportadas en el período 1996-1998.....	70
3.48. Ejemplo de anotaciones de fallas de potencia.....	71
3.49. Razón de fallas de componentes eléctricos.....	72
3.50. Razón de fallas estimadas.....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos.....	Página.
3.1. Áreas más sensibles por pérdidas de las empresas industriales.....	29
3.2. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones ( Industrial < 50 KW ).....	29
3.3. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones ( Industrial > 50 KW ).....	30
3.4. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones ( Comercial < 50 KW ).....	30
3.5. Pérdidas Vrs. Duración de la interrupción, trabajando con planta de emergencia ( Industrial > 50 KW ).....	32
3.6. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Industrial < 50 KW).....	42
3.7. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Industrial < 50 KW).....	42
3.8. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Industrial > 50 KW).....	43
3.9. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Industrial > 50 KW).....	43
3.10. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción ( Industrial > 50 KW, trabajando con planta de emergencia ).....	44
3.11. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción ( Industrial > 50 KW, trabajando con planta de emergencia.....	44
3.12. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Comercial < 50 KW).....	45
3.13. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Comercial < 50 KW).....	45
3.14. Pérdidas/KW para todos los estratos.....	46
3.15. Porcentaje de empresas que han experimentados pérdidas debido a eventos de energía.....	54
3.16. Porcentajes de empresas que reportaron pérdidas considerables debido a fallas en componentes eléctricos o equipos.....	59

# CAPITULO I

## IMPORTANCIA DE LOS COSTOS O PÉRDIDAS QUE SUFREN LOS USUARIOS INDUSTRIALES Y COMERCIALES DEBIDO A INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS.

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

El conocimiento de los costos que sufren las empresas comerciales e industriales debidos a interrupciones eléctricas por causa de problemas de diseño del sistema de distribución de energía eléctrica ó debido a fenómenos electromagnéticos, es de mucha importancia, ya que ayudan tanto al empresario industrial o comercial como a la compañía que provee el servicio a tomar medidas que ayuden a minimizar los efectos de estos en el desempeño óptimo de dichas empresas.

Para definir la importancia de estos costos, en este capítulo se explora algunos puntos relevantes que de cierta forma ayuda a entender la razón del porque realizar un estudio de esta índole.

### 1.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PÉRDIDAS QUE SUFRE EL CONSUMIDOR DEBIDO A INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS.

Uno de los primeros estudios comprensivos de las pérdidas que sufre el consumidor debido a problemas en los sistemas de distribución fue elaborado en Suecia en 1969 [4]. Su procedimiento básico fue primero clasificar a los consumidores en las categorías siguientes:

- ✓ Consumidores Industriales.
- ✓ Consumidores Comerciales.
- ✓ Consumidores Agrícolas y
- ✓ Consumidores Residenciales.

Las estimaciones de los costos de las interrupciones fueron obtenidas por medio de interrogatorio directo para estos grupos de consumidores. Un similar método utilizó THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERSS, INC. ( IEEE ) en 1973 para estimar estos costos debido a interrupciones del suministro eléctrico pero esta vez sufridas solamente por las plantas industriales [4]. La mayoría de los estudios publicados se han dirigido a evaluar pérdidas para plantas industriales debido a interrupciones eléctricas, ya que estas son las más importantes en la actividad económica de la mayoría de países. Las pérdidas que sufren los usuarios residenciales y comerciales están algunos todavía en planificación ó están en proceso de ser completadas.

### **1.3 EFECTOS QUE CAUSAN LAS INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS A LAS PLANTAS INDUSTRIALES.**

La no-paralización de la producción en una industria durante una falta de potencia eléctrica se justifica debido a la suma total de muchos ahorros tangibles e intangibles. Como se sabe la industria es muy sensible a interrupciones y a perturbaciones eléctricas, porque los procesos de producción son en cierta forma muy delicados y dependen de equipo y maquinaria eléctrica. A continuación se detallan varios factores que se deben tomar en consideración para determinar ó calcular las pérdidas económicas y que afectan en un mayor porcentaje a las empresas industriales con relación a sus costos debido como se mencionó anteriormente a interrupciones y perturbaciones del servicio eléctrico.

#### **PAGO DE SALARIOS A TRABAJADORES.**

¿Existe una cláusula de pago para el trabajador?. Si es así, habrá una pérdida directa en sueldos pagados a los trabajadores por tiempo no trabajado ó improductivo. Donde los requerimientos de energía eléctrica son bajos y una interrupción hace que las máquinas paren el trabajo hasta que vuelva la energía eléctrica, la adquisición de un sistema de emergencia de suministro eléctrico puede ser justificado, de manera que se pueda suministrar energía en áreas importantes de la empresa de tal forma de disminuir estos costos. Estas áreas pueden ser: área de acabado, áreas de inspección, áreas de oficina, u otras áreas donde hayan más empleados trabajando ó que se consideren de suma importancia.

#### **PÉRDIDAS DEBIDAS A PRODUCTOS DAÑADOS.**

En muchas industrias los procesos de producción son muy delicados de tal forma que cuando se da una interrupción, los productos en proceso se dañan contribuyendo a las pérdidas de la empresa, por ejemplo: en la industria del caucho, los materiales se cierran herméticamente en vulcanizadoras, ó en mezcladores a temperaturas altas y si se da una interrupción durante esta operación, el vapor o la presión del agua caería a cero provocando pérdidas debido a productos de mala calidad o arruinados. Además si se pierde la energía eléctrica durante procesos seguros en la fabricación de azúcar, vidrio, acero, farmacéuticos, caucho, papel, químicos, y algunos otros materiales, el producto tiene que ser desechado.

#### **PÉRDIDAS ASOCIADAS A LOS PRODUCTOS DAÑADOS.**

Mientras el material arruinado es tirado a la basura, hay tantos problemas y costos asociados con su extracción como con la pérdida del mismo. En algunos materiales se debe trabajar duro ó extraerlos a mano, pedazo por pedazo, hasta que se despejan las líneas de producción ó la máquina esté vacía y limpia para que la producción pueda seguir.

## **PÉRDIDAS DEBIDO AL RESTABLECIMIENTO DEL TRABAJO.**

Una 1/2 hora de interrupción de energía eléctrica desorganiza a los obreros. La experiencia indica que, una interrupción tomará a hombres y mujeres por lo menos dos o más horas restablecerse para trabajar, y alcanzar el nivel de producción a que operaban antes que ocurriera la interrupción de energía eléctrica.

Un detalle de pérdida menos tangible es la buena voluntad. Por ejemplo en la industria del proceso de la película, el cliente no considera el reemplazo de la película como compensación adecuada por los cuadros de la película que se dañaron debido a una falta de energía.

## **PÉRDIDAS DEBIDO A REPARACIÓN O SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS.**

En una empresa industrial existe diferentes tipo de maquinaria eléctrica y/o electrónica que es sensible a las interrupciones o variaciones de energía eléctrica (perturbaciones), provocando éstas en algunas ocasiones que la maquinaria ó equipo se dañe, aumentando con ello pérdidas a las empresas, ya que se deben de comprar partes de repuestos caros y en algunas ocasiones contratar personal o empresa especializada para reparar dichos equipos ó en el peor de los casos sustituirlos aumentando aún más las pérdidas.

A continuación se definen algunos fenómenos electromagnéticos que causan daños en los equipos eléctricos y electrónicos, y que afectan económicamente a las empresas industriales y comerciales.

### **1.4 DEFINICIONES DE FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS QUE CAUSAN PÉRDIDAS ECONÓMICAS A LAS EMPRESAS.**

#### **SAGS.**

También conocidas como caídas de tensión, las bajas de voltaje son disminuciones en los niveles de voltaje durante un corto período. Según un estudio realizado por los Laboratorios Bell, éste es el problema de energía más común, representando un 87% del total de las perturbaciones de energía. Estos, típicamente, son causados por la demanda de consumo de energía inicial de muchos aparatos eléctricos (incluyendo motores, compresores, ascensores, maquinaria, etc.), los bajones indican también que el sistema de distribución está manejando altos consumos de energía. En un procedimiento conocido como "bajones cíclicos", las centrales eléctricas disminuyen sistemáticamente los niveles de voltaje en ciertas áreas durante horas o días en un momento dado. Los días de alta temperatura en verano, cuando los sistemas de aire acondicionado alcanzan los niveles de consumo más altos, se llevan a cabo los necesarios bajones cíclicos.

Un bajón puede impedir que un computador o un equipo similar reciba la energía necesaria para funcionar correctamente, causando el bloqueo de teclados e inesperadas caídas de

sistemas provocando la pérdida o daño de datos. Los bajones también reducen la eficiencia y vida útil de los equipos eléctricos, en particular los motores.

## **INTERRUPCIÓN Y APAGÓN.**

La interrupción es la pérdida de energía eléctrica momentánea y el apagón es la pérdida de energía permanente, producida por demanda excesiva de energía en la zona, tormentas, hielo en las líneas eléctricas, accidentes de coches, obras públicas, terremotos, etc. Este fenómeno afecta principalmente a equipos computacionales como es la pérdida del trabajo que está siendo realizado en la *RAM* o cache, posible pérdida de la tabla de localización de archivos (*FAT*) en el disco duro, provocando una pérdida total de los datos almacenados en el disco duro.

## **PICO.**

También conocido como impulso, un pico es un aumento dramático instantáneo en el voltaje. De manera similar a una marejada, un pico puede penetrar en un equipo electrónico a través de la corriente alterna (AC), las líneas de teléfono o de cableado serial de la red, y dañar ó destruir completamente sus componentes. Típicamente causados por la caída de un rayo cercano, los sobre voltaje pueden ocurrir también cuando la energía eléctrica vuelve después de haberse perdido debido a una tormenta ó a un accidente de coche.

Este fenómeno causa daños catastróficos a equipos electrónicos de maquinaria o hardware de computadoras.

## **SOBRE TENSION.**

Un aumento en el voltaje por un corto período de tiempo, típicamente un período de al menos 1/120 de segundo, causado por motores eléctricos de alta potencia, tales como aparatos de aire acondicionado, aparatos eléctricos domésticos. Cuando estos aparatos son apagados el voltaje sobrante se disipa a través de la línea eléctrica.

La sobre tensión provoca daños a los equipos electrónicos y computadores ya que están diseñados para recibir energía dentro de ciertos límites de voltaje. Cualquier voltaje fuera del límite esperado y de los niveles de RMS (considerado el voltaje "medio") forzará los componentes delicados y causará un fallo prematuro.

## **RUIDO.**

Más técnicamente referido como Interferencia Electromagnética (EMI) e Interferencia de Frecuencia de Radio (RFI), el ruido eléctrico entorpece la suave onda senoidal que se espera de la energía eléctrica.

El ruido eléctrico es causado por muchos factores y fenómenos, incluyendo descargas atmosféricas, cambios de carga, generadores, radiotransmisores y equipos industriales. Puede ser intermitente o crónico. El ruido produce parpadeos y errores en los programas ejecutables y en las bases de datos.

## **DISTORSIÓN ARMÓNICA.**

Deformación de las formas de onda senoidal de voltaje y corriente por la operación de equipo con electrónica de potencia y otras cargas no lineales, que repercuten en la operación errónea de algunos equipos sensibles con las formas de onda, daño en capacitores, pérdidas adicionales, calentamiento en aislamiento.

## **1.5 EFECTOS QUE CAUSAN A LAS EMPRESAS COMERCIALES LAS INTERRUPCIONES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Para las empresas comerciales, se pueden considerar los mismos factores que para las plantas industriales, a excepción de los costos relacionados a la producción del producto. A continuación se mencionan algunos otros factores que se deben considerar para determinar las pérdidas debidas a interrupciones de energía, estos son:

- ✓ Costo laboral.
- ✓ Pérdidas de ganancia por ventas.
- ✓ Pérdida debido a robos.
- ✓ Costos de reinicio de operaciones.
- ✓ Costos de equipos dañados, etc.

Cabe mencionar que existen varias empresas comerciales que su principal actividad es la venta de productos, en éstas empresas en la mayoría de las veces, las pérdidas son ocasionadas por: trabajos incompletos y la principal daños en los equipos de oficina tales como: maquinas eléctricas de escribir, computadoras etc.

Con relación a los equipos electrónicos, existen dos realidades desafortunadas; la red pública simplemente no puede proveer una fuente de potencia limpia y uniforme para la electrónica sensible, y el cliente tiene que responsabilizarse por el estado y la operación segura de sus equipos.

Un estudio realizado por IBM en E.U ha mostrado que un equipo computacional está sujeto a más de 120 problemas de potencia por mes. Los efectos de problemas de potencia eléctrica oscilan desde el sutil trancado del teclado y la degradación del hardware a la dramática pérdida completa de los datos o la quema de los motherboards. Según una encuesta realizada por IBM, casi la mitad de las corporaciones encuestadas calcularon los costos de las caídas de sistema en más de \$1,000 por hora y un nueve por ciento afirmaron que dichos costos podrían llegar a más de \$50,000 por hora.

Claramente, los negocios dependen cada vez más de una fuente de alimentación que se ve exigida más allá de sus recursos y de su capacidad. A pesar de los adelantos en las capacidades de computadores personales basta con un corte de luz momentáneo para perder todos los datos. Más peligrosa aún es la pérdida de archivos escritos en disco anteriormente, o incluso la pérdida de todo el disco duro, lo cual podría ocurrir en el caso de que se produzca un problema de potencia eléctrica mientras que su computador está guardando un archivo. Los servidores de archivos de red utilizados en cajeros automáticos y en otras áreas que escriben en disco de forma continua son particularmente susceptibles. Desafortunadamente la situación no se va a mejorar en un futuro cercano.

Con respecto a los fenómenos electromagnéticos que perturban el sistema de distribución y que causan fallas en los equipos electrónicos vamos a mencionar como ejemplo el más común; el impacto cercano de un rayo, aunque éste sea simplemente uno de los problemas incontables que pueden afectar a los sistemas electrónicos especialmente a los computacionales. El rayo cae sobre un transformador cercano, si la corriente es suficientemente poderosa, se transmite instantáneamente por las líneas de potencia, las redes, las líneas seriales y telefónicas, con la fuerza eléctrica equivalente a la de un maremoto. La corriente se introduce en el computador por medio de la entrada de alimentación o por las líneas telefónicas. Las primeras víctimas suelen ser el módem o el motherboard. Los microprocesadores son los siguientes, lo cual provoca la pérdida de datos. La compañía de servicios se defiende de las sobre tensiones desconectando sus redes y creando caídas de tensión y apagones. Si la tensión baja lo suficiente, o se corta completamente, el disco duro puede fallar, destruyendo los datos almacenados. En todos los casos, el trabajo en progreso almacenado en el caché se pierde instantáneamente. En el peor de los casos, puede afectar la protección de la contraseña del disco duro, o dañar la tabla de asignación de archivos, lo que deja el disco duro inutilizable.

## 1.6 ECUACIONES PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DEBIDAS A LAS INTERRUPCIONES DE POTENCIA ELÉCTRICA.

El cálculo de los costos que experimentan las empresas industriales y/o comerciales depende del criterio del administrador, como también de la actividad a la que se dedica la empresa, en tal sentido las fórmulas para encontrar dicho costos pueden ser variables. A continuación se detalla una fórmula que se emplea comúnmente y que fue presentada en un artículo del libro *GOLD BOOK* de la IEEE [11] para encontrar las pérdidas en plantas industriales como también en plantas comerciales. Una estimación aproximada del costo directo que experimenta una empresa debido a una falta de energía eléctrica, como un flujo de efectivo puede ser calculado como sigue:

**Costo total de una falla de potencia =  $E+H+I$ .**

Ec. 1.1

donde:

$E$  = costo de mano de obra de los empleados afectados.

$H$  = pérdida debido a productos tirados a la basura por una falla de potencia.

$I$  = costo de reinicio de operaciones.

El valor de  $H$  e  $I$  se calculan como sigue:

$$E = AD(1.5B + C) \quad \text{Ec. 1.2}$$

$$H = FG \quad \text{Ec. 1.3}$$

$$I = JK(B + C) + LG \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde :

- $A$  = Número de empleados productivos afectados.
- $B$  = Porcentaje por cada hora base de empleados afectados.
- $C$  = Gastos generales por cada hora de empleado afectado.
- $D$  = Duración de la interrupción de la energía eléctrica (en horas).
- $F$  = Unidades del material tirado a la basura debido a una falla de potencia.
- $G$  = Costo por unidad del material tirado a la basura debido a una falla de potencia.
- $H$  = Tiempo de restablecimiento (en horas).
- $K$  = Número de empleados implicados en el restablecimiento.
- $L$  = Unidades de material tirado a la basura debido al restablecimiento.

A estos costos se le deben adicionar los costos por reparación mencionados en la sección 1.3.5, además de los costos mencionados en los párrafos siguientes.

## **1.7 PÉRDIDAS ADICIONALES DEBIDO A UNA INTERRUPCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Además de las pérdidas relacionadas al flujo de efectivo mencionadas anteriormente se deben incluir las mencionadas a continuación, aunque son más difíciles de calcular, se deben incluir cuando estén disponibles y se puedan aplicar, tal como:

- Depreciación proporcional de los costos de capital.
- Depreciación en la calidad de los materiales en proceso.
- Costo de dineros invertidos en materiales o máquinas no usadas.

Otras pérdidas pueden ocurrir bajo condiciones especiales o raras. En una planta industrial que opera a un 100% de su capacidad, cualquier pérdida en la producción resulta en una pérdida de la ganancia del artículo o servicio. Los costos fijos repartidos y los gastos generales llegan a ser una pérdida. Además los clientes cambiarían a los competidores provocando pérdidas adicionales.

El desembolso para obtener una planta de energía eléctrica de reserva tiene una justificación bajo estas condiciones, aunque existen empresarios que ven a esto como un costo, pero cabe señalar que si se evalúa las pérdidas provocadas por una interrupción durante un período específico este "costo" a la larga se considera una inversión.

## 1.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Realizando una comparación entre los diferentes fenómenos electromagnéticos que afectan a las empresas industriales y comerciales nos podemos dar cuenta que la perturbación que generalmente ocurre es el *SAGS* conocido también como caída de tensión, la cual según estudios realizados anteriormente se ha podido comprobar que del total de perturbaciones el 87% de estas son caídas de voltaje. Esto es de suma importancia conocerlo, ya que tanto empresarios como también las compañías distribuidoras de energía eléctrica vean la manera de minimizar este fenómeno.
  
- Para disminuir las pérdidas debido a interrupciones eléctricas en las empresas industriales es necesario la adquisición de un sistema de energía eléctrico, el cual suministre energía a las áreas consideradas las más importantes en las empresas tanto comerciales como industriales, como: áreas de acabado, áreas de inspección, áreas de oficinas y áreas donde hayan más empleados trabajando para minimizar estas pérdidas.
  
- Realizando una comparación entre plantas industriales y comerciales podemos darnos cuenta que para las plantas comerciales se pueden considerar los mismos aspectos con respecto a la evaluación de las pérdidas que para las plantas industriales a excepción de los costos relacionados a la producción del producto.

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA PARA EL TRABAJO DE CAMPO.**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN.**

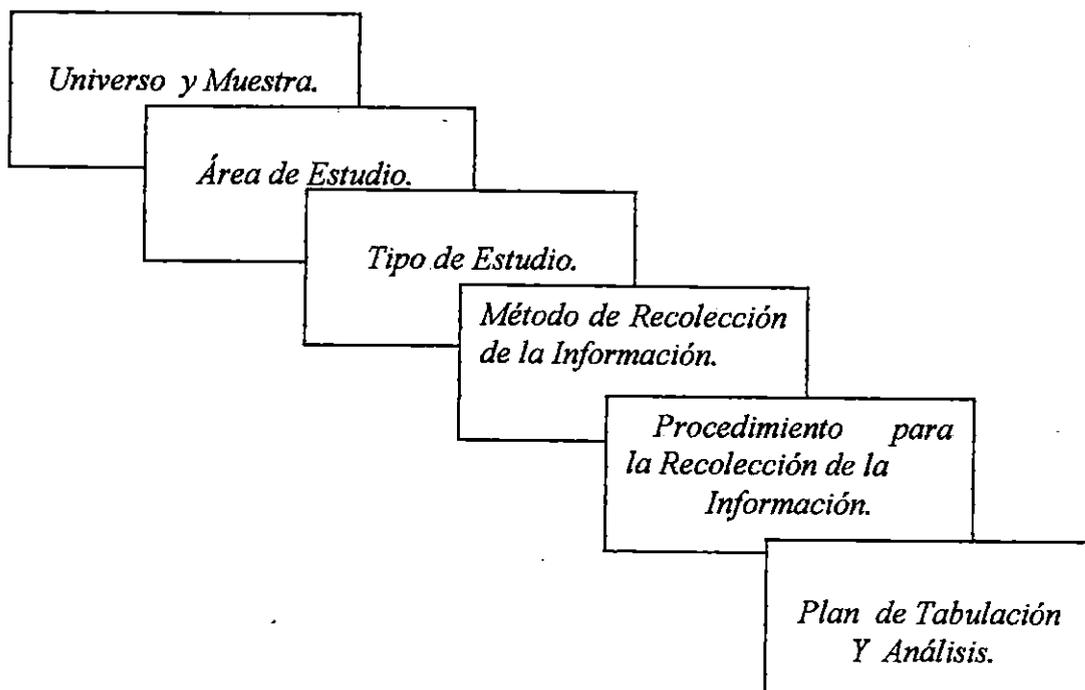
En el presente capítulo se establece de manera detallada la metodología que se seguirá para determinar la muestra, así como los criterios para elaborar el cuestionario. La necesidad de utilizar la técnica de muestreo resultó evidente ante la dificultad que presentaba para la investigación el analizar el universo de trabajo completo, conformado por todas las empresas industriales y comerciales del área metropolitana de San Salvador.

El envío de las encuestas se logró hacer gracias a la colaboración de la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador ( CCIES ), institución que nos proporcionó su personal técnico para la depuración de la encuesta dándonos sugerencias y el personal de servicio de entrega para la repartición de estas en el área metropolitana de San Salvador.

El objetivo principal de la encuesta fue obtener información acerca de las pérdidas económicas que sufren las empresas antes mencionadas debido a interrupciones y perturbaciones del servicio eléctrico. Además de estas pérdidas también se obtienen datos generales de las empresas e información necesaria el cual es de suma importancia para realizar el análisis correspondiente para determinar los diferentes parámetros de este estudio.

## 2.2 DISEÑO METODOLÓGICO.

Diseñar la metodología de un trabajo de investigación implica especificar los detalles y procedimientos acerca de como se realizará la recolección de los datos, a fin de lograr en forma precisa el objetivo de la investigación. En general se puede afirmar que el diseño metodológico es la descripción de como se va a realizar la investigación. En términos generales, un diseño metodológico contiene seis elementos que son:



## 2.3 UNIVERSO Y MUESTRA.

El universo es la población que posee las características que se estudian y a la que se le pueden generalizar los hallazgos encontrados en la muestra. En nuestro caso el universo son específicamente todas las empresas industriales y comerciales del área metropolitana de San Salvador, la cual incluye los siguientes municipios<sup>1</sup>:

- San Salvador.
- Soyapango.
- Ilopango.
- Mejicanos.
- Apopa.
- Antiguo Cuscatlán.
- Nueva San Salvador.
- Ayuxtutepeque.
- Cuscatancingo.
- Ciudad Delgado.
- Nejapa.
- San Martín.
- San Marcos.

<sup>1</sup> Según DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (DIGESTYC).

La muestra se refiere a aquellos elementos seleccionados del universo para ser sometidos a estudio. Cabe mencionar que los elementos de la muestra deben de reunir las características principales que posea la población para poder hacer generalizaciones válidas.

## **2.4 ÁREA DE ESTUDIO.**

El Salvador es un país relativamente pequeño a pesar de esto posee gran cantidad de empresas industriales y comerciales, que son las de gran importancia en nuestro trabajo de investigación. De la concentración geográfica, se escogió el área metropolitana de San Salvador (AMSS), ya que aquí se encuentran ubicadas la mayor parte de la industria y el comercio salvadoreño.

En un inicio se tomó el criterio de escoger aquellas empresas que están dentro de la tarifa GD1 y GD2 (ver anexo A), la cual significa un consumo mayor de 50 KW, ya que de ésta forma se delimita el campo de estudio, además éstas son las que sufren mayores pérdidas económicas con las interrupciones del servicio eléctrico. Pero es de suma importancia señalar que éstas realmente no representan todo el sector industrial y comercial (aunque son las que sufren más pérdidas), ya que solamente se tomarían sus características dejando al margen las características de la micro y mediana empresa (que sumadas las pérdidas de estos sectores son tan importantes como las de la gran empresa), obteniéndose un estudio que no reflejaría las características de éstos sectores.

Para obtener un estudio realmente representativo, tomaremos un porcentaje de estos sectores, y para nuestro análisis se hará la siguiente división:

- Sector industrial, carga instalada mayor de 50 KW.
- Sector industrial, carga instalada menor de 50 KW.
- Sector comercial, carga instalada mayor de 50 KW.
- Sector comercial, carga instalada menor de 50 KW.

Con esta división se garantiza que se considerarán todos los sectores, aunque se recalca que el mayor porcentaje a considerar es el de la gran empresa, por las pérdidas cuantiosas que sufren al existir una interrupción ó perturbación en el servicio eléctrico y además se consideran que pueden con mayor facilidad contestar el cuestionario.

## **2.5 TIPO DE ESTUDIO.**

El objetivo fundamental de un estudio de muestreo es hacer una inferencia acerca de la población a través de la información obtenida por la muestra. Existen dos factores que realmente afectan la información obtenida en la muestra y por lo tanto afectan en la precisión. El primer factor a considerar es el tamaño de la muestra seleccionada de la población. El Segundo es la cantidad de variación de los datos. De estas, la variación puede ser controlada por el método de selección de la muestra. El procedimiento para seleccionar la muestra se llama "Técnica de muestreo". Las dos técnicas que se ajustan a las necesidades del estudio son: el muestreo irrestricto aleatorio y el muestreo aleatorio estratificado y se definen a continuación.

## **MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.**

Es el obtenido mediante la separación de los elementos de la población en grupos que no presentan traslapes, llamados estratos y posteriormente se selecciona una muestra irrestricta aleatoria simple de cada estrato.

## **MUESTREO IRRESTRICTO ALEATORIO.**

Cuando el tamaño de la muestra  $n$  es seleccionado de una población de tamaño  $N$ , de tal manera que cada muestra posible de tamaño  $n$  tiene la misma probabilidad de ser seleccionada.

## **VENTAJAS DEL MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.**

El muestreo aleatorio estratificado permite la estimación separada de parámetros poblacionales dentro de cada estrato. En resumen los motivos principales para utilizar muestreo aleatorio estratificado son las siguientes:

- La estratificación produce un límite más pequeño para el error de estimación.
- El costo por observación en la encuesta puede ser reducido mediante la estratificación de los elementos de la población en grupos convenientes.
- Se pueden tener estimaciones de parámetros poblacionales para subgrupos de la población. Para esto los subgrupos deben ser estratos identificados.

Estas tres ventajas para la estratificación deben tenerse presentes cuando se está planeando estratificar una población o para decidir como definir los estratos.

Debido a las ventajas que esta técnica presenta para este estudio en particular, se describe, para posteriormente aplicarla a nuestra población, que en este caso sería toda el área metropolitana de San Salvador.

## **SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA.**

Para estimar una proporción poblacional, primero se indica que tanta información se desea mediante la especificación del tamaño de la muestra. Las observaciones cuestan dinero, por lo tanto si la muestra es muy grande se desperdicia tiempo y dinero, al contrario si el número de observaciones es pequeño se tiene información incompleta.

Cuando no se cuenta con la información previa acerca de la muestra (por ejemplo, media, varianza, etc. ), se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq}$$

Ec. 2.1

$$\text{Con } D = \frac{B^2}{4}$$

Ec. 2.2

Donde:

- $n$  = Tamaño de la muestra.
- $N$  = Tamaño de la población.
- $p$  = Variabilidad de la proporción poblacional.
- $q$  = Complemento de  $p = (1 - q)$ .
- $D$  = Margen de error.
- $B$  = Error de estimación.

### 2.5.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA MEDIANTE MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.

La metodología para determinar el tamaño de la muestra es la siguiente:

- Determinar el tamaño de la población.
- Dividir la población en estratos.
- Proceder como si se tratase de muestreo irrestricto aleatorio utilizando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 pq}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i pq} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\text{Con } D = \frac{B^2}{4} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$\text{Y } n_i = n w_i \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

- $n$  = Tamaño de la muestra aproximada.
- $N_i$  = Población total del estrato.
- $n_i$  = Tamaño de la muestra del estrato.
- $w_i$  = Fracción de observaciones asignadas al estrato  $i$ .
- $N$  = población total.
- $B$  = Error de estimación.
- $D$  = Margen de error.
- $q$  = Complemento de  $p = 1 - q$ .
- $p$  = Variabilidad de la proporción poblacional.

En una situación práctica se desconoce  $p$ . Un tamaño aproximado puede determinarse al reemplazar  $p$ , por un valor estimado. Frecuentemente tal estimación puede ser determinada de estudios anteriores similares. Sin embargo, si no se cuenta con información anterior, se puede substituir  $p = 0.5$  en la ecuación anterior, para obtener un tamaño de muestra conservadora que será mayor que el requerido. También es aconsejable trabajar con un error de estimación del 5%.

Hay muchas maneras para asignar un tamaño de muestra  $n$  a los diversos estratos. Sin embargo en cada caso el número de observaciones  $n_i$  asignado al  $i$ -ésimo estrato es una fracción de la muestra total  $n$ . Denotamos ésta fracción por  $w_i$ . De ello se puede señalar:

$$n_i = nw_i$$

Donde:  $i = 1, 2, 3, \dots, L$ .

## 2.5.2 CÁLCULO DE LA MUESTRA.

Como se mencionó anteriormente el estudio se desarrollará en la zona metropolitana de San Salvador (AMSS), consultando la Dirección General de Estadística y Censo (DIGESTYC) se obtuvo que la cantidad de empresas industriales y comerciales son<sup>2</sup>:

- Empresas industriales 2252.
- Empresas comerciales 6842.

Calculando como fracción de muestra para la industria tenemos:

$$w_1 = \frac{N_1}{N} = \frac{2252}{9094} = 0.25$$

y para el comercio:

$$w_2 = \frac{N_2}{N} = \frac{6842}{9094} = 0.75$$

Calculando el margen de error (D):

$$D = \frac{B^2}{4}, \text{ para } B = 5\% \text{ de error de estimación.}$$

$$D = \frac{(0.05)^2}{4} = 0.000625$$

Ahora se calcula:

$$\sum \frac{N_i^2 p_i q_i}{w_i} = \frac{(2252)^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.25} + \frac{(6842)^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.75}$$

$$\sum \frac{N_i^2 p_i q_i}{w_i} = 20.67582533 \times 10^6$$

<sup>2</sup> Incluye: Micro, mediana y Grande empresa.

$$\sum N_i p_i q_i = (2252 \times 05 \times 05) + (6842 \times 05 \times 05)$$

$$\sum N_i p_i q_i = 2.2735 \times 10^3$$

Sustituyendo estos datos en la ecuación 2.3, se obtiene:

$$n = \frac{20.67582533 \times 10^6}{(9094)^2 \times 0.00065 + 2.2735 \times 10^3} = 369$$

Calculando las proporciones para cada estrato tenemos:

$$n_1 = n w_1 = 369 \times .25 = 92 \text{ muestras.}$$

$$n_2 = n w_2 = 369 \times .75 = 277 \text{ muestras.}$$

Obteniéndose un tamaño de muestras a pasar de:

92 muestras para las empresas industriales.

277 muestras para las empresas comerciales.

## 2.6 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Como parte del diseño metodológico es necesario determinar el método de recolección de datos y tipo de instrumento que se utilizará, para lo que deberán tomarse en cuenta todas las fases anteriores.

A esta etapa deberá dársele la importancia debida pues la elaboración de un buen instrumento determina en gran medida la calidad de la información. Conviene aclarar el significado correcto de método e instrumento.

Se denomina método el medio ó camino a través del cual se establece la relación entre el investigador y el consultado para la recolección de datos y el logro de los objetivos. El instrumento es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información.

Para nuestra investigación el método utilizado fue el de la **ENCUESTA**, el cual consiste en obtener información de los sujetos de estudio para el caso las empresas industriales y comerciales del AMSS, en la cual los datos son proporcionados por ellos mismos. Este método posee dos instrumentos para la recolección de la información, estos son:

- La entrevista.
- El cuestionario.

### **2.6.1 LA ENTREVISTA.**

Este instrumento consiste en la comunicación interpersonal establecida entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema en estudio. Se estima que este es más eficaz, ya que permite obtener una información más completa.

La entrevista se reemplazo por el cuestionario, debido a que presentaba las siguientes dificultades:

- Las empresas se mostraron con poca disponibilidad en permitir la entrada a personas ajenas a las empresas.
- El tiempo que algunas empresas nos proporcionaron no era lo suficiente, para realizar y contestar las preguntas planteadas, debido a lo complejo de algunas de ellas.
- Debido a la gran cantidad de empresas a entrevistar (369), se decidió abortar este mecanismo, ya que se consideró que por el escaso tiempo disponible para el estudio no se cubriría la totalidad de las empresas.

### **2.6.2 EL CUESTIONARIO.**

Aquí se utiliza un formulario impreso, destinado a obtener respuestas sobre el problema en estudio y que el investigador ó consultado llena por sí mismo:

En esta investigación se utilizó este medio, como instrumento para la recolección de datos, ya que la entrevista como se mencionó anteriormente es más eficaz pero requiere muchísimo tiempo y presenta muchos problemas, al contrario el cuestionario el cual su costo es relativamente bajo, su capacidad para proporcionar información sobre un mayor número de empresas en un período bastante breve y la facilidad de obtener, analizar e interpretar los datos. Debido a lo anterior fue la que consideramos en nuestra investigación.

Para obtener estos datos, el cuestionario fue elaborado a partir de puntos que se consideraron generales y se depuró con ayuda del Ing. Ricardo Colorado de la Universidad de El Salvador (UES) y la Ing. Roxana Iraheta de Rauda de la CCIES.

En nuestro trabajo, debido a lo extenso del mismo, con relación a la distribución de las encuestas, se decidió pedir ayuda a la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador (CCIES), ésta entidad nos prestó su colaboración en mandar vía correo todas las encuestas a las empresas comerciales e industriales socias de la CCIES.

El cuestionario consta de 20 preguntas, 7 preguntas de marcar con "X" y las restantes de contestar. Algunas preguntas se diseñaron en forma de cuadro, con el objetivo de utilizar menos espacio y hacerlas ver más fácil de contestar.

El cuestionario que se pasó a las empresas se presenta en el anexo B.

### **2.6.3 EMPRESAS SELECCIONADAS.**

Lamentablemente el porcentaje de encuestas no contestadas fue bastante alto del total de encuestas enviadas tanto para el estrato industrial como comercial, y las justificaciones que se encontró en las empresas que no colaboraron fueron diversas, a continuación se mencionan algunas:

- Las personas encargadas en contestar la encuesta no se encontraba en el país.
- El personal que podía proporcionar la información no disponía de tiempo para tal fin.
- Un gran porcentaje de empresas cuando se les llamaba por teléfono y se les preguntaba por la encuesta, nos decían que ya las habían enviado, siendo esto falso, y cuando se les volvía a llamar nuevamente para que la enviaran nos respondían que se les habían perdido.
- Algunas empresas fueron más sinceras y nos respondieron más directamente, diciendonos que no nos podían colaborar.

Es de hacer mención que algunas de las preguntas enmarcadas en la encuesta no las contestaron adecuadamente ó si la contestaron, de una manera muy vaga, razón por la cual no se tomaron en cuenta para el proceso de análisis.

### **2.7 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

En todo diseño metodológico es necesario incluir una sección denominada procedimiento, el cual se puede definir como la descripción del proceso que se seguirá en la recolección de datos y en las otras etapas de la ejecución del estudio. El objetivo básico es asegurar la validez y confiabilidad del estudio, lo que está determinado no solamente por el diseño del instrumento, si no también por la especificación del proceso que se seguirá en la recolección de datos.

Los elementos que con mayor frecuencia se consideran son: Tiempo, recursos, adiestramiento, coordinación y supervisión. Sin embargo estos elementos varían según el tipo de estudio que se realice; algunos de ellos pueden estar ausentes; por ejemplo, cuando el mismo investigador hace la recolección de datos no es preciso incluir adiestramiento, coordinación y supervisión,

### **2.8 PLAN DE TABULACIÓN Y ANÁLISIS.**

El proceso de tabulación y análisis, si bien es una fase posterior a la recolección de datos, debe ser planificado con anticipación, incluyendo la manera en que se llevará a cabo. El plan de tabulación consiste en determinar que resultados de variables se necesitan a fin de dar respuestas al problema y objetivos planteados.

El plan de tabulación debe especificarse de una manera lógica, secuencial y sistemática. Debe ser precedido por un proceso de análisis y selección de las variables que serán tratadas según el problema y objetivos.

Los análisis, observaciones y recomendaciones serán elaboradas sobre la base de los datos obtenidos, incluyendo desechar respuestas que presenten incongruencias con la mayoría de respuestas.

## 2.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Cuando se quiere realizar una investigación que no se tengan datos completos y además dicha investigación se realice con un número grande de sujetos; es ventajoso estratificar el total de los sujetos, ya que reduce el rango de error y también se reducen los costos en la investigación.
- El hecho de confinar el espacio dentro del cual se desarrolle la investigación en zonas geográficas o conglomerados es otra herramienta de muestreo que facilita el desarrollo, aumentando la precisión y reduciendo los costos de la investigación.
- Para lograr alcanzar todos los objetivos propuestos en el trabajo de investigación es de suma importancia la calidad en el diseño del cuestionario, porque es a partir de éste que se logrará obtener toda la información necesaria.
- Realizar o elaborar un trabajo de investigación, es en realidad una tarea compleja, ya que dependen del procedimiento a seguir para obtener buenos resultados y no así resultados erróneos que en lugar de ayudar a solucionar el problema en cuestión afecta más a dicho trabajo. Por esta razón en este trabajo se investigaron varios diseños metodológicos, llegando a utilizar el presentado en este capítulo por considerarse el mejor, lo cual arroja datos bastantes significativos y a la vez se recomienda a grupos que realicen trabajos similares utilizar esta metodología.
- Un factor muy importante en la ejecución de una investigación es el uso de técnicas de muestreo las cuales nos ayudan a determinar el tamaño de la muestra. En nuestro caso las dos técnicas utilizadas y que eran las más adecuadas a nuestro estudio por su complejidad, son el muestreo aleatorio estratificado y el muestreo irrestricto aleatorio cuyas características y ventajas ayudaron a la determinación de ésta.

# CAPITULO III

## RECOLECCIÓN Y TABULACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

En 1974 en E.U, un estudio de la confiabilidad de equipos eléctricos en plantas industriales e investigaciones posteriores mostraron que el sistema de suministro ( o sistema de distribución de energía eléctrica) es el componente más grande que afecta la confiabilidad de las plantas industriales. Además los usuarios industriales reconocen totalmente que la calidad de la energía eléctrica puede tener un gran impacto en el desenvolvimiento de sus plantas.

Una investigación completa y apropiada del sistema eléctrico (planta y suministro) apuntan que tanto los componentes ó subsistemas tienen una confiabilidad inaceptable. En una planta industrial una falla eléctrica de un sistema consumirá tiempo de producción valioso el cual ocasionará pérdidas considerables y algunas veces posiblemente causará lesiones al personal. Algunas plantas han estado cerradas completamente por eventos tales como fallas en los sistemas de suministro o sistemas de distribución. Estos "cierres" son causados normalmente por inapropiada colocación de dispositivos de protección, contactos de circuit breakers mal colocados, ó relay colocados en sitios inapropiadamente. Lo mencionado anteriormente u otros fenómenos que afectan a los sistemas de suministro o de distribución causarán interrupciones en áreas críticas a menos que fuentes de potencia alternas estén disponibles. Por eso, la confiabilidad de los sistemas de potencia es de suma importancia para el diseño de una planta industrial ó sistemas de distribución.

En este capítulo se procesan todos los datos que fueron obtenidos por medio de las encuestas, en forma de tabla y gráfico, para cada estrato. En un inicio se da una breve reseña de los pasos y procedimiento utilizado para obtener la información en mención, como también el tiempo en llevarse en repartir todas las encuestas. Además se presentan datos de suma importancia para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas como lo son: pérdidas por duración de interrupción (En minutos), duración crítica de la pérdida del servicio, duración del tiempo de reinicio de operaciones (tiempo de restauración) de las empresas, pérdidas por falla, etc. Con relación a las pérdidas en función del tiempo de duración de la interrupción se presentan 3 ecuaciones con el objetivo de utilizar cualesquiera de las ecuaciones que se considere la más adecuada para los propósitos que se persigan, estas ecuaciones son de tipo lineal, potencial y exponencial. Dichas ecuaciones se encontraron con ayuda de EXCEL de Microsoft Office. La información que se mencionó anteriormente y otras que se presentan en este capítulo es de suma importancia para evaluar la calidad del servicio y la confiabilidad de los sistemas de suministro o distribución. Además de evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución, estos datos se pueden utilizar para comparar la historia de las interrupciones con las pérdidas en colonas de la planta y verificar la vulnerabilidad de los procesos industriales, con respecto a esto en este capítulo se determinarán ecuaciones matemáticas que relacionan las pérdidas con la duración de las interrupciones. La capacidad en KW de las plantas y la frecuencia de las interrupciones.

En consecuencia en éste capítulo se exploran aspectos fundamentales para determinar o evaluar los costos de las interrupciones eléctricas, como también la confiabilidad de los sistemas de distribución, haciendo uso de los resultados presentados.

Al final de cada tabla y gráfico se presentan unas breves conclusiones.

### **3.2 BITÁCORA.**

Es importante mencionar que debido a la dificultad que se presentó para el envío, como también a la respuesta por parte de las empresas a que nos contestaran el cuestionario, se buscó un respaldo y ayuda por todo los medios posibles. En un inicio se pidió la colaboración de la Asociación Salvadoreña de Industriales ( ASI ), lamentablemente esta entidad no nos pudo colaborar, por lo que se decidió buscar ayuda de la Cámara de Comercio e Industria de El Salvador ( CCIES ), siendo esta gremial la que nos apoyo desde un inicio para el envío de todas las encuestas a sus agremiados.

El procedimiento de envío de las encuestas se dividió en las siguientes etapas:

✓ Primera etapa.

En esta se enviaron 100 encuestas, a un número igual de empresas previamente seleccionadas con ayuda de la CCIES, esta etapa estuvo comprendida entre el 20 de Julio de 1998 y 30 de Julio de 1998.

✓ Segunda etapa.

Paralelamente al monitoreo de las primeras 100 encuestas enviadas, se enviaron las siguientes 100 encuestas durante el período comprendido entre el 1 de Agosto y 15 de Agosto de 1998.

✓ Tercera etapa.

En esta parte se decidió, con la Ing. Roxana de Rauda de la CCIES, mandar de una sola vez 200 encuestas, 30 más de las determinadas por el cálculo estadístico, previendo que algunas no serian regresadas. Esto se realizó durante el período comprendido entre el 20 de Agosto y 20 de Septiembre de 1998.

✓ Cuarta etapa.

Esta etapa se realizó entre el período comprendido entre el 20 de Septiembre y 19 de Noviembre y consistió en monitorear y recibir las 400 encuesta enviadas. Además viendo que las empresas poco colaboraban se decidió enviar vía fax 60 encuestas más, pero se realizó por medio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES.

### 3.3 TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

#### 3.3.1 ACTIVIDAD DE LAS EMPRESAS.

Ya recibidas las encuestas se procesaron y tabularon, obteniéndose de la primera pregunta, la siguiente estructuración de las empresas encuestadas como sigue:

Tabla 3.1. Porcentaje de empresas según actividad. (%)				
TIPO DE INDUSTRIA.	INDUSTRIA.		COMERCIO.	
	< 50 KW	> 50 KW	< 50 KW	> 50 KW
Plásticos	-	4.34	-	-
Papel	-	4.34	-	-
Bebidas	-	4.34	-	-
Calzado	-	4.34	-	-
Textil	4.34	8.69	-	-
Alimentos y Químicos	4.34	8.69	-	-
Venta de alimentos	-	-	8.69	-
Imprentas	-	-	8.69	-
Enseñanza	-	-	4.34	-
Administradoras de fondos	-	-	8.69	-
Otros	8.69	13.04	4.34	-
Total de empresas (100%)	17.37	47.78	34.75	

Tabla 3.1. Porcentajes de empresas según actividad.

Se observa de la tabla anterior que el 47.78% de empresas que contestaron el cuestionario son empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW. El 34.75% son empresas comerciales con capacidad instalada menor de 50 KW y el resto de empresas (17.37%) industriales con capacidad instalada menor de 50 KW.

### 3.3.2 DATOS FÍSICOS DE LAS EMPRESAS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos, como lo son: Los valores máximo, mínimo y promedio del tamaño de las empresas, cantidad de horas al día trabajadas y números de días en que se usa el edificio de la empresa como también el máximo, mínimo y promedio de la cantidad de empleados de las empresas.

Tabla 3.2. Datos físicos de las empresas industriales.

DATOS FÍSICOS DE LAS EMPRESAS.	INDUSTRIA.							
	< 50 KW				> 50 KW			
	Min	Max	Mediana	Pro <sup>3</sup>	Min	Max	Mediana	Pro
Área (m <sup>2</sup> )	600.00	10880.00	1000.00	4160.00	2900.00	79174.00	8147.11	16212.90
Numero de empleados.	14	40	19	23	47	850	200	344.54
Megawatts-horas mensuales.	1713.66	35677	10200.58	15863.7 4	48369.00	1477922.00	78000.00	358920.72
Máxima demanda <sup>4</sup> (KW)	2.62	49.00	7.20	19.60	109.00	4012.00	345.50	891.60

Tabla 3.2. Datos físicos de las empresas.

Tabla 3.3. Datos físicos de las empresas comerciales.

DATOS FÍSICOS DE LAS EMPRESAS.	COMERCIO.							
	< 50 KW				> 50 KW			
	Min	Max	Mediana	Pro	Min	Max	Mediana	Pro
Área (m <sup>2</sup> )	200.00	1000.00	569.00	642.66	-	-	-	-
Numero de empleados.	7	335	21	80	-	-	-	-
Megawatts-horas mensuales.	2453.00	22822.00	6564.00	8891.33	-	-	-	-
Máxima demanda (KW)	1.4	38.80	7.85	13.19	-	-	-	-

Tabla 3.3. Datos físicos de las empresas comerciales.

<sup>3</sup> Promedio.

<sup>4</sup> En un año de estudio.

### 3.3.3 HORARIO DE OPERACIÓN O TRABAJO DE LAS EMPRESAS.

Uno de los factores que tiene una relación directa con las pérdidas económicas que sufren las empresas industriales y comerciales, es el horario de operación de las empresas.

Esto se debe a que entre más tiempo laboren dichas empresas tienen más probabilidades de sufrir pérdidas por perturbación o interrupciones eléctricas. En la tabla 3.4, se resumen estos resultados.

Tabla 3.4.						
TIPO DE INDUSTRIA.	INDUSTRIA.			COMERCIO.		
	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
HORAS POR DÍA.	NÚMERO DE PLANTAS.					
Menos de 8 horas	-	-	-	-	-	-
8 horas	13.33	-	13.33	25.00	-	25.00
de 9 a 15 horas	6.66	26.66	33.33	62.50	-	62.50
16 horas	-	20.00	20.00	12.50	-	12.50
de 17 a 23 horas	-	-	-	-	-	-
24 horas	6.66	26.66	33.33	-	-	-
DÍAS POR SEMANA.	NÚMERO DE PLANTAS.					
Menos de 5 ½ días	-	-	-	-	-	-
5 ½	-	20.00	20.00	25.00	-	25
6	20.00	20.00	40.00	62.50	-	62.50
7	6.60	33.33	40.00	12.50	-	12.50

Tabla 3.4. Total de días y horas de operación de las empresas.

Esta pregunta la contestaron el 100% de las empresas que devolvieron la encuesta, de las cuales el 65.21% corresponden a empresas industriales y el 34.78% a empresas comerciales.

De la tabla 3.4, podemos observar que el 40.00% de las empresas industriales trabajan 7 días por semana, el 40.00% trabajan 6 días a la semana, el 20% trabajan 5 1/2 días a la semana.

Además en el cuadro mencionado anteriormente se puede ver que el 12.50% de las empresas comerciales trabajan 7 días por semana, el 62.50% trabajan 6 días a la semana, el 25.00% trabajan 5 1/2 días a la semana. Se concluye también de la tabla 3.4, que el 39.13% del total de empresas que contestaron la pregunta ( 53.33% de las empresas industriales y el 12.50% de las empresa comerciales ) trabajan más de 16 horas diarias, el 60.82% del total de empresas ( 46.66% de las empresas industriales y el 87.5% de las empresas comerciales ) trabajan menos de 16 horas.

### 3.3.4 COMPAÑÍAS DISTRIBUIDORAS QUE PROVEEN EL SERVICIO A LAS EMPRESAS.

Para detectar que compañía distribuidora de energía eléctrica, le provee la energía a las empresas encuestadas, se pidió en una de las preguntas que indicaran cuales: CAESS o DELSUR les proveía el servicio. Obteniéndose el siguiente resultado. Como se muestra en el cuadro No.3.

Tabla 3.5. Porcentajes de empresas con respecto a que distribuidora les provee el servicio.				
EMPRESA DISTRIBUIDORA.	INDUSTRIA.		COMERCIO.	
	< 50 KW	> 50 KW	< 50 KW	> 50 KW
CAESS.	13.04	34.78	26.08	-
DELSUR.	4.34	13.04	8.69	-

Tabla 3.5. Porcentajes de empresas con respecto a que distribuidora les provee el servicio.

Como se puede ver en el cuadro anterior, a la mayoría de las empresas encuestadas (73.90%), les provee el servicio eléctrico la Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador (CAESS). Quedando un pequeño porcentaje para la compañía DELSUR. Estos datos combinados con los datos de la tabla 3.42 y 3.43, pueden servir para encontrar la razón de fallas y la duración de fallas de los sistemas de CAESS y DELSUR ( en general ).

Cabe mencionar que estos datos son preliminares y promedios, pero si se desea encontrar las razones de falla y duración de falla con un mayor grado de exactitud se deberá de revisar los registros técnicos de dichas compañías, con el objeto de encontrar dichos índices si se puede de cada ramal o sub ramal de los sistemas, ya que para efectos de la evaluación económica de la confiabilidad se necesita dichos datos, principalmente la razón de fallas del sistema ( frecuencia de interrupciones por año o frecuencia de fallas por año). En el anexo C, se emplea este índice (  $\lambda$  o  $f_s$  ) como ejemplo para evaluar alternativas usando el método requisitos del rédito (RR ).

### 3.3.5 TIPO DE CONEXIONES EN EL BANCO DE TRANSFORMADORES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LAS EMPRESAS.

En algunas situaciones el tipo de conexión del banco de transformadores de alimentación de las empresas, influye negativamente en los equipos o maquinas de dichas empresas, ocasionando fallas a éstos, aumentando así las pérdidas económicas. A continuación en la tabla 3.6, se presenta todos los tipos de conexiones de los bancos de tranformadores existentes en las empresas encuestadas.

Tabla 3.6. Tipo de conexiones en el banco de transformadores de las empresas. Total de empresas (%).				
EMPRESA DISTRIBUIDORA.	INDUSTRIA.		COMERCIO.	
	< 50 KW	> 50 KW	< 50 KW	> 50 KW
Trifasico estrella-estrella 208/120	-	6.66	-	-
Trifasico estrella-delta 240/120	6.66	53.33	-	-
Trifasico delta abierta 240/120	-	-	-	-
Trifasico estrella-estrella 208/120	6.66	-	-	-
Trifasico estrella-delta 22KV/3.3KV	-	13.33	-	-
Monofasico 220/120	6.66	-	100	-

Tabla 3.6. Tipo de conexiones en el banco de transformadores de las empresas.

La tabla 3.6, muestra que la conexión de bancos de transformadores trifasico estrella-delta y servicio monofasico son los más comunes en las empresas que contestaron el cuestionario. Cabe mencionar que el 13.33% de las empresas industriales no contestaron esta pregunta.

Además muestra que la mayoría ( 59.99 %) de empresas industriales con capacidad instalada menor y mayor de 50 KW, tienen conectados su bancos de transformadores en estrella-delta debido a que la mayoría de la carga instalada son motores y aires acondicionados, y en general estos trabajan con alimentación trifasica a 240 voltios.

Las empresas comerciales con capacidad instalada menor de 50 KW, tienen servicio monofasico, representando el 100 % del total de empresas comerciales que contestaron el cuestionario

Una hipótesis que todavía no está comprobada en un 100% es que la conexión de transformadores más delicada y que puede causar fallas en los equipos eléctricos y electrónicos es la trifasica estrella-delta, ya que si el neutro de lado del alto voltaje se aterriza, puede causar o experimentar lo siguiente [1]:

- Circulación de corrientes en la delta en un intento de balancear cualquier desbalance de fase a neutro en las cargas de la línea primaria.
- Circulación de corrientes de tercer armónico perjudiciales a aparatos electrónicos.

Estos efectos pueden ocasionar que estas corrientes se sumen a la normal y se produzcan disturbios en el sistema ocasionando como ya se mencionó antes fallas en los equipos eléctricos y electrónicos. Para evitar estos efectos las empresas deben de considerarlos y colocar en el sistema protecciones adecuadas para evitar tales fallas, que aumentan considerablemente las pérdidas.

### 3.3.6 CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS EMPRESAS.

Unos de los principales factores que influye en el aumento de las interrupciones, además de las condiciones atmosféricas es la demanda [2] de energía. Esta se analiza a continuación.

Cabe señalar que para el diseño de nuevas líneas de distribución se debe hacer un estudio de carga, máxima demanda, etc. En la tabla 3.2 y 3.3 anteriores se resumen los resultados obtenidos por medio de la pregunta No. 5, los cuales se usarán para graficar con ayuda de las preguntas del cuestionario No. 2, 4 y 5, las siguientes relaciones [3] :

- Area construida Vrs. Máxima Demanda<sup>5</sup>.
- Area construida Vrs. KWH mensuales consumidos.
- Número de empleados Vrs. Máxima Demanda.
- Número de empleados Vrs KWH mensuales consumidos.

Una vez graficada estas relaciones ( Ver anexo D ) se encontrarán funciones matemáticas con el objeto de poderlas en un momento dado utilizarlas para propósitos de diseño.

Aunque no se observa en las tablas 3.2 y 3.3, la mayoría de empresas que contestaron esta pregunta, su mayor consumo se da en los meses de Noviembre y Diciembre pero principalmente en diciembre, es lógico suponer que en estos meses posiblemente se da también la máxima demanda. Este resultado se puede deber a que en estos meses tanto las empresas industriales y comerciales trabajan mayor tiempo debido a la gran demanda de productos que se presentan en esta época debido a las fiestas de Navidad y fin de año. De acuerdo a esto los diseñadores de los sistemas tienen que realizar estudios de carga y máxima demanda en estos períodos, con el objetivo de considerar en sus diseños estas crestas de consumo y demanda, para evitar problemas posteriores y poder hacer una mejor proyección futurista del sistema.

---

<sup>5</sup> Máxima demanda es sinónimo de carga instalada.

### 3.3.7 COSTOS Vrs DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES.

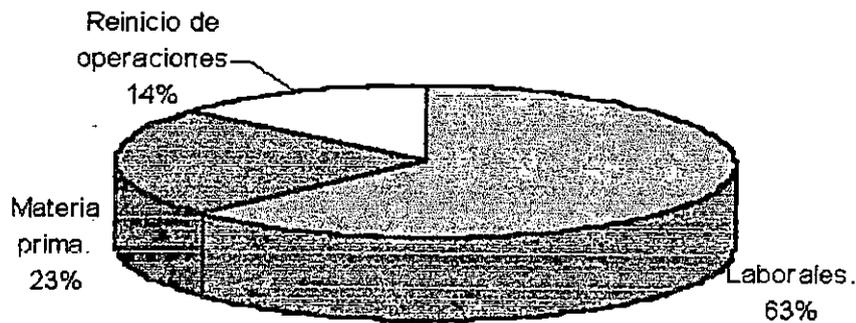
El conocimiento de los costos ó pérdidas debidas a interrupciones del servicio de energía, es vital para el diseño de sistemas de distribución tanto para plantas industriales y comerciales. A continuación se presentan los resultados obtenidos por medio de la pregunta No.7, cuando estas empresas no trabajan con planta de emergencia y cuando a pesar que trabajan con planta de emergencia, éstas tienen pérdidas ( Pregunta No.10 ). Debe notarse que en algunas tablas que se presentan a continuación los valores mínimos, máximos, mediana y promedio son iguales, esto se debe a que las pocas empresas que contestaron esta pregunta solo mencionaron pérdidas para un período solicitado o dos, diferentes a los reportados por las otras empresas. Además se nota que en algunas ocasiones las pérdidas son mayores para períodos de duración de la interrupción menores que otros, la razón de estos resultados es que para estos períodos mayores fueron pocas las empresas que contestaron por lo que no se pudo combinar con otros valores.

Tabla 3.7. Costos Vrs, Duración de las interrupciones.									
Duración de las Interrupciones ( En Minutos )	COSTOS O PÉRDIDAS ( En colones )								
	INDUSTRIA.								
	< 50 KW				> 50 KW				
	Min	Max	Mediana	Pro <sup>6</sup>	Min	Max	Mediana	Pro	
1 Minuto	350.00	350.00	350.00	350.00	16.60	60000.00	375.00	12272.79	
15 Minutos	3000.00	3000.00	3000.00	3000.00	249.00	60000.00	2410.00	15461.80	
30 Minutos	17000.00	17000.00	17000.00	17000.00	498.00	25000.00	5710.00	9229.50	
60 Minutos	950.00	950.00	950.00	950.00	996.00	50000.00	12543.50	19020.75	
120 Minutos	35000.00	35000.00	35000.00	35000.00	-	-	-	-	
240 Minutos	-	-	-	-	24097.00	24097.00	24097.00	24097.00	
360 Minutos	-	-	-	-	5643.00	5643.00	5643.00	5643.00	
480 Minutos	-	-	-	-	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	
Total de empresas	100 %	62.5%				45.5%			

Tabla 3.7. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas industriales.

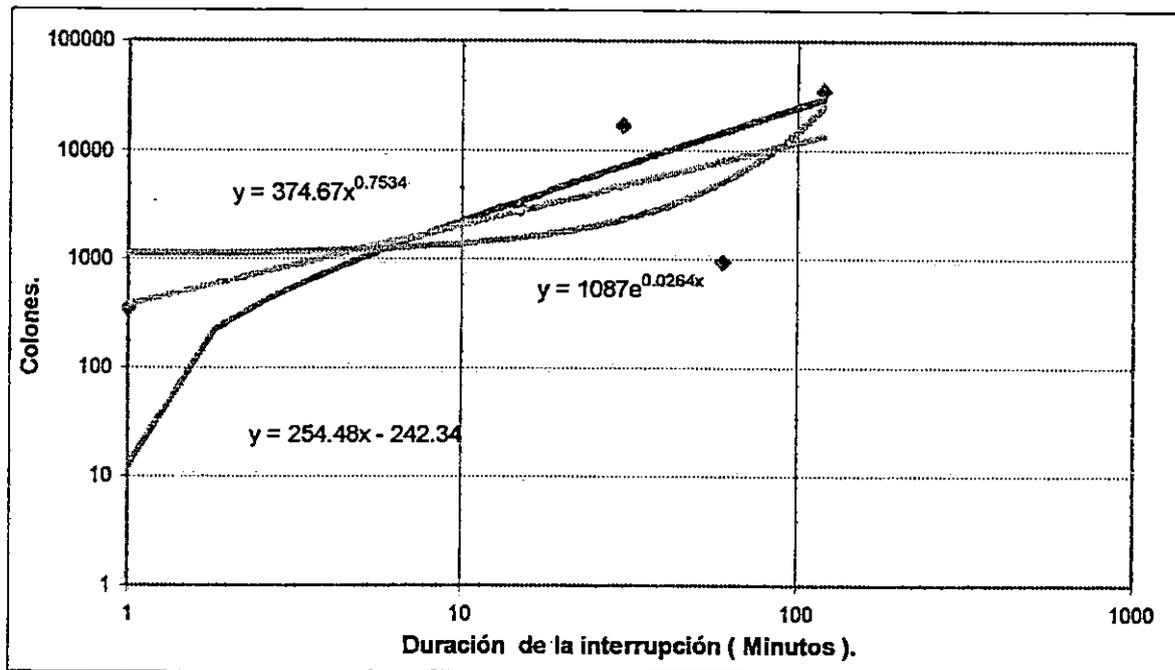
<sup>6</sup> Promedio.

El 45.5% y el 62.5% de las empresas industriales con capacidad instalada mayor y menor de 50 KW respectivamente, reportaron pérdidas debido a interrupciones eléctricas para los periodos que se muestran en la tabla 3.7. Además se presentan los valores mínimos, máximo, mediana y promedio de las pérdidas para cada periodo con el objetivo de que se tenga una mejor visión de los resultados. En el siguiente gráfico se muestra en porcentaje donde las empresas son más sensibles a interrupciones del servicio eléctrico, en base a los resultados obtenidos.

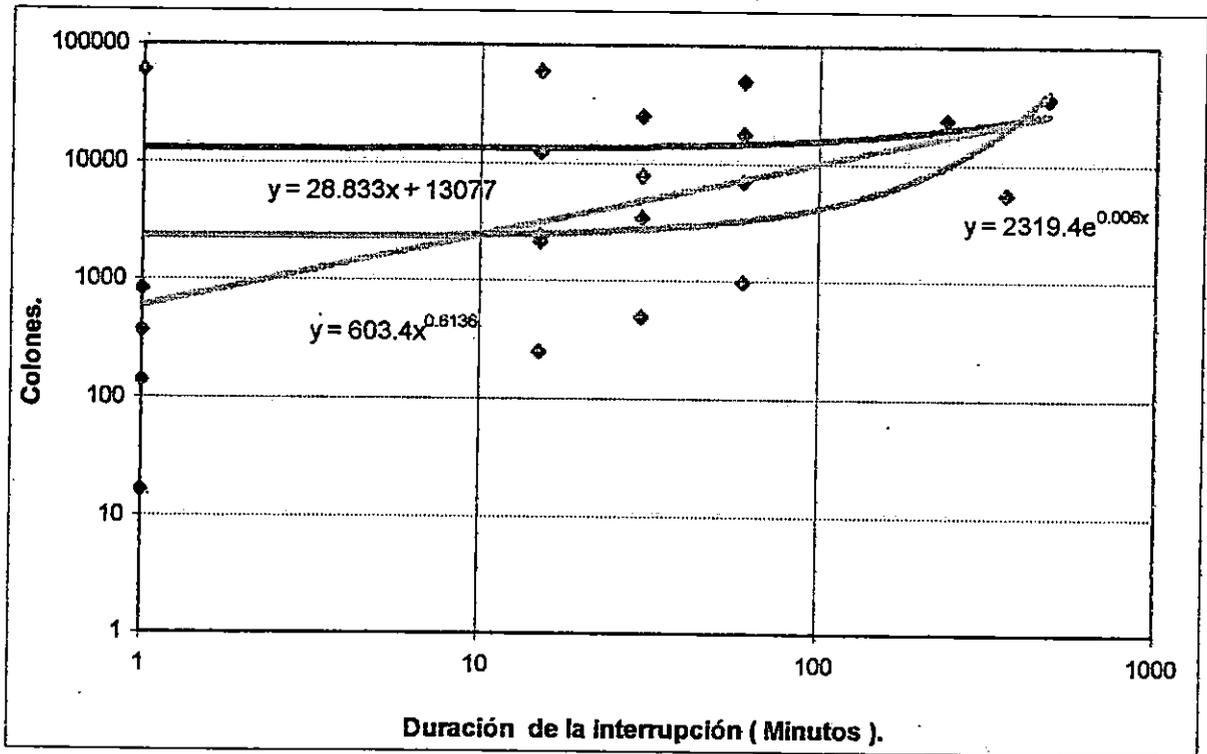


Gráfica 3. 1. Areas más sensibles por pérdidas, de las empresas industriales.

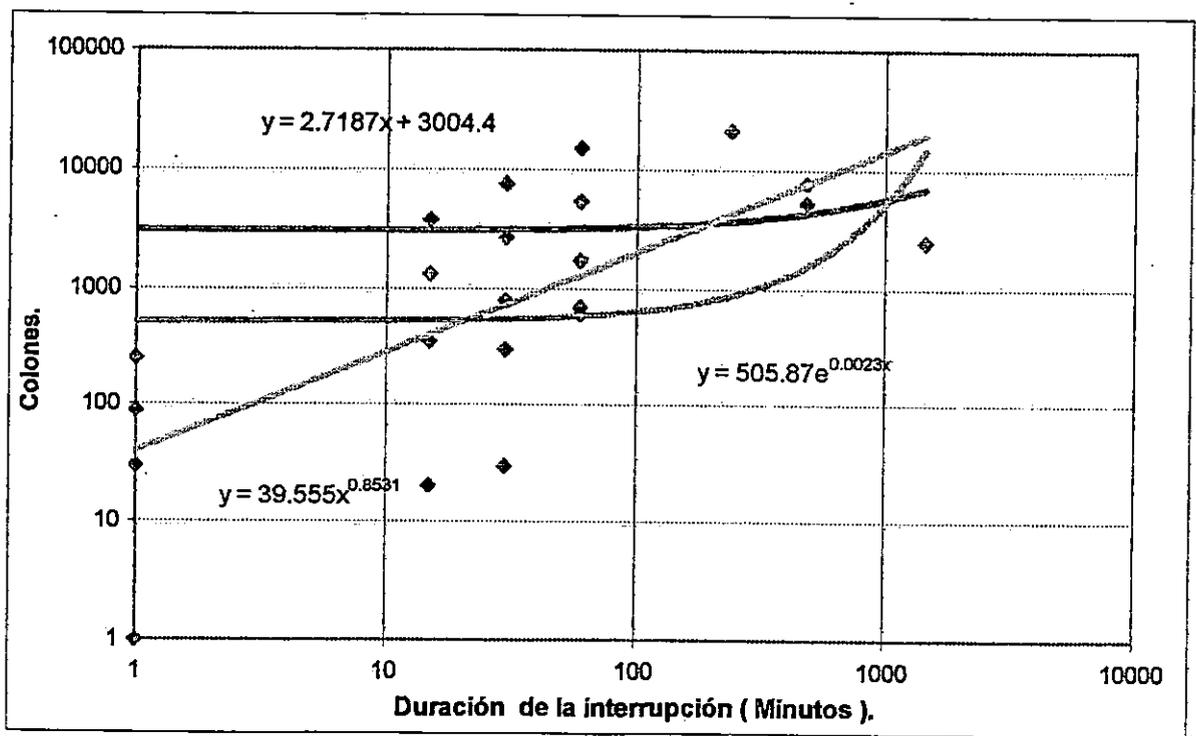
Como se observa el gráfico 3.1, el 63% de las pérdidas por interrupción del servicio eléctrico son laborales, el 23% son por reinicio de operaciones y el 14% son por pérdidas de materia prima y producto.



Gráfica 3.2. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones ( Industrial < 50 KW ).



Gráfica 3.3. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones ( Industrial > 50 KW ).



Gráfica 3.4. Pérdidas vrs. Duración de las interrupciones ( Comercial < 50 KW ).

Tabla 3.8. Pérdidas Vrs. Duración de las interrupciones.									
Duración de las interrupciones ( En Minutos )	COSTOS O PÉRDIDAS: ( En colones )								
	COMERCIO.								
	< 50 KW				> 50 KW				
	Min	Max	Mediana	Pro <sup>7</sup>	Min	Max	Mediana	pro	
1 Minuto	1.00	250.00	59.34	92.42	-	-	-	-	
15 Minutos	20.00	3750.00	840.03	1362.51	-	-	-	-	
30 Minutos	30.00	7500.00	800.00	2257.82	-	-	-	-	
60 Minutos	599.00	15000.00	1200.00	4003.20	-	-	-	-	
120 Minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	
240 Minutos	21280.80	21220.80	21220.80	21220.80	-	-	-	-	
480 Minutos	4732.00	5200.00	4966.00	4966.00	-	-	-	-	
1140 Minutos	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	-	-	-	-	
Total de empresas	100 %	87.5%				0%			

Tabla 3.8. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas comerciales.

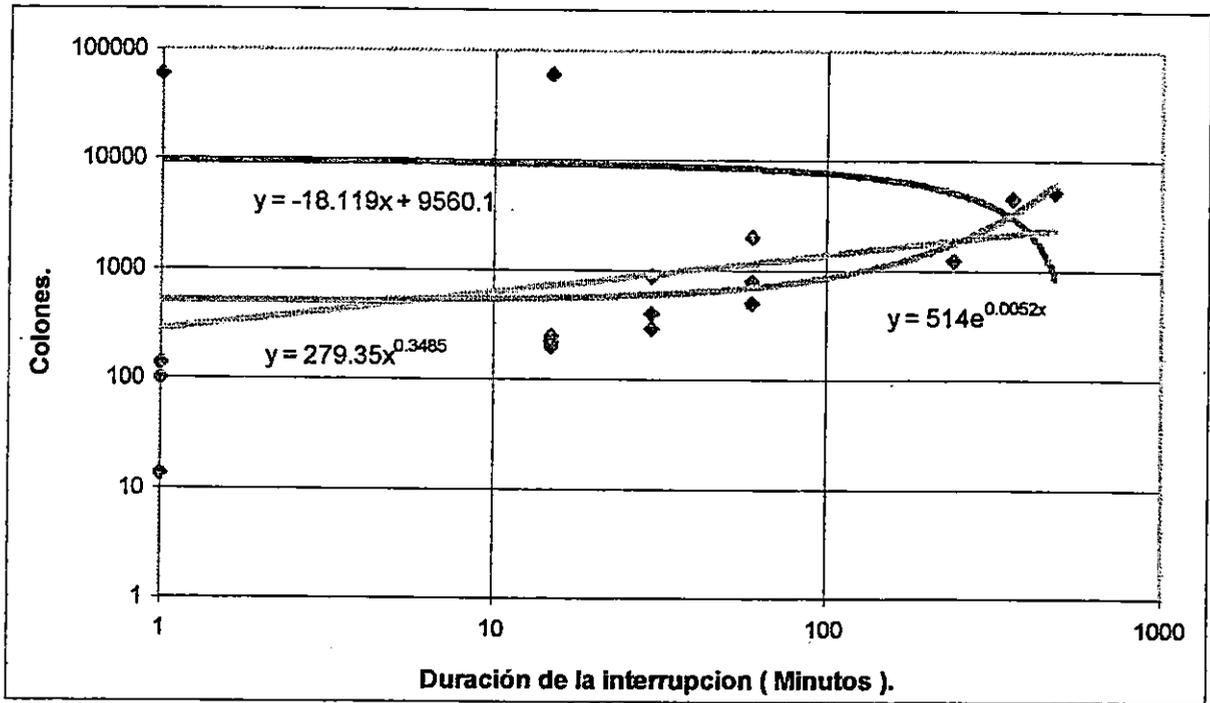
El 87.5% del 100% de las empresas comerciales que contestaron el cuestionario reportaron pérdidas por interrupción, estos resultados se presentan en la tabla anterior.

Un punto de suma importancia es que aún trabajando con planta de emergencia, un gran porcentaje de empresas siguen teniendo pérdidas económicas. En la tabla 3.10 se detallan en cuanto ascienden estas pérdidas para los periodos detallados. Cabe mencionar que solamente el 36.36% de las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW reportaron que experimentaban pérdidas económicas a pesar que tienen planta de emergencia. El 100% de las empresas industriales menores de 50 KW no reportaron pérdidas por diferentes motivos; el 80% no contestaron esta pregunta y el restante 20% respondieron que no tienen pérdidas. Al igual que las empresas industriales menor de 50 KW, las empresas comerciales con capacidad instalada menor de 50 KW no reportaron pérdidas cuando se trabaja con planta, el 37.5 % no tienen perdidas y el 62.5% no contestaron la pregunta en cuestión.

<sup>7</sup> Promedio.

No se reportan pérdidas para las empresas comerciales con capacidad instalada mayor de 50 KW porque no se recibió ninguna encuesta de este estrato.

En la gráfica 3.5, se presentan la tendencia de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW, trabajando con planta.



Gráfica 3.5. Pérdidas Vrs. Duración de la interrupción, trabajando con planta de emergencia. ( Industrial > 50 Kw ).

Tipo de empresas	Ec. Lineal.	Ec. Potencial.	Ec. Exponencial.
Trabajando sin planta.			
Industria < 50 KW.	$y=254.48x-242.34$	$Y=374.67x^{0.7534}$	$y=10873e^{0.026x}$
Industria > 50 KW.	$y=28.833x+13077$	$y=603.4x^{0.6138}$	$y=2319.4e^{0.006x}$
Comercio < 50 KW.	$y=2.7187x+3004.4$	$Y=39.555x^{0.8531}$	$y=505.87e^{0.0023x}$
Comercio > 50 KW.	-	-	-
Trabajando con planta.			
Industria > 50 KW.	$y=-18.119x+9560.1$	$Y=279.35x^{0.3485}$	$y=514e^{0.0052x}$

Tabla 3.9. Resumen de ecuaciones de pérdidas por duración de la interrupción para todos los estratos.

Las ecuaciones anteriores se pueden utilizar para encontrar las pérdidas en colones de cualquier empresa, para una determinada duración de interrupción. Solamente es necesario sustituir el valor de la duración de la interrupción en minutos en cualquier ecuación considerando en que estrato está la empresa, según nuestra clasificación. (  $x$ : es el tiempo de duración de la interrupción en minutos y  $y$  es la pérdida en colones ).

Tabla 3.10. Pérdidas por duración de las interrupción. ( Trabajando con planta.)								
Duración de las interrupciones ( En Minutos )		COSTOS O PÉRDIDAS. ( En colones )						
		INDUSTRIA.						
		< 50 KW				> 50 KW		
		Min	Max	Mediana	pro <sup>8</sup>	Min	Max	Mediana
1 Minuto	-	-	-	-	13.33	60000.00	119.50	15063.09
15 Minutos	-	-	-	-	200.00	60000.00	237.50	15168.75
30 Minutos	-	-	-	-	295.00	900.00	400.00	531.66
60 Minutos	-	-	-	-	500.00	2000.00	800.00	1100.00
120 Minutos	-	-	-	-	-	-	-	-
240 Minutos	-	-	-	-	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00
360 Minutos	-	-	-	-	4528.00	4528.00	4528.00	4528.00
480 Minutos	-	-	-	-	5300.00	5300.00	5300.00	5300.00
Total de empresas	100 %					26.66%		

Tabla 3.10. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y promedio de las pérdidas en función de la duración de la interrupción para empresas industriales. ( Trabajando con planta).

El 36.36% de las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW tienen pérdidas económicas a pesar que tienen planta de emergencia, esto se debe a que por lo general dichas plantas no alimentan de energía a ciertos sectores de la empresa.

Un aspecto muy importante señalar es que las pérdidas que reportaron estas empresas se deben a: laborales, algunas materias primas y gastos de operación de la planta.

<sup>8</sup> Promedio.

### 3.3.8 DETERMINACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS DE LAS PÉRDIDAS EN FUNCIÓN DE DATOS GENERALES DE LAS EMPRESAS.

En algunas ocasiones por razones de diseño puede ser importante encontrar relaciones matemáticas que relacionen las pérdidas de las empresas, capacidad instalada y consumo en KWH con parámetros generales de las empresas como lo son: número de empleados, área construida, etc. .

#### 3.3.8.1 PÉRDIDAS/ EMPLEADOS/ HORAS VRS. DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES.

Los resultados que se presentan a continuación son obtenidos de las tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.9 y 3.10, y se resumen en la siguientes tablas.

Tabla 3.11				
Tipo de empresas	Industrial < 50 KW			
Duración de la interrupción.	Costos/empleados/hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	186.66	186.66	186.66	186.66
15 Minutos	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
30 Minutos	9066.66	9066.66	9066.66	9066.66
60 Minutos	350.11	350.11	350.11	350.11
120 Minutos	21000.00	21000.00	21000.00	21000.00

Tabla 3.11. Costos/empleados/hora para las empresas industriales < 50 KW.

Con los resultados presentados en esta tabla y haciendo uso del método de correlación de Mínimos Cuadrados, se pueden encontrar relaciones matemáticas que involucren a estas variables.

Queda a criterio que variable, mediana o promedio de los costos/empleados/hora tomar para graficarla contra la duración de la interrupción y así poder encontrar con el método mencionado anteriormente una ecuación matemática que pueda generalizar estos resultados. A continuación se presentan los resultados obtenidos para industria con capacidad instalada mayor de 50 KW y comercio menor de 50 KW.

Tabla 3.12				
Tipo de empresas	Industrial > 50 KW			
Duración de la interrupción.	Costos/empleados/hora. ( Colones )			
	Mín.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	2.31	1825.09	26.76	413.84
15 Minutos	35.25	3191.49	171.63	1051.86
30 Minutos	58.33	6382.97	317.27	1768.96
60 Minutos	118.12	12765.95	711.46	3576.75
120 Minutos	-	-	-	-
240 Minutos	401.61	401.61	401.61	401.61
360 Minutos	799.00	799.00	799.00	799.00
480 Minutos	2635.01	2635.01	2635.01	2635.01

Tabla 3.12 Costos/empleados/hora para las empresas industriales > 50 KW.

Tabla 3.13				
Tipo de empresas	Industria > 50 KW. ( trabajando con planta )			
Duración de la interrupción.	Costos/empleados/hora. ( Colones )			
	Mín.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	1.88	1825.09	4.72	459.10
15 Minutos	3.75	1825.09	23.06	468.74
30 Minutos	4.91	64.09	56.63	41.88
60 Minutos	8.33	142.43	113.27	88.01
120 Minutos	-	-	-	-
240 Minutos	20.83	20.83	20.83	20.83
360 Minutos	641.13	641.13	641.13	641.13
480 Minutos	377.45	377.45	377.45	377.45

Tabla 3.13. Costos/empleados/hora para las empresas industriales > 50 KW. ( Trabajando con planta ).

Tabla 3.14				
Tipo de empresas	Comercio < 50 KW.			
Duración de la interrupción.	Costos/empleados/hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	0.06	95.24	10.99	29.31
15 Minutos	1.28	1428.57	134.78	424.85
30 Minutos	19.14	2857.14	119.11	700.08
60 Minutos	38.34	5714.28	435.25	1313.56
240 Minutos	5313.28	5313.28	5313.28	5313.28
480 Minutos	302.85	302.85	302.85	302.85
1140 Minutos	3928.57	3928.57	3928.57	3928.57

Tabla 3.14. Costos/empleados/hora para las empresas comerciales < 50 KW.

Si se compara la mediana y el promedio para cada tiempo de duración de la interrupción de las tablas 3.11, 3.12 y 3.14 se puede observar que las empresas comerciales con capacidad instalada menor de 50 KW son las que tienen menores pérdidas por empleado/hora y las empresas que tienen mayores pérdidas por empleado/hora son las industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW. Estos resultados son lógicos ya que las empresas industriales > 50 KW son las que tienen mayores pérdidas y además un mayor número de empleados como también horas de trabajo por lo que la relación empleados/hora, se mantiene en un valor promedio cercano a las de las empresas industriales y comerciales < de 50 KW.

Es importante señalar que los valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas/empleado/hora para las empresas < de 50 KW de carga instalada son iguales porque estas empresas por lo general reportaron pérdidas para diferentes períodos que no fueron comunes entre si, por ejemplo una empresa reportó pérdidas para el período de 1 hora y otra no reportó para este período pero si para 2 horas. Cabe mencionar que el 75% de estas empresas contestaron esta pregunta.

### 3.3.8.2 PÉRDIDAS/ÁREA CONSTRUIDA DE LA EMPRESA/HORA VRS. DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES.

Al igual que la sección anterior los datos tabulados en la siguiente tabla, se obtuvieron de las tablas antes mencionadas del capítulo 3.

Tabla 3.15				
Tipo de empresas	Industria < 50 KW			
Duración de la interrupción.	Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	2800.00	2800.00	2800.00	2800.00
15 Minutos	24000.00	24000.00	24000.00	24000.00
30 Minutos	136000.00	136000.00	136000.00	136000.00
60 Minutos	56000.00	56000.00	56000.00	56000.00
120 Minutos	77777.77	77777.77	77777.77	77777.77

Tabla 3.15. Costos/1000 m<sup>2</sup> /hora para las empresas industriales < 50 KW.

Tabla 3.16				
Tipo de empresas	Industria > 50 KW			
Duración de la interrupción.	Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	19.47	18187.78	999.99	4262.13
15 Minutos	292.18	18187.78	12306.24	9741.00
30 Minutos	584.32	40442.54	17375.78	18944.61
60 Minutos	1168.75	91914.72	34810.60	40676.17
120 Minutos	-	-	-	-
240 Minutos	32713.80	32713.80	32713.80	32713.80
360 Minutos	6621.76	6621.76	6621.76	6621.76
480 Minutos	188936.16	188936.16	188936.16	188936.16

Tabla 3.16. Costos/1000 m<sup>2</sup> /hora para las empresas industriales > 50 KW.

Tabla 3.17				
Tipo de empresas	Industria > 50 KW. ( Trabajando con planta ).			
Duración de la interrupción.	Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	15.52	18187.78	355.58	4728.62
15 Minutos	234.56	18187.78	791.33	5001.25
30 Minutos	402.10	4588.32	469.28	1819.90
60 Minutos	681.50	10212.72	938.72	3944.31
240 Minutos	1703.60	1703.60	1703.60	1703.60
360 Minutos	5313.28	5313.28	5313.28	5313.28
480 Minutos	27063.60	27063.60	27063.60	27063.60

Tabla 3.17. Costos/1000 m<sup>2</sup> /hora para las empresas industriales > 50 KW. ( Trabajando con planta ).

Tabla 3.18				
Tipo de empresas	Comercio < 50 KW.			
Duración de la interrupción.	Costos/1000 m <sup>2</sup> /hora. ( Colones )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	8.00	3134.79	982.69	1277.04
15 Minutos	160.00	47021.94	13540.24	18565.60
30 Minutos	666.66	94043.88	19200.00	30732.69
60 Minutos	4792.00	188087.77	48400.00	63326.20
240 Minutos	298887.64	298887.64	298887.64	298887.64
480 Minutos	37856.00	416000.00	226928.00	226928.00
1140 Minutos	15000.00	15000.00	15000.00	15000.00

Tabla 3.18. Costos/1000 m<sup>2</sup> /hora para las empresas comerciales < 50 KW.

### 3.3.8.3 PÉRDIDAS/KWH VRS. DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN.

Una de las relaciones más importantes es la razón de pérdidas/KWH de energía no entregada en función de la duración del tiempo de duración de la interrupción. Más adelante en este capítulo encontraremos relaciones matemáticas de esta razón en función de la duración de la interrupción. Por el momento en la siguiente tabla se presentan los valores mínimos, máximos, mediana y promedio de esta razón para los períodos mostrados.

Tabla 3.19				
Tipo de empresas	Industria < 50 KW.			
Duración de la interrupción.	Costos/KWH. ( Colones/KWH )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	7.14	7.14	7.14	7.14
15 Minutos	61.22	61.22	61.22	61.22
30 Minutos	346.94	346.94	346.94	346.94
60 Minutos	362.60	362.60	362.60	362.60
120 Minutos	2450.98	2450.98	2450.98	2450.98

Tabla 3.19. Costos/KWH para las empresas industriales < 50 KW.

Tabla 3.20				
Tipo de empresas	Industria > 50 KW.			
Duración de la interrupción.	Costos/KWH. ( Colones/KWH )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	0.0003	0.0406	0.0048	0.0117
15 Minutos	0.0043	0.1603	0.0357	0.0543
30 Minutos	0.0085	0.3205	0.0792	0.1219
60 Minutos	0.0171	0.6410	0.1729	0.2510
240 Minutos	0.4003	0.4003	0.4003	0.4003
360 Minutos	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966
480 Minutos	0.4686	0.4686	0.4686	0.4686

Tabla 3.20. Costos/KWH para las empresas industriales > 50 KW.

Tabla 3.21				
Tipo de empresas	Industria > 50 KW. ( Trabajando con planta ).			
Duración de la interrupción.	Costos/KWH. ( Colones/KWH )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	0.0002	0.4060	0.0018	0.1024
15 Minutos	0.0032	0.4060	0.0036	0.1041
30 Minutos	0.0048	0.1140	0.0069	0.0419
60 Minutos	0.0082	0.0253	0.0137	0.157
240 Minutos	0.0205	0.0205	0.0205	0.0205
360 Minutos	0.0775	0.0775	0.0775	0.0775
480 Minutos	0.0671	0.0671	0.0671	0.0671

Tabla 3.21. Costos/KWH para las empresas industriales > 50 KW. ( Trabajando con planta ).

Tabla 3.22				
Tipo de empresas	Comercio < 50 KW.			
Duración de la interrupción.	Costos/KWH. ( Colones/KWH )			
	Min.	Max.	Mediana.	Promedio.
1 Minuto	0.0002	0.1019	0.0072	0.291
15 Minutos	0.0049	1.5287	0.0902	0.4285
30 Minutos	0.0037	3.0600	0.1166	0.7060
60 Minutos	0.0856	6.1150	0.1897	1.2190
240 Minutos	0.9324	0.9324	0.9324	0.9324
480 Minutos	1.0501	1.1564	1.1032	1.1032
480 Minutos	2.8637	2.8637	2.8637	2.8637

Tabla 3.22. Costos/KWH para las empresas comerciales < 50 KW.

### **3.3.9 EVALUACIONES ECONÓMICAS DE LAS PÉRDIDAS DEL USUARIO DEBIDO A INTERRUPCIONES.**

Los resultados que aquí se presentan son obtenidos de las preguntas del cuestionario No.4, 5, 7 y 10. Es importante mencionar que uno de los primeros estudios comprensivos de las pérdidas del consumidor debido a interrupciones fue elaborado en Suecia en 1969. Su procedimiento básico fue primero en clasificar a los consumidores en las categorías siguientes:

- ✓ Consumidores industriales.
- ✓ Consumidores comerciales.
- ✓ Consumidores agrícolas.
- ✓ Consumidores domésticos o residenciales.

Las estimaciones de los costos debido a las interrupciones fueron obtenidas por interrogatorio directo para las categorías mencionadas anteriormente. Un similar método fue utilizado por la IEEE en 1973 para estimar los costos de las interrupciones del suministro eléctrico en plantas industriales.

La mayoría de los estudios publicados hasta la fecha se han dirigido a evaluar las pérdidas en plantas industriales debido a interrupciones, es por esa razón que en algunos países principalmente en los EUA se están realizando estudios similares para otros estratos no menos importantes, pero cabe señalar que algunos están todavía en planificación o en proceso de ser terminados.

#### **3.3.9.1 ESTIMACIONES DE LAS PÉRDIDAS QUE SUFREN LOS USUARIOS INDUSTRIALES DEBIDO A INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS.**

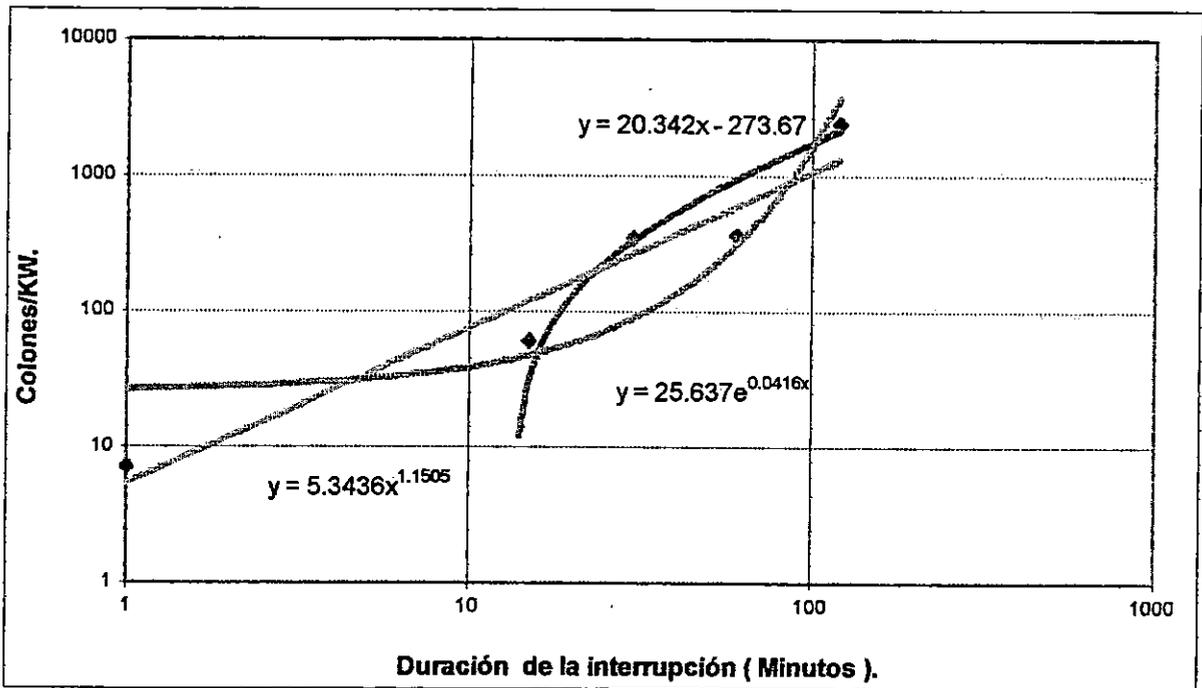
Las unidades de cálculo básicos de los costos son:

- ✓ Colones/KW y
- ✓ Colones/ KWH.

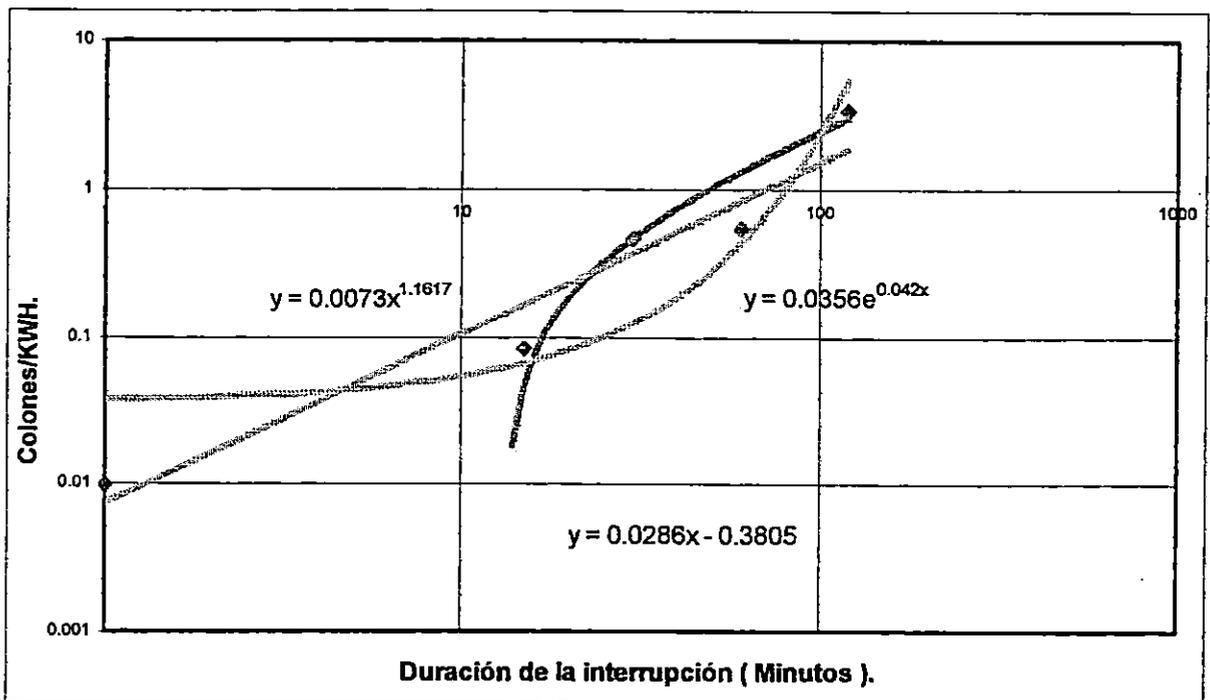
Y son relacionadas a la frecuencia de interrupciones y a la duración de las interrupciones respectivamente.

A continuación se presenta los resultados obtenidos para los estratos siguientes:

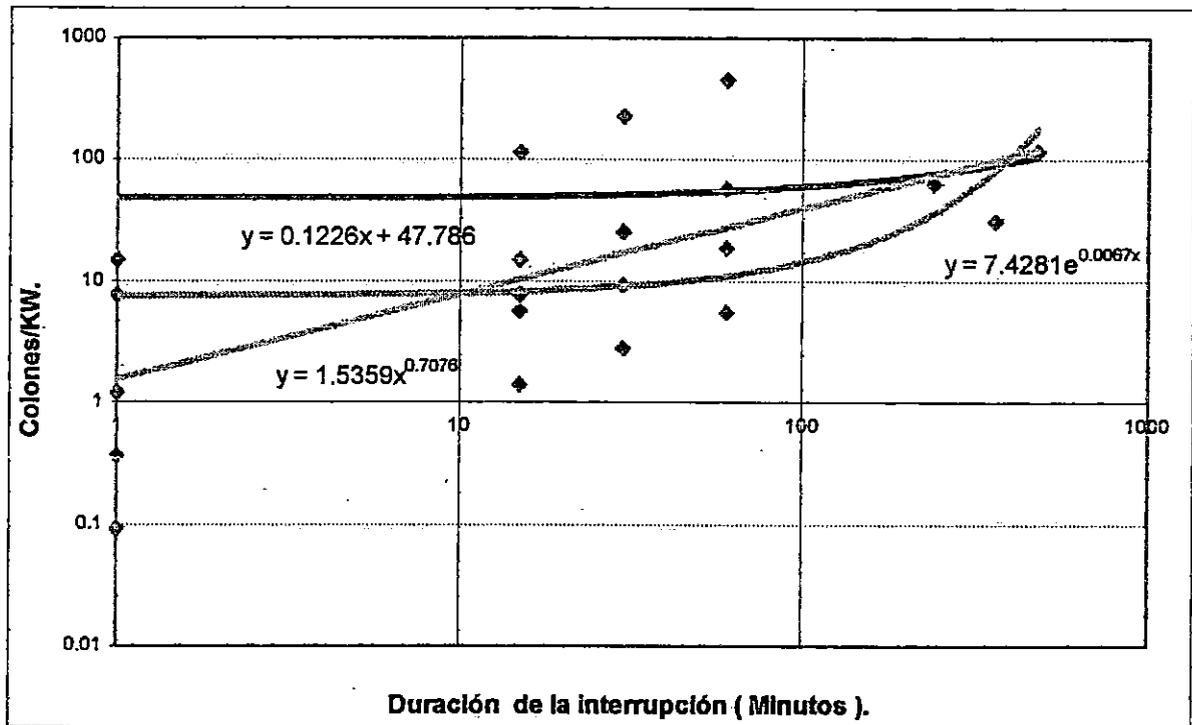
- ✓ Plantas industriales con capacidad instalada menor de 50 KW.
- ✓ Plantas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW.



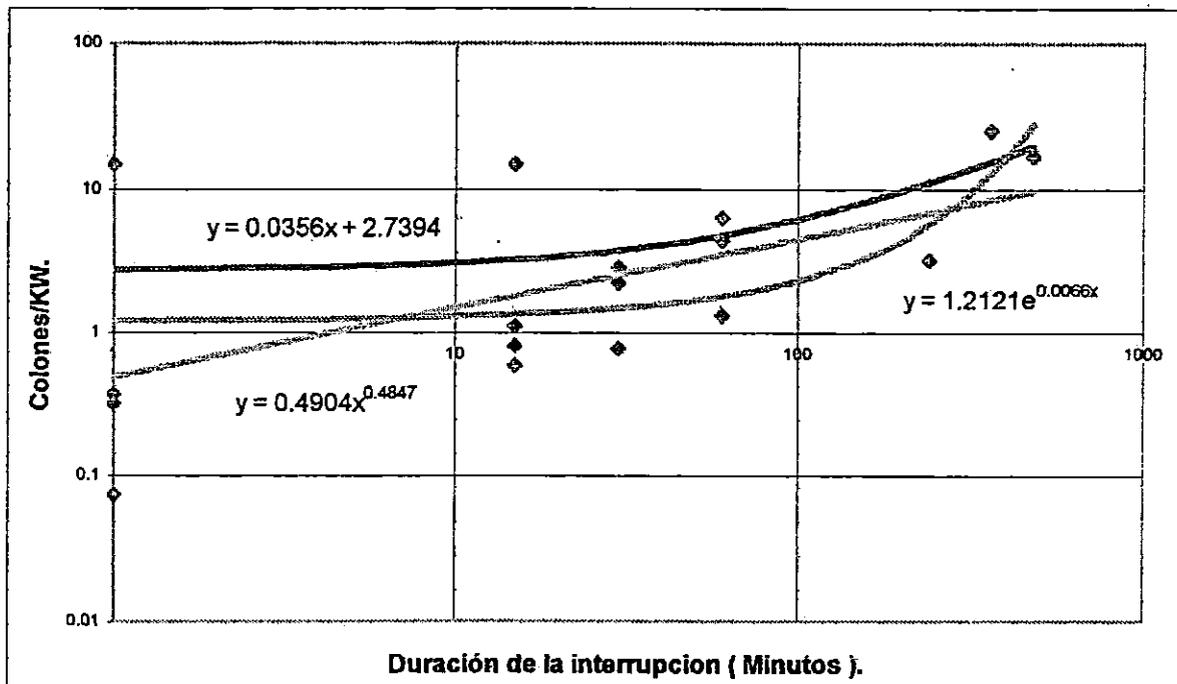
Gráfica 3.6. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Industrial < 50 KW).



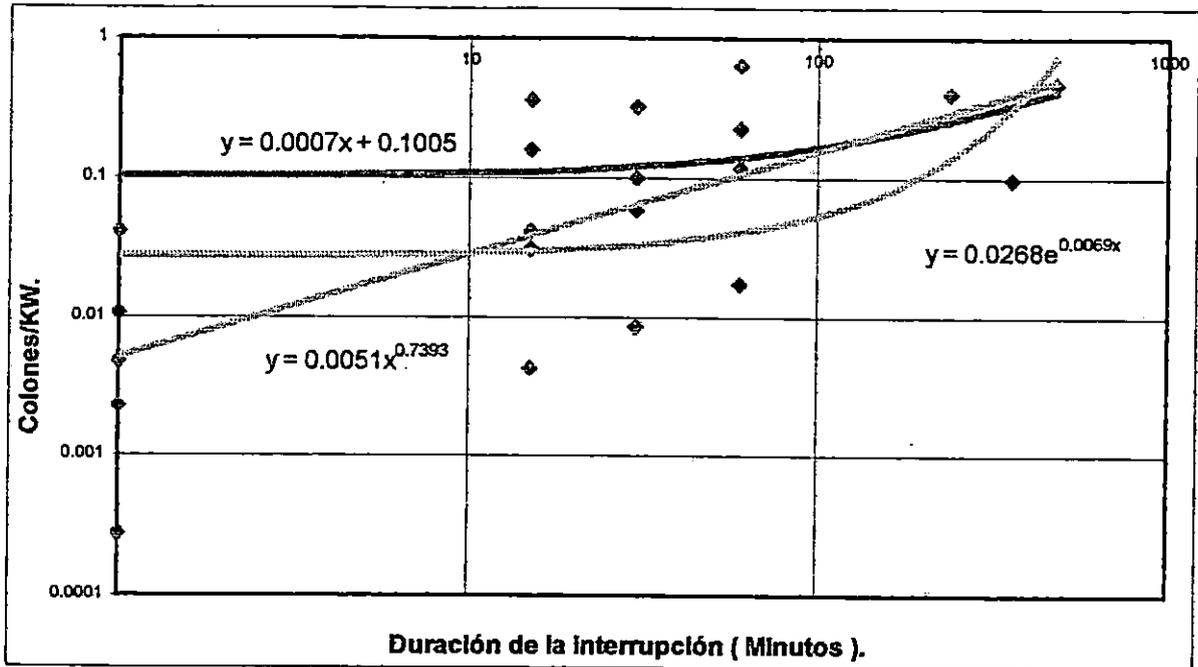
Gráfica 3.7. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Industrial < 50 KW).



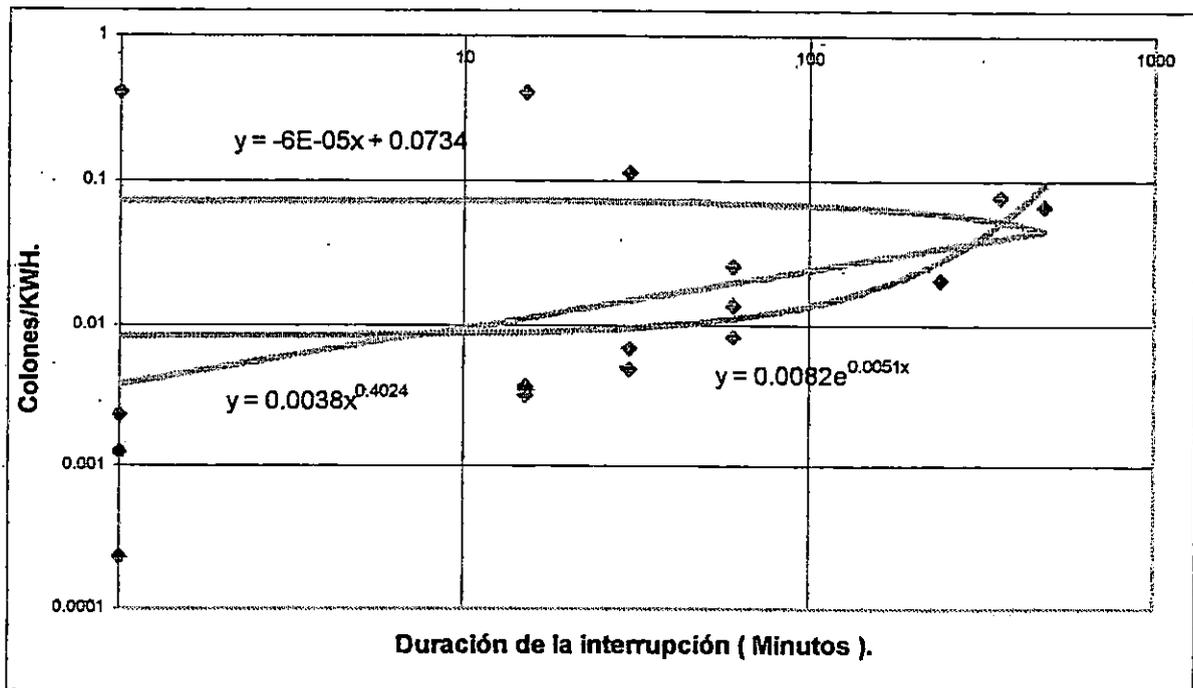
Gráfica 3.8. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Industrial > 50 KW).



Gráfica 3.9. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Industrial > 50 KW).



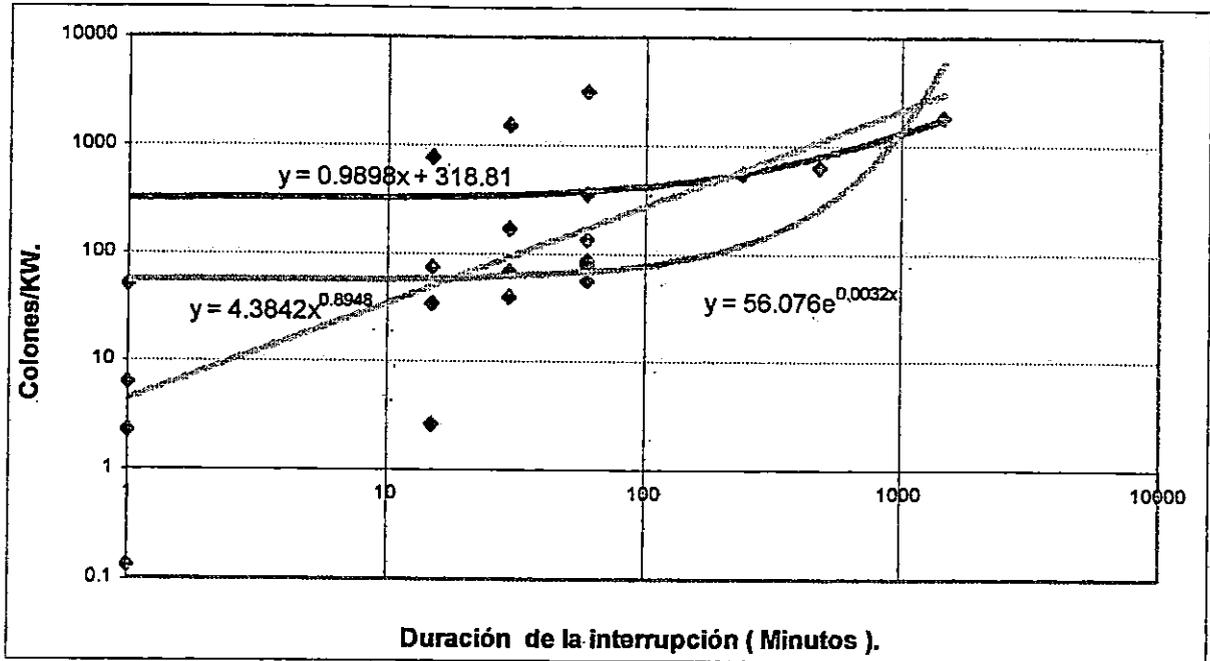
Gráfica 3.10. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción.  
( Industrial > 50 KW, trabajando con planta de emergencia).



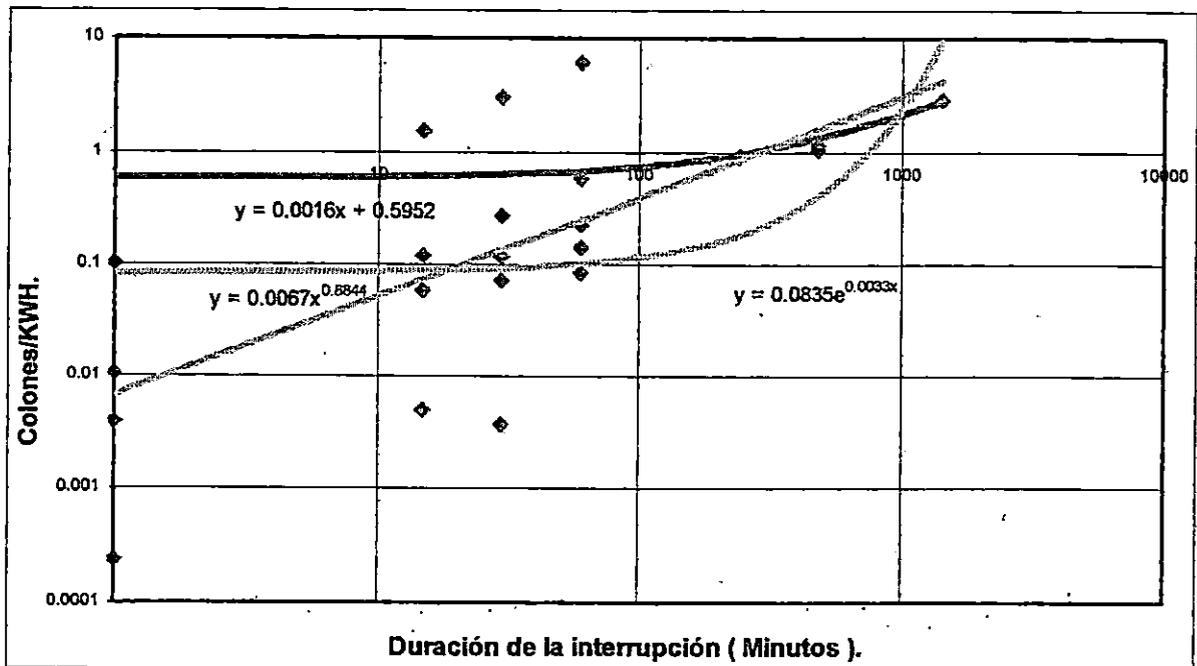
Gráfica 3.11. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción.  
( Industrial > 50 KW, trabajando con planta de emergencia).

### 3.3.9.2 ESTIMACIONES DE LAS PÉRDIDAS QUE SUFREN LOS USUARIOS COMERCIALES DEBIDO A INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS.

Al igual que en las empresas industriales a continuación se presentan los resultados obtenidos para las empresas comerciales.

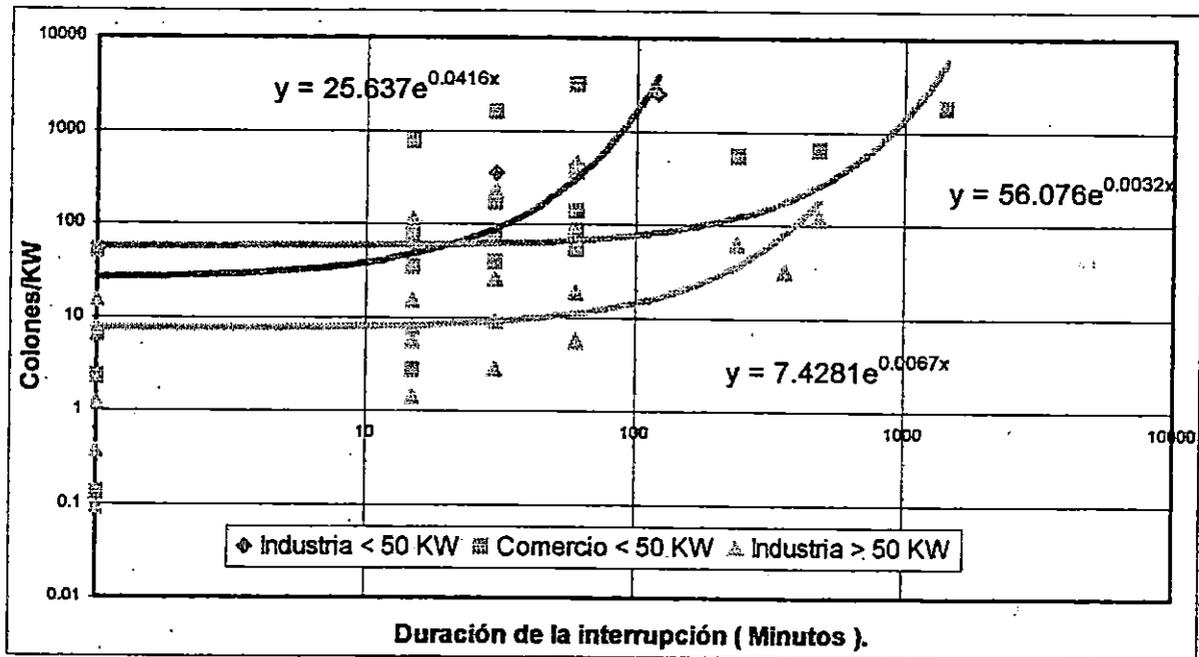


Gráfica 3.12. Pérdidas/KW en función de la duración de la interrupción. ( Comercial < 50.KW).



Gráfica 3.13. Pérdidas/KWH en función de la duración de la interrupción. ( Comercial < 50.KW).

A continuación en el gráfico 3.14. se gráfica las pérdidas por KW sufridas por los usuarios industriales y comerciales.



Gráfica 3.14. Pérdidas/KW para todos los estratos.

De la gráfica se observa que las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW tienen menos pérdidas por KW de carga interrumpida que los demás estratos, hasta aproximadamente 140 minutos ya que arriba de esta duración de interrupción las pérdidas por KW de las empresas industriales mayor de 50 KW supera a las de las empresas comerciales.

Además las empresas comerciales tienen mayores pérdidas por KW que todas las empresas industriales hasta una duración de interrupción menor de 20 minutos, de ahí en adelante las empresas industriales menor de 50 KW tienen mayores pérdidas por KW que todas las demás empresas. En la siguiente tabla se resumen las ecuaciones que se obtuvieron haciendo uso de el método matemático aproximación discreta de mínimos cuadrados para encontrar pérdidas por KW en función de la duración de la interrupción para los diferentes estratos.

Tabla 3.23. Pérdidas/KW de carga interrumpida.			
Sin Planta de emergencia.			
Estrato	Lineal	Potencial	Exponencial
Industrial menor de 50 KW	$Y=20.342x-273.67$	$y=5.3436x^{1.1505}$	$y=25.637e^{0.0416x}$
Industrial Mayor de 50 KW	$Y=0.1226x+47.786$	$y=1.5359x^{0.7076}$	$y=7.4281e^{0.0067x}$
Comercial menor de 50 KW	$Y=0.9898x+318.81$	$y=4.3842x^{0.8948}$	$y=56.076e^{0.0032x}$
Trabajando con planta de emergencia.			
Industrial mayor de 50 KW	$Y=0.0356x+2.7394$	$y=0.4904x^{0.4847}$	$y=1.2121e^{0.0066x}$

Tabla 3.23 . Ecuaciones para encontrar pérdidas por KW en función de la duración de la interrupción.

Tabla 3.24. Pérdidas/KWH de energía no entregada.			
Sin Planta de emergencia.			
Estrato	Lineal	Potencial	Exponencial
Industrial menor de 50 KW	$y=0.0286x-0.3805$	$y=0.0073x^{1.1617}$	$y=0.0356e^{0.042x}$
Industrial Mayor de 50 KW	$Y=0.0007x+0.1005$	$y=0.0051x^{0.7393}$	$y=0.02681e^{0.0069x}$
Comercial menor de 50 KW	$Y=0.0016x+0.5952$	$y=0.0067x^{0.8844}$	$y=0.0835e^{0.0033x}$
Trabajando con planta de emergencia.			
Industrial mayor de 50 KW	$Y=-6E-05x+0.0734$	$y=0.0038x^{0.4024}$	$y=0.0082e^{0.0051x}$

Tabla 3.24. Ecuaciones para encontrar las pérdidas por KWH en función de la duración de la interrupción.

En la tabla 3.25. se presenta el resumen de los valores mínimo, máximo, mediana y promedio para cada estrato de las pérdidas por KW de carga interrumpida y de las pérdidas por KWH de energía no entregada.

Tabla 3.25. Pérdidas/KW y Pérdidas/KWH.				
Pérdidas/KW. ( Sin Planta de emergencia).				
Estrato	Mínimo	Máximo	Mediana	Promedio
Industrial menor de 50 KW	7.1400	2450.9800	346.9300	645.7700
Industrial Mayor de 50 KW	0.0927	458.7150	14.9551	56.6575
Toda la industria	0.0927	2450.9800	16.8275	169.9495
Comercial menor de 50 KW	0.1333	3086.4100	82.5858	462.0506
Pérdidas/KWH. ( Sin planta de emergencia ).				
Industrial menor de 50 KW	0.0098	3.4312	0.4764	0.9112
Industrial Mayor de 50 KW	0.0003	0.6140	0.0580	0.1480
Toda la industria	0.0003	3.4312	0.0903	0.2947
Comercial menor de 50 KW	0.0002	6.1150	0.1414	0.8120
Pérdidas/KW. ( Trabajando con planta de emergencia).				
Industrial mayor de 50 KW	0.0745	25.2960	2.2346	5.6977
Pérdidas/KWH. ( Trabajando con planta de emergencia).				
Industrial mayor de 50 KW	0.0002	0.4059	0.0082	0.0685

Tabla 3.25. Valores mínimos, máximos, mediana y promedio de las pérdidas por KW y pérdidas/ KWH. ( En colones/KW y colones/KWH ).

Para finalizar en las siguientes tablas se resumen nuevamente los resultados para cada estrato.

Industria < 50 KW	<i>346.93 por KW + 0.4764 por KWH</i>
Industria > 50 KW	<i>14.95 por KW + 0.0580 por KWH</i>
Todas las industrias	<i>16.82 por KW + 0.0903 por KWH</i>

Tabla 3.26. Mediana de Costos de interrupciones para plantas industriales en El Salvador.

Industria < 50 KW	<i>645.77 por KW + 0.9112 por KWH</i>
Industria > 50 KW	<i>56.65 por KW + 0.1480 por KWH</i>
Todas las industrias	<i>169.94 por KW + 0.2947 por KWH</i>

Tabla 3.27. Costos promedio de interrupciones para plantas industriales en El Salvador.

Comercio	
Costos mediana	<i>82.58 por KW + 0.1414 por KWH</i>
Costos promedios	<i>462.05 por KW + 0.8120 por KWH</i>

Tabla 3.28. Mediana y promedio de Costos para plantas comerciales en El Salvador.

Es importante mencionar que si se quiere encontrar las pérdidas económicas que sufren cualquier empresa sin utilizar las ecuaciones presentadas anteriormente se pueden utilizar directamente los valores que se presentan en las tablas 3.26, 3.27 y 3.29, con el cuidado que para encontrar las pérdidas por KWH, el valor de la energía no entregada que se debe sustituir deberá ser mensual. Este mismo cuidado se debe tener cuando se usan las ecuaciones presentadas en secciones anteriores que involucran KWH. En otras palabras todos los valores KWH presentados en esta sección son por MES ( KWHmensuales). Si se desea encontrar estos valores de pérdidas por KWH x hora, solamente es necesario multiplicar el valor obtenido por 720.

En el anexo E se presenta una metodología [8] para encontrar las pérdidas en función de las carga instalada y la frecuencia de interrupciones utilizando las ecuaciones de la tabla 3.23.

### 3.3.10 DURACIÓN CRÍTICA DE LA PÉRDIDA DEL SERVICIO ELÉCTRICO.

Al igual que los costos o pérdidas debido a interrupciones del servicio eléctrico, el conocimiento de la duración crítica del servicio eléctrico es de mucha importancia para el diseño de sistemas de distribución de potencia eléctrica y consiste en: "Cuanto tiempo puede estar la empresa sin energía, después de una interrupción eléctrica sin que ésta ocasione costos ó pérdidas significativas."

Los resultados que se resumen en la tabla 3.29, fueron obtenidos por medio de la pregunta No. 9.

Tabla 3.29. Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.							
TIPO DE INDUSTRIA.	INDUSTRIA			COMERCIO			TOTAL DE EMPRESAS. (%)
	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	
	TOTAL DE EMPRESAS. (%)			TOTAL DE EMPRESAS. (%)			
Menos de 1 Minuto.	-	33.33	33.33	12.50	-	12.50	
1 Minuto.	-	6.66	6.66	-	-	-	
5 Minutos.	6.66	-	6.66	-	-	-	
10 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
15 Minutos.	6.66	-	6.66	12.50	-	-	
30 Minutos.	-	-	-	37.50	-	-	
60 Minutos.	6.66	-	6.66	25.00	-	25.00	
120 Minutos.	-	-	-	-	-	-	
180 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
480 Minutos.	-	-	-	12.50	-	12.50	
Total de empresas.	100%	20.00	53.31	<b>73.29</b>	100.00	<b>100.00</b>	

Tabla 3.29. Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.

Un total de 82.60% empresas entre industriales y comerciales contestaron la pregunta ( 73.29% de empresas industriales y 100% de las empresas comerciales), el cual según se puede observar en la tabla anterior el 3.33% de empresas industriales con consumos mayores de 50 KW no pueden estar sin energía eléctrica por más de 1 minuto, ya que una variación de

un minuto o menos hace que el proceso de producción se descontrole, ocasionando con esto un atraso en la producción bastante considerable el cual provoca pérdidas adicionales como las que se mencionaron en el capítulo 1.

Las empresas comerciales según se puede observar son las que pueden estar más tiempo sin energía eléctrica, eso puede deberse porque la mayoría de estas no elaboran ningún producto, si no que lo venden. Cabe mencionar que el 12.50% de empresas comerciales que tienen el tiempo menor de duración de pérdida del servicio crítico son aquellas que venden productos congelables.

A continuación se presenta una tabla (3.30) en la cual se reflejan los tiempos críticos mínimos, máximos, mediana y promedio de la pérdida del servicio eléctrico, para los estratos previamente mencionados.

Tabla 3.30.							
TIPO DE INDUSTRIA.		INDUSTRIA			COMERCIO		
		< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
		Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico. ( Minutos )			Duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico. ( Minutos )		
MÍNIMO.		5	< 1	< 1	< 1	-	< 1
MÁXIMO.		60	180	180	480	-	480
MEDIANA.		15	1	1	30	-	30
PROMEDIO.		23.75	24.50	25.09	88.25	-	88.21
TOTAL	100%	20.00	57.33	73.29	100	-	100

Tabla 3.30. Tiempos Mínimos, Máximos, Mediana y promedio de la duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico.

De esta tabla se puede concluir que la mediana tiempo crítico para plantas industriales con capacidad instalada menor de 50 KW andan alrededor de 15 minutos y para plantas industriales mayor de 50 KW es de menos de 1 minuto y la mediana de la duración crítica de la pérdida del servicio eléctrico para todas las empresas industriales es de menos de 1 minuto. En cambio para las plantas comerciales con capacidad menor de 50 KW es de 30 minutos.

En algunas ocasiones es necesario evaluar la duración crítica de la pérdida del servicio, en base a la actividad de las empresas, ya que una empresa que elabore productos químicos no se

puede compararse con una que elabore productos metálicos debido a la diferencia en los procesos de producción [4].

De la tabla anterior se puede ver de que del total de empresas, las empresas industriales son las más sensibles a interrupciones del servicio, porque el tiempo promedio que puede estar sin energía eléctrica es de 25.09 minutos. Por lo que las empresas que se consideren estar en esta categoría deberán de tomar medidas que minimicen los efectos de estas interrupciones. Por parte de las distribuidoras de energía deberán procurar que la duración de las interrupciones debidas a problemas en su sistema no sobrepase por lo menos los valores promedios que se presentaron, para garantizar que el mayor porcentaje de empresas no experimenten pérdidas considerables debido a estas interrupciones.

### 3.3.11 DURACIÓN DEL TIEMPO DE RESTAURACIÓN DE LAS EMPRESAS. (S)

Tabla 3.31. Tiempo de restauración.							
TIPO DE INDUSTRIA.	INDUSTRIA			COMERCIO			
	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	
		TOTAL DE EMPRESAS.			TOTAL DE EMPRESAS.		
Menos de 1 Minuto.	-	6.66	6.66	-	-	-	
5 Minutos.	-	-	-	37.50	-	37.50	
10 Minutos.	-	6.66	6.66	12.50	-	12.50	
20 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
25 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
30 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
45 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
60 Minutos.	6.66	6.66	13.33	37.5	-	37.5	
90 Minutos.	-	6.66	6.66	-	-	-	
120 Minutos.	6.66	-	6.66	-	-	-	
Total de empresas.	100%	13.33	60.01	73.33	87.5	87.5	

Tabla 3.31. Tiempo de restauración de las empresas.

El 78.26 % de las empresas entre comerciales e industriales que respondieron el cuestionario nos contestaron esta pregunta ( No. 11 ). El 26.70% de las empresas industriales y el 12.50% de las empresas comerciales no contestaron esta pregunta. La duración del tiempo de restauración de las plantas no es más que el “ tiempo que tarda la empresa después que se restablece el servicio eléctrico, para volver a la producción normal que mantenía antes de que ocurriera una interrupción o perturbación eléctrica ”. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.31. Como se puede observar en la tabla existe una amplia divergencia en el tiempo de reinicio de operaciones de las empresas industriales, esto puede deberse a los diferentes procesos utilizados para la producción de cada empresa, el tipo de maquinaria o equipo utilizado y en general al tipo de trabajo desempeñado.

Cabe mencionar que el 13.32% de todas las empresas industriales nos dijeron que después de haberse restablecido el servicio eléctrico, la operación de la empresa comienza de forma paulatina. Algunas mencionaron que comienzan en unos departamentos (60% de la empresa ) en 15 minutos y el resto de departamentos en 30 minutos.

En la tabla 3.32 se muestran los valores mínimos, máximo, mediana y promedio del tiempo de restauración de las plantas.

Tabla 3.32. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y Promedio del tiempo de reinicio de operaciones.							
TIPO DE INDUSTRIA.		INDUSTRIA			COMERCIO		
		< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
		Duración del tiempo de restauración de las plantas. ( Minutos )			Duración del tiempo de restauración de las plantas. ( Minutos )		
MÍNIMO.		60	< 1	< 1	5	-	5
MÁXIMO.		120	90	120	60	-	60
MEDIANA.		90	30	35	10	-	10
PROMEDIO.		90	35.11	45.09	29.28	-	29.28
TOTAL	100%	13.32	60.01	<b>73.33</b>	87.50	-	<b>87.50</b>

Tabla 3.32. Valores Mínimos, Máximos, Mediana y Promedio del tiempo de reinicio de operaciones de las empresas.

Es importante mencionar que el tiempo de restauración de las empresas llamado también “ Tiempo de reinicio de operaciones (s) ” es de suma importancia para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas de potencia. En el anexo C se da un ejemplo de aplicación de este.

### 3.3.12 COSTOS POR REPARACIÓN O PÉRDIDA DE EQUIPO DEBIDO A INTERRUPCIONES O PERTURBACIONES ELÉCTRICAS.

Los sobre voltajes momentáneos y el ruido de alto voltaje pueden provocar efectos indirectos sobre el desempeño de equipos eléctricos y electrónicos dependiendo de las condiciones de operación y la severidad de los disturbios. Si existe o se provoca cualquiera de estos efectos puede provocar principalmente en los equipos electrónicos; que se coloquen en reset o en el peor de los casos que alguna pieza de este se dañe, siendo necesario llamar a personal técnico especializado para que lo repare. Además estos disturbios pueden ocasionar efectos en los dispositivos a largo plazo, provocando que los componentes se degraden y ocasionar mal funcionamiento del equipo varios meses después. Los *Sags* y las interrupciones normalmente tienen efectos directos y predecibles en los equipos electrónico sensitivo. Esto es debido a que la mayoría de equipos hoy en día tienen sensores incorporados y colocan al equipo en pre-set si el voltaje excede los límites. El efecto combinado de la magnitud y duración de la excursión del voltaje determina si o no el equipo se protege, esto lo realiza el equipo censando la entrada de AC.

Lamentablemente en el estudio realizado no se pudo determinar la razón o causa exacta de las fallas de los equipos reportados en la pregunta No. 13, debido a que las empresas no podían determinar si la razón de la falla fue por ejemplo un *Sags*, *swell*, *surges*, por lo que se optó en preguntar en sentido general, dicho de otra manera si la falla se debió a una perturbación o interrupción eléctrica. Según estudios [7] los *Sags*, *Surges* y las interrupciones de potencia momentáneas son problemamente las que más afectan la calidad de los sistemas de potencia y afectan a los usuarios industriales y comerciales. Es por ello que se debe dedicar más tiempo de estudio a estos fenómenos con el objeto de encontrar soluciones viables y económicas para minimizar los efectos de estos en los equipos electrónicos.

Debido a la importancia de estos disturbios eléctricos en la tabla 3.33, se resume los resultados obtenidos por medio del cuestionario.

Tabla 3.33. Cantidad de empresas que reportaron pérdidas. (%)							
Causa	INDUSTRIA.			COMERCIO.			
	< 50 KW	> 50 KW	Todas	< 50 KW	> 50 KW	Todas	
Interrupción.	-	27.77	27.77	22.22	-	22.22	
Perturbación.	11.11	38.88	49.99	27.22	-	27.22	
Total	100 %	11.11	66.65	77.76	49.44	-	49.44

Tabla 3.33. Cantidad de empresas ( %) que reportaron pérdidas debido a perturbaciones e interrupciones eléctricas.

Como se puede observar en la tabla 3.33, el 77.76% ( empresas industriales ) del **TOTAL** de empresas que contestaron la pregunta No.12, el 49.99% corresponde a empresas industriales que han experimentado pérdidas debido a quema de equipo a causa de las perturbaciones eléctricas y el 27.77% por interrupciones. En cambio el 27.22% del total de empresas que

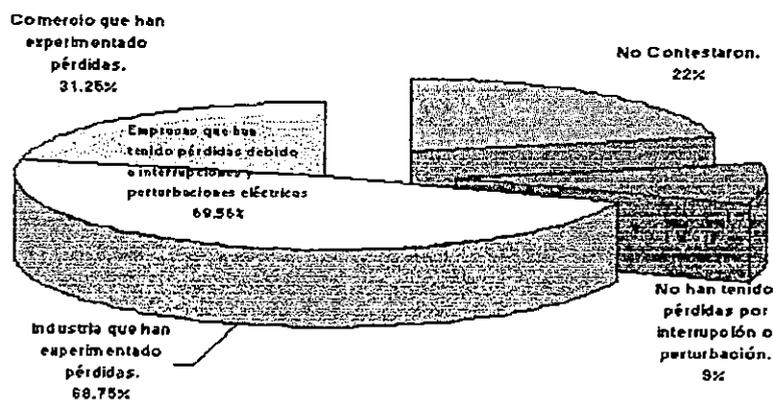
contestaron el cuestionario corresponden a las empresas comerciales que han experimentado pérdidas debido a perturbaciones eléctricas y las empresas comerciales que reportaron pérdidas debido a interrupciones eléctricas fue el 22.22%.

Es importante mencionar que el 21.73% de empresas, incluyendo industriales y comerciales no contestaron esta pregunta y el 8.69% de empresas no han experimentado pérdidas debido a estos eventos de energía ( interrupción o perturbaciones eléctricas). Lógicamente el 69.56% de todas las empresas comercial e industrial han experimentado pérdidas por interrupciones, perturbaciones o ambas.

Para un mayor entendimiento a continuación se presenta una tabla y un gráfico en donde se muestra el porcentaje de empresas que han experimentado pérdidas por interrupción, perturbación o ambas.

Causa	INDUSTRIA.			COMERCIO.			
	< 50 KW	> 50 KW	Todas	< 50 KW	> 50 KW	Todas	
Interrupción, perturbación o ambas	12.50	56.25	68.75	31.25	-	31.25	
Total	100 %	12.50	56.25	68.75	31.25	-	31.25

Tabla 3.34. Porcentaje de empresas que reportaron pérdidas debido a perturbación o interrupción.



Gráfica 3.15. Porcentaje de empresas que han experimentados pérdidas debido a eventos de energía.

Para aplicar métodos o técnicas que nos ayuden a minimizar los efectos principalmente de las perturbaciones e interrupciones eléctricas es necesario conocer datos cuantitativos de pérdidas ( en colones ) por perturbación o interrupción, o en general por falla, con el objetivo de compararlos con costos de equipos, para decidir si es conveniente comprar dichos equipos de protección o no. Además estos costos por falla son de gran utilidad en los cálculos de evaluación económica de la confiabilidad de los sistemas de potencia. Estos costos por falla

en los métodos matemáticos utilizados para evaluar la confiabilidad de los sistemas de potencia se les llama: " Gastos extras incurridos por falla " y en el método requerimientos de rédito (RR) se expresa como  $x_i$ , este método se explica con mas detalle en el anexo C.

A continuación en la tabla 3.35, se resumen los resultados obtenidos de pérdidas experimentadas por la empresas por reparación de equipo debido a perturbaciones e interrupciones eléctricas.

Tabla 3.35. Pérdidas por reparación de equipos.							
TIPO DE INDUSTRIA.		INDUSTRIA.			COMERCIO.		
		< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
CAUSA.		Pérdidas en colones			Pérdidas en colones		
Interrupción	MÍNIMO.	-	450.00	450.00	550.00	-	550.00
	MÁXIMO.	-	450.00	450.00	3200.00	-	3200.00
	MEDIANA.	-	450.00	450.00	2200.00	-	2200.00
	PROMEDIO.	-	450.00	450.00	1983.33	-	1983.33
TOTAL DE FALLAS REPORTADAS.		-	2	2	3	-	3
Perturbación.	MÍNIMO.	2500.00	450.00	1475.00	550.00	-	550.00
	MÁXIMO.	9000.00	3200.00	6100.00	3200.00	-	3200.00
	MEDIANA.	7000.00	720.00	3860.00	2200.00	-	2200.00
	PROMEDIO.	6375.00	1123.80	3749.40	1953.33	-	1953.33
TOTAL DE FALLAS REPORTADAS.		7	18	25	3	-	3

Tabla 3.35. Pérdidas por reparación de equipos.

Como se puede observar en el cuadro anterior las empresas industriales son las que experimentan mayores pérdidas económicas por reparación de equipos debido a perturbaciones eléctricas, este resultado es bastante lógico ya que son estas empresas las que en un gran porcentaje tienen maquinaria y herramientas eléctricas y electrónicas de precio muy elevado. Además en la tabla 3.35, se puede ver que el 84.84% de las fallas que causan pérdidas económicas a las empresas son debidas a perturbaciones eléctricas y el 15.16% a

interrupciones eléctricas. El tipo de equipo y maquinaria que reportaron las empresas que habían tenido problemas de funcionamiento debido a los fenómenos electromagnéticos mencionados anteriormente son:

- Maquinas impresoras.
- Maquinas inyectoras.
- Tarjetas de control electrónico.
- Tabletas electrónicas en general.
- Computadoras de control de maquinas.
- Computadoras personales.
- Motores.
- Arrancadores de motores.
- Relevadores.
- Fusibles.

Un aspecto que es importante señalar es que el 21.73% de **TODAS** las empresas nos señalaron que no llevaban un control sobre los costos de estas reparaciones.

Tabla 3.36. Pérdidas por sustitución de equipo. ( En colones ).							
TIPO DE INDUSTRIA.		INDUSTRIA.			COMERCIO.		
		< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
CAUSA.		PÉRDIDAS. ( En colones ).			PÉRDIDAS. ( En colones ).		
Interrupción.	MÍNIMO.	-	3500.00	3500.00	5000.00	-	5000.00
	MÁXIMO.	-	9000.00	9000.00	5000.00	-	5000.00
	MEDIANA.	-	6250.00	6250.00	5000.00	-	5000.00
	PROMEDIO.	-	6250.00	6250.00	5000.00	-	5000.00
TOTAL DE FALLAS REPORTADAS.		-	2	2	1	-	1
Perturbación.	MÍNIMO.	6500.00	2900.00	4700.00	5000.00	-	5000.00
	MÁXIMO.	6500.00	3500.00	5000.00	5000.00	-	5000.00
	MEDIANA.	6500.00	2900.00	4700.00	5000.00	-	5000.00
	PROMEDIO.	6500.00	3080.00	4790.00	5000.00	-	5000.00
TOTAL DE FALLAS REPORTADAS.		1	5	6	1	-	1

Tabla 3.36. Pérdidas por sustitución de equipos.

Un gran porcentaje de empresas ( el 38.78% del total de empresas<sup>9</sup> ) reportaron que los problemas más comunes era en daños a computadoras personales, es por eso que en el anexo F se presenta una cuadro donde se detalla los efectos de estas perturbaciones eléctricas en los sistemas computacionales, como también algunas posibles soluciones.

En algunas ocasiones, los repuestos de ciertos equipos o maquinas son muy difíciles de encontrar o se hace muy difícil de repararlos, por lo que sale más barato sustituir el equipo. En la tabla 3.36, se presentan los resultados obtenidos de las pérdidas debido a sustitución de equipos.

Contrariamente que en la tabla 3.35 , en la tabla 3.36 , se observa que de las fallas reportadas las empresas comerciales (12.5%) que contestaron el cuestionario son las que han experimentado menos pérdidas debido a sustitución de equipos. El resto de las empresas (87.50%) respondieron que no habían experimentado perdidas debido a sustitución, ya que los equipos ( Generalmente computadoras ) estaban en el periodo de garantía.

Si combinamos las dos tablas anteriores y consideramos la ultima fila de cada tabla, podemos encontrar los gastos extras por falla ( $x_i$ ) independientemente si son por interrupción o perturbación eléctrica, ya que para fines de evaluación económica de la confiabilidad es independiente. En la tabla 3.37, se presentan estos resultados.

De los resultados que se muestran en la tabla 3.37 se observa que la empresas industriales son las que tienen menores costos por fallas, y las empresas comerciales con capacidad instalada menor de 50 KW son las que tienen mayores pérdidas por falla.

Tabla 3.37. Pérdidas por falla.						
TIPO DE INDUSTRIA.	INDUSTRIA.			COMERCIO.		
	< 50 KW	> 50 KW	TODAS	< 50 KW	> 50 KW	TODAS
	COSTOS O PÉRDIDAS/FALLA.			COSTOS O PÉRDIDAS/FALLA.		
MÍNIMO.	312.20	16.66	12.85	137.50	-	137.50
MÁXIMO.	1125.00	3333.33	2571.42	1250.00	-	1250.00
MEDIANA.	968.75	26.66	26.71	675.00	-	675.00
PROMEDIO.	859.37	166.05	143.72	684.38	-	684.38

Tabla 3.37. Pérdidas por falla. ( En colones ).

<sup>9</sup> Incluye las empresas industriales y comerciales.

Si hacemos una comparación entre el costo por falla, con el precio del equipo de protección adecuado que se puede adquirir para tratar de minimizar los efectos directos de estas perturbaciones e interrupciones eléctricas, podemos quizás llegar a la conclusión que es más económico comprar estos equipos de protección, porque no es solamente estos costos los que se cargan a las pérdidas de las empresas, si no que existen pérdidas adicionales que hay que agregar, por ejemplo la falla se puede dar en un equipo o maquina considerada principal de la empresa, ocasionando pérdidas laborales, ganancias, etc.

Lamentablemente las empresas no han tomado conciencia en estos detalles y por lo consiguiente consideran que la compra de estos equipos de protección son dineros que aumentan los costos de las empresas. Para dar un ejemplo de lo antes dicho, La mayoría de empresas de comunicaciones en lugar de proteger procesadores que cuestan alrededor de \$9000, y que además son equipos principales de transmisión, protegen computadoras personales del departamento de contabilidad u otros departamentos menos importantes que cuestan alrededor de \$900, aunque en estas computadoras se almacene información de suma importancia no es comparable. Pareciera ilógico pero esa es la realidad y al igual que estas empresas existen muchas otras. Queda a opción de los ingenieros de mantenimiento hacer conciencia a los gerentes administrativos de estos problemas.

A continuación se presentan algunas recomendaciones que se pueden aplicar para minimizar las fallas de los equipos principalmente electrónicos de perturbaciones e interrupciones eléctricas. Las opciones más económicas contra las perturbaciones eléctricas principalmente las ocasionadas por descargas atmosféricas son las que a continuación se presentan:

- ✓ Proveer caminos de baja impedancia para las corrientes de falla, así que los dispositivos de sobrecorriente puedan limpiar rápidamente el circuito.
- ✓ Mantener una diferencia de bajo potencial entre las partes metálicas de los equipos y tierra.

Existen muchas soluciones que pueden utilizarse para proteger a cargas críticas o sensitivas a fenómenos eléctricos, pero el empleo de cualquiera de estas dependerá del fenómeno eléctrico al que se desee proteger el equipo y dependerá del criterio del ingeniero. Para que la decisión a tomar se ha la más adecuada existen un sin fin de bibliografía que en un momento dado se puede tomar como referencia. En el anexo G se presentan algunos equipos que pueden utilizarse para minimizar los efectos de estas perturbaciones e interrupciones eléctricas [5].

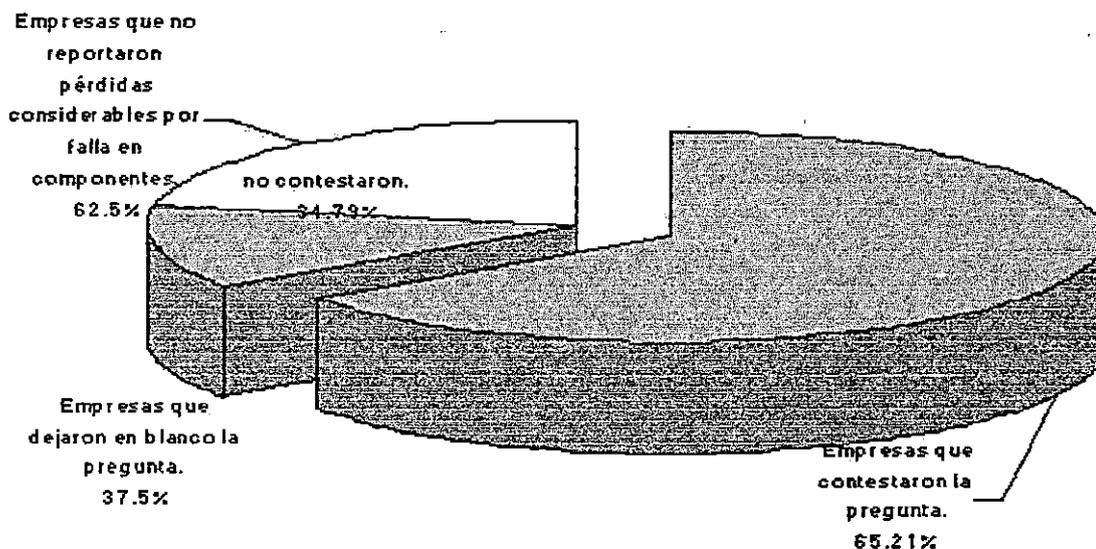
### 3.3.13 ELEMENTOS O EQUIPOS QUE CAUSARON MÁS PÉRDIDAS ECONÓMICAS A LAS EMPRESAS.

El 65.21% de todas las empresas que respondieron el cuestionario contestaron esta pregunta. En la tabla 3.38, se muestran los resultados obtenidos y como se puede observar en la tabla, el elemento que causó más pérdidas económicas a las empresas fueron los transformadores y los motores, afectando al 10.52% del **TOTAL** de empresas correspondiente a empresas industriales y al 10.52% del total de empresas correspondientes a empresas comerciales.

El 34.78% del total de empresas no contestaron esta pregunta. Algunas dijeron que de los elementos del sistema de suministro o equipo de su empresa ninguno les había ocasionado pérdidas económicas considerables ( 62.5% del 34.78% que no contestaron esta pregunta ), el restante 37.5% ( del 34.78% ) dejaron en blanco la pregunta en cuestión.

De la tabla 3.38, también se observa que los transformadores son los que mas han ocasionado pérdidas de todas las empresas independiente de su estrato, afectando el 21.04% del total de empresas que contestaron el cuestionario. Al igual los motores afectaron al 21.04% de la misma cantidad de empresas.

En el gráfico 3.16, se presentan estos resultados para una mayor comprensión de estos.



Gráfica 3.16. Porcentajes de empresas que reportaron pérdidas considerables debido a fallas en componentes eléctricos o equipos.

Tabla 3.38. Elementos y equipo que causaron más pérdidas a las empresas.

ELEMENTO O EQUIPO.	ELEMENTOS ELÉCTRICOS:							EQUIPO O MAQUINARIA.			
	Transformadores de HV.	Cortacircuitos.	Pararrayos.	Aisladores.	Alimentadores.	Breakers.	Fusibles.	Arrancadores de motores.	Motores.	Ups.	Computadoras.
Tipo de Empresas	Total de Empresas. (%)										
INDUSTRIA < 50 KW.	-	-	-	-	-	-	-	5.26	5.26	-	-
INDUSTRIA > 50 KW.	10.52	-	-	5.26	5.26	-	15.78	-	10.52	-	-
COMERCIO < 50 KW.	10.52	-	-	-	-	-	10.52	-	5.26	-	-
COMERCIO > 50 KW.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL %</b>	21.04	-	-	5.26	5.26	5.26	26.30	-	21.04	-	-

Tabla 3.38. Componentes que causaron más pérdidas a las empresas.

### 3.3.14 MÉTODO DE RESTAURACIÓN DEL SERVICIO DESPUÉS DE UNA INTERRUPCIÓN ELÉCTRICA.

Los datos obtenidos sobre el método de restauración del servicio de las empresas se muestra en la tabla 3.39, estos se obtuvieron por medio de la pregunta No. 17.

Tabla 3.39. Método de restauración del servicio.								
ELEMENTO O EQUIPO.	Transformadores de HV.	Cortacircuitos.	Pararrayos.	Aisladores.	Alimentadores.	Breakers de HV.	Fusibles de HV.	TOTAL
Método de restauración del servicio.	Total de empresas (%)							
Reparar el elemento dañado.	8.69	-	-	-	4.35	4.35	-	17.39
Reemplazar el elemento dañado.	4.35	4.35	-	4.35	4.35	-	26.08	43.48
Utilizar una red eléctrica paralela.	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL %</b>	<b>13.04</b>	<b>4.35</b>	<b>-</b>	<b>4.35</b>	<b>8.7</b>	<b>4.35</b>	<b>26.08</b>	<b>60.87</b>

Tabla 3.39. Método de restauración del servicio.

El método de restauración del servicio eléctrico más comúnmente empleados son: el reemplazar o sustituir el elemento dañado. El 17.39% de las empresas contestaron que el método utilizado fue el reparar el elemento dañado y el 43.48 % respondieron que utilizaron el método reemplazar el elemento dañado, además estas empresas ( 60.87% del **TOTAL** de empresas ) contestaron que cuando se da este tipos de situación encendían la planta de emergencia, siempre y cuando el elemento dañado esté antes del interruptor de transferencia o de cambio sistema CAESS ó DELSUR a planta de emergencia. Cabe mencionar que las empresas que respondieron que encendían la planta de emergencia, dijeron que además de este método empleaban el de reemplazar el elemento dañado.

El método de restauración del servicio: Utilizar un red eléctrica paralela no es utilizada para este fin. Un aspecto bien importante de señalar que además de estos métodos mencionados anteriormente existen otros los cuales se presentan en el libro GOLD BOOK de la IEEE [10]. Pero no se aplican a las empresas industriales y comerciales de El Salvador en un 95%.

### 3.3.15 CANTIDAD Y DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES ELÉCTRICAS SUFRIDAS POR LAS EMPRESAS DEBIDO A FALLAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

Estos datos mostrados en la tabla 3.40 y 3.41, son de suma importancia para encontrar la razón de fallas ó frecuencia de interrupciones ( que se usa a menudo como sinónimo ) y la duración de las fallas de los sistemas de distribución. Aunque cabe señalar que para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas de distribución estos datos deben de ser más específicos para cada subsistema ó red, con el objeto de determinar el menos confiable.

Tabla 3.40 CANTIDAD DE INTERRUPCIONES EN EL PERÍODO 1996-1998.												
TIPO DE EMPRESAS.	Sistema CAESS.						Sistema DELSUR.					
	INDUSTRIA			COMERCIO			INDUSTRIA			COMERCIO		
	< 50 <sup>10</sup>	> 50	Todas	< 50	> 50	Todas	< 50	> 50	todas	< 50	> 50	todas
CANTIDAD DE INTERRUPCIONES.	Cantidad de empresas.						Cantidad de empresas.					
0-10	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1
10-20	1	1	2	1	-	1	-	1	1	1	-	1
20-30	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-40	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
40-50	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
60-70	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-
70-80	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80 o más	-	5	5	2	-	2	-	1	1	-	-	-
TOTAL DE INTERRUPCIONES.	45	490	535	310	-	310	65	95	160	20	-	20

Tabla 3.40. Cantidad de interrupciones en el periodo 1996-1998.

<sup>10</sup> 50 KW de carga instalada.

La frecuencia de interrupciones y duración de interrupciones de un sistema formado por subsistemas conectados en paralelo ó en serie puede encontrarse con el método *Cut-Set* mínimo que se detalla en el anexo H. Como se mencionó anteriormente se encontrarán con los datos que se presentan en la tabla 3.40 y 3.41, dichos índices tanto para los sistemas de distribución de CAESS como DELSUR, en un sentido muy general, en donde se asumirá que las empresas están en redes (subsistemas) que no se encuentran conectados en paralelo ni en serie, tomándose el promedio de interrupciones y de duración de las interrupciones para el periodo 1996-1998 ( 2 ½ años ).

Los datos presentados anteriormente en la tabla en la casilla total de interrupciones es la suma de los promedios de cada año de todas las interrupciones experimentadas por cada estrato en el periodo de los 2 ½ años en estudio y se recolectaron con ayuda de la pregunta No. 14.

Para encontrar la frecuencia de interrupciones se hará como sigue:

Para sistema CAESS:

$$f_s = \frac{835/14}{2.5} \cong 24 \text{ interrupciones por año.}$$

Para sistema DELSUR:

$$f_s = \frac{180/4}{2.5} \cong 18 \text{ interrupciones por año.}$$

Aunque en el cuadro anterior no se muestra el año 1998, fue uno en los que las empresas tuvieron menos interrupciones, a pesar que solo se tomaron aproximadamente 7 meses en el estudio. Contrariamente el año en donde las empresas reportaron más interrupciones fue 1996. Esta diferencia puede deberse debido que a partir de 1996 las distribuidoras fueron privatizadas y en cierta forma comenzaron a realizar muchos cambios en sus estructura tanto física y técnica, llevando con ello una mejor calidad en la distribución del suministro eléctrico.

Como se puede notar las empresas que les suministra el servicio la distribuidora DELSUR fueron las que reportaron menos interrupciones y las empresas que les suministra la distribuidora CAESS son las que reportaron más interrupciones. Nuevamente se hace incapie que los datos son promedios de todo el sistema, ya que algunas empresas reportaron más de 80 interrupciones por año.

Hay que considerar que las empresas que reportaron que CAESS es la que les suministra el servicio de energía eléctrica son el 73.90% del total de empresas que contestaron el cuestionario, y el restante ( 26.10% ) reportaron que DELSUR les proveía el servicio.

Debido a que el costo de las interrupciones del servicio eléctrico es pagado generalmente por el usuario y además estos son muy elevados, éste debe tomar medidas que minimicen los efectos de estas interrupciones colocando fuentes alternas de energía tales como:

- Plantas de emergencia ( Diesel).
- UPS.

Por parte de las compañías de suministro de energía eléctrica deben de estudiar la confiabilidad de los sistemas que actualmente están y tratar de minimizar estas interrupciones. Según estudios existen muchos sistemas que son más confiables que otros, por ende las distribuidoras deben evaluar la factibilidad de implementar estos tipos de configuraciones en donde según sus reportes se experimentan más fallas. En el caso de que se de una falla estas configuraciones son muy eficientes en el sentido de la confiabilidad porque se pueden interconectar a otros sistemas en cuestión de minutos y disminuir con esto el tiempo de duración de la interrupción y por consiguiente las pérdidas financieras a las empresas.

Además con la nuevas leyes de electricidad, las empresas distribuidoras de energía están en la obligación de pagar el 200% de la energía no servida, por razones atribuibles a esta. Consideramos lo anterior, si la distribuidora mejora la confiabilidad de los sistemas a su cargo se evitará estos pagos más los causados a su sistema directa e indirectamente.

La duración de las interrupciones quizás es uno de los índices más importantes, como se vio o se verá más adelante, las pérdidas económicas de las empresas algunas veces son directamente proporcionales a la duración de estas o en el peor de los casos tienen una relación exponencial. En la tabla 3.41 , se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 3.41. DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES EN EL PERÍODO 1996-1998.													
TIPO DE EMPRESAS.		Sistema CAESS.						Sistema DELSUR.					
		INDUSTRIA			COMERCIO			INDUSTRIA			COMERCIO		
		< 50	> 50	Todas	< 50	> 50	Todas	< 50	> 50	Todas	< 50	> 50	Todas
CAUSA		DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES. ( En minutos ).						DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES. ( En minutos ).					
Interrupción.	MÍNIMO.	15.66	3.19	9.42	18.05	-	18.05	-	1.61	1.61	2.62	-	2.62
	MÁXIMO.	215.0	129.16	172.08	199.38	-	199.38	-	423.33	423.33	142.5	-	142.5
	PROMEDIO.	43.33	40.88	42.10	70.22	-	70.22	-	92.44	92.44	12.50	-	12.50
Total de empresas	100%	13.04	30.4	43.44	26.08	-	26.08	-	13.04	13.04	8.69	-	8.69

Tabla 3.41. Valores mínimos, máximos y promedio de las interrupciones de los Sistemas Caess y Delsur.

Al igual que los resultados presentados en la tabla 3.40, los resultados de la tabla 3.41, son valores promedios de los 2 ½ años de estudio de los valores mínimos, máximos y promedio de cada año. Según los resultados las duraciones máximas se dieron en el año 1996 y las mínimas en 1998, aunque esta diferencia no se presenta en la tabla anterior.

De la tabla 3.41, se puede ver que el 39.12% del total de empresas que respondieron el estudio, han tenido una duración de interrupción promedio mayor de 1 hora y el restante menos de ¾ de horas de duración.

Además el sistema DELSUR, según los resultados obtenidos han tenido un mayor tiempo promedio de duración de las interrupciones. Es importante decir que el 8.75% de las empresas que respondieron el cuestionario no contestaron esta pregunta.

### **3.3.16 CANTIDAD Y DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES SUFRIDAS POR LAS EMPRESAS DEBIDO A FALLAS EN SU SISTEMA ELÉCTRICO.**

En la evaluación económica de la confiabilidad, es siempre apropiado considerar los costos por horario de mantenimiento eléctrico preventivo. A veces estos costos son bastantes grandes al hacer un análisis de ellos separadamente cuando se comparan alternativas de diseño de sistemas de potencia. El "método requerimientos del rédito"<sup>11</sup> (RR)", incluye un termino llamado "Factor de cargo de la inversión (F)" y *e* que incluye el gasto anual fijo como un porcentaje de la inversión. Ambos F y *e* son atribuidos al horario de mantenimiento eléctrico preventivo, seguro, impuestos de propiedad, etc. La razón de explicar lo anterior es que un gran porcentaje de las interrupciones se deben a problemas en los sistemas de potencia de las empresas, haciendo estos sistemas menos confiables. Para tratar de evitar estas interrupciones se debe de considerar los horarios de mantenimiento de los sistemas y así poder disminuir la razón de falla de cada elemento. Una de las grandes decisiones importantes que involucran costos, tomada por un administrador es cuánto dineros gastar por horarios de mantenimiento eléctrico preventivo. La cantidad de mantenimientos efectuados en un componente puede afectar su razón de falla por lo que es un factor importante cuando se intenta estudiar el total de costos propios de mantenimiento de un sistema de potencia completo. Si se reduce el esfuerzo de mantenimiento por lo consiguiente también se reducen los costo de mantenimiento. Esto aumentaría la razón de falla de los componentes del sistema de potencia y lógicamente aumentan los costos asociados con las fallas. Es conveniente comparar los costos de mantenimiento preventivo con los costos ocasionados por una interrupción con el objeto de determinar que es lo más conveniente financieramente para la empresa.

En la tabla 3.42, se resumen los resultados obtenidos por medio de la pregunta No.16. Como se puede observar es considerable la cantidad de interrupciones por fallas en los sistemas de potencia de las empresas. El 28.57% de las empresas industriales no contestaron esta pregunta y el 50.20% respondieron que no habían experimentados fallas en su sistema de potencia.

---

<sup>11</sup> Expuesto en el anexo C.

Para encontrar el total de interrupciones de cada columna de la tabla ( estrato ), simplemente se multiplicó el valor medio de la cantidad de interrupciones por la cantidad de empresas que tuvieron estas interrupciones y el total de cada columna se colocó en la casilla nombrada total de interrupciones. La columna denominada "todas" de cada estrato industrial o comercial, es la suma de la cantidad de empresas de cada fila y la ultima casilla de esta columna es la suma del total de interrupciones.

Tabla 3.42. CANTIDAD DE INTERRUPCIONES EN EL PERIODO 1996-1998.						
Tipo de empresas	INDUSTRIA			COMERCIO		
	< 50 <sup>12</sup>	> 50	Todas	< 50	> 50	todas
CANTIDAD DE INTERRUPCIONES.	Cantidad de empresas.			Cantidad de empresas.		
0-10	-	1	1	-	-	-
10-20	-	2	2	-	-	-
20-30	-	-	-	-	-	-
30-40	-	-	-	-	-	-
40-50	-	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	-	-	-
60-70	-	-	-	-	-	-
70-80	-	-	-	-	-	-
80 o más	-	-	-	-	-	-
TOTAL DE INTERRUPCIONES.	-	35	35	-	-	-

Tabla 3.42. Cantidad de interrupciones en el periodo 1996-1998 debido a fallas en el sistema de las empresas.

Como el total de fallas reportadas fue de 35 durante los 2 ½ años y solamente reportaron estas fallas 3 empresas, entonces la frecuencia de fallas para los sistemas propios de la empresas es:

$$f_{s_p} = 35/2.5 = 14 \text{ fallas por año.}$$

<sup>12</sup> 50 KW de carga instalada.

Contrariamente a la sección anterior aquí no se dividió el total de fallas por el número de empresas, porque estas fallas se consideran mutuamente excluyentes, dicho de otra manera este es el total de fallas experimentadas por tres sistemas considerados diferentes entre si.

De la tabla anterior se nota que pocas empresas que contestaron el cuestionario han tenido problemas en sus sistema de potencia. Además esta tabla muestra que estratos han experimentados mas interrupciones. Las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW son las que han tenido fallas. Las demás empresas como se mencionó anteriormente no contestaron esta pregunta o no han experimentado fallas.

Otro índice necesario para la evaluación económica de la confiabilidad es el tiempo de reparación después de una falla ( $r$ ), aunque este índice no se puede obtener directamente por medio de las preguntas del cuestionario, vamos hacer una suposición con el objeto de encontrar un valor aproximado de  $r$ . Haciendo uso de la pregunta No.16, combinada con la pregunta No.15, encontraremos un valor aproximado para  $r$  como sigue:

En un inicio se tomarán todas aquellas encuestas en donde han declarado fallas en sus sistema de potencia, con ayuda de la pregunta No.16, luego de la pregunta No.15, se tomarán los valores mínimos, máximos y promedio de la duración de la interrupción de estas encuestas. Esta asunción es valida ya que la duración de esta interrupción se puede considerar como el tiempo que se tardó en reparar el componente que falló en el sistema. Los resultados se resumen en el cuadro siguiente ( 3.43 ):

DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES EN EL PERIODO 1996-1998. (DEBIDO A FALLAS EN LOS SISTEMAS DE POTENCIA DE LAS EMPRESAS).							
TIPO DE EMPRESA.		INDUSTRIA			COMERCIO		
		< 50 KW	> 50 KW	Todas	< 50 KW	> 50 KW	Todas
CAUSA		DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES. ( En minutos ).					
Interrupción.	Mínima.	-	6	6	-	-	-
	Máxima.	-	360	360	-	-	-
	Promedio.	-	120	120	-	-	-
Total de empresas. ( % ).		0	13.04	13.04	0	0	0

Tabla 3.43. Duración de las interrupciones debido a problemas en los sistemas de potencia de las empresas.

Del cuadro anterior se observa que la duración de tiempo promedio de reparación para las empresas industriales es de 120 minutos ( $r= 120 \text{ min}$ ), las empresas comerciales no contestaron esta pregunta o no han experimentado fallas. Este valor más el tiempo de restauración de las plantas ( o reinicio de operaciones ( $s$ ) ) influye en los gastos variables en la fórmula de evaluación económica de la confiabilidad. Es importante señalar que el 13.04%

del total de empresas que contestaron la encuesta han tenido problemas en su sistema de potencia<sup>13</sup>.

### 3.3.15 FRECUENCIA DE FALLA DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y EQUIPO DE LAS EMPRESAS.

Los datos que a continuación se presentan son de suma importancia para evaluar los índices que son de gran utilidad para evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución u otro sistema ( Sistemas de las empresas ). El índice que encontraremos con estos datos es la razón de fallas<sup>14</sup> de cada dispositivo para posteriormente poderlos utilizar para encontrar la frecuencia y la duración de interrupciones de cualquier sistema dado, utilizando cualquiera de los métodos mencionados en el anexo H.

En la tabla 3.44, se puede observar que el dispositivo ó elemento eléctrico que ha fallado más durante el período 1996-1998, son los fusibles de HV ya que el 42.84% de empresas industriales reportaron fallas en este dispositivo, este resultado es lógico. Debe notarse que tiene una relación directa con el total de fallas reportadas de los otros elementos, ya que la falla de este componente es causada por la falla de otro. El más alto porcentaje de fallas reportadas en los equipos electrónicos es el de las computadoras representando el 56.52% de total de empresas que reportaron fallas.

Con respecto a las maquinas; los motores son los que más han fallado, el 21.73% de las empresas industriales reportaron fallas en esta maquina.

Total de fallas reportadas en el período 1996-1998									
COMPONENTES ELÉCTRICOS:	Transformadores de HV.	Cortacircuitos.	Pararrayos.	Aisladores.	Alimentadores.	Breakers de HV.	Fusibles de HV.	Breakers de baja tensión.	Fusibles de baja tensión.
AÑO	CANTIDAD DE FALLAS.								
Periodo 1996-1998	3	2	0	1	3	1	9	72	49
Total de empresas <sup>15</sup> (%)	14.28	7.14	0	7.14	14.28	7.14	42.84	71.42	57.14

Tabla 3.44. Total de fallas reportadas en el periodo 1996-1998 de los componentes eléctricos.

<sup>13</sup> Se considera sistema de potencia de la empresa desde el entronque de la acometida de alto voltaje de los transformadores de HV.

<sup>14</sup> Expresada en fallas por unidad-años.

<sup>15</sup> De total de empresas que contestaron el cuestionario.

El porcentaje de las empresas industriales que no respondieron la pregunta No.19 fue del 67.8% del total de empresas y el 69.3% de estas empresas no contestaron la pregunta No. 20.

Algunas de las razones fue que la cantidad de cada elemento que tienen en las empresas eran demasiados y otras simplemente dejaron estas preguntas en blanco. Como se mencionó anteriormente las comerciales tienen servicio monofásico, por lo que lógicamente no reportaron fallas en los componentes de HV.

Total de fallas reportadas en el periodo 1996-1998 de las maquinas y equipo.						
MAQUINAS O EQUIPO.	Motores.	Arrancadores de motores.	Reguladores de voltaje.	Controles automático de maquinaria.	Ups.	Computadoras.
AÑO	CANTIDAD DE FALLAS.					
1996-1998	16	16	8	5	9	37
Total de empresas (%)	21.73	17.39	13.04	26.08	39.13	56.52

Tabla 3.45. Total de fallas reportadas en el periodo 1996-1998 de las maquinas y equipo.

Cantidad de componentes reportados en el periodo 1996-1998									
COMPONENTES ELÉCTRICOS:	Transformadores de HV.	Cortacircuitos.	Pararrayos.	Aisladores.	Alimentadores.	Breakers de HV.	Fusibles de HV.	Breakers de baja tensión.	Fusibles de baja tensión.
AÑO	CANTIDAD DE COMPONENTES.								
Periodo 1996-1998	18	25	53	72	-	3	28	182	189
Total de empresas (%)	71.42	71.42	57.14	42.85	0	7.14	64.28	57.14	50.00

Tabla 3.46. Cantidad de componentes eléctricos reportados en el periodo 1996-1998.

Cantidad de equipos reportados en el período 1996-1998.						
MAQUINAS O EQUIPO.	Motores.	Arrancadores de motores.	Reguladores de voltaje.	Controles automático de maquinaria.	Ups.	Computadoras.
AÑO	CANTIDAD DE EQUIPOS.					
1996-1998	365	349	19	123	54	129
Total de empresas <sup>16</sup> (%)	26.08	26.08	13.04	30.43	65.21	69.56

Tabla 3.47. Cantidad de equipos y maquinas reportadas en el período 1996-1998.

Además observando la tabla 3.47, se observa que los motores y computadoras son los que más en cantidad han sido reportados, por lo que es lógico suponer que la probabilidad de fallas es mucho mayor que los demás tipos de elementos, maquinas y equipos eléctricos.

Los índices de confiabilidad de los sistemas básicos que tienen mas utilidad y significado en los sistemas de distribución o sistemas de potencia de las empresas son:

- ✓ Frecuencia de interrupciones.
- ✓ Duración de las interrupciones.

Estos índices pueden ser fácilmente calculados usando métodos que se describen en el anexo H. Estos índices pueden utilizarse para calcular otros índices que son también útiles, como lo son:

- ✓ Tiempo de interrupción total (promedio) por año (u otro periodo de tiempo).
- ✓ Sistema disponible ó no disponible.
- ✓ Energía esperada, demandada, pero no suplida por año.

Además de poder encontrar los índices de los sistemas de potencia mencionados anteriormente con información de componentes discretos de los sistemas, también la probabilidad de una falla de potencia puede ser determinada estudiando el registro de la

<sup>16</sup> Del total de empresas que contestaron esta pregunta

planta o de la compañía de suministro eléctrico. A continuación se presenta un ejemplo de tabla que puede ser usada para las anotaciones de las fallas de potencia.

Fecha	Hora	Duración	Línea de transmisión	Causa de la falla.
9 de Marzo	09:52	10 min	14	-
11 de Junio	21:53	12 seg	14	-
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Tabla 3.48. Ejemplo de anotaciones de fallas de potencia.

Se debe hacer una proyección, trabajando con la compañía de servicio eléctrico, acerca de si ó no el servicio de suministro de potencia mejorará ó declinará. Dado que el costo de una falla de potencia, definida en éste estudio, es pagado por el usuario, es importante que él ó ella relacione la integridad de la duración del servicio de potencia y la calidad que se necesita.

Con ayuda de tablas igual o parecidas a la anterior se pueden calcular los índices de confiabilidad explicados, como la frecuencia de interrupciones y la duración de interrupciones para cada sistema o subsistema. Evitando con esto realizar cálculos matemáticos usando la razón de falla y duración de falla o reparación de cada componente envuelto en el sistema o subsistema, para encontrar dichos índices de confiabilidad que en algunas ocasiones son bastantes tediosos calcularlos.

La razón de falla y la duración de falla de los componentes eléctricos de los sistemas de distribución u otros, puede afectar significativamente el desempeño de dichos sistemas y los procesos de producción de las empresas industriales y comerciales. Históricamente los datos de confiabilidad de los componentes de los sistemas de potencia proveen la habilidad para predecir el desempeño de varias configuraciones de líneas de transmisión de energía eléctrica y calcular el impacto económico de las salidas forzadas ( Interrupciones ) de los sistemas de potencia sobre los usuarios industriales y comerciales. Las metodologías de predicción son explicadas en el anexo H.

En esta sección se resumen los resultados obtenidos por medio de las preguntas No.19 y No.20 del cuestionario que se presenta en el anexo B. Estos datos resume los índices mencionados anteriormente para los componentes de los sistemas de los sistemas de potencia como: Transformadores, Pararrayos, Aisladores, etc.. Este estudio fue basado sobre el periodo de 1996-1998.

Tabla 3.49			
Tamaño de la muestra. ( unidades-años )	Numero de Falla reportadas.	Equipo eléctrico.	Razón de Fallas ( Fallas/unidad-años ).
45	3	Transformadores de HV.	0.0666
62.5	2	Cortacircuitos.	0.0320
132.5	0	Pararrayos	-
180	1	Aisladores.	0.0055
-	3	Alimentadores.	-
7.5	1	Breakers de HV.	0.1333
70	9	Fusibles HV.	0.1285
455	72	Breakers de baja tensión	0.1582
472.5	49	Fusibles de baja tensión.	0.1037

Tabla 3.49. Razón de fallas de componentes eléctricos.

Es importante mencionar que estos datos son de naturaleza preliminares, y se deja para estudios posteriores la determinación de estos índices con el objetivo de aumentar probabilísticamente la veracidad de dichos datos. En la siguiente tabla se muestra la razón de falla encontrada para cada elemento, como también la razón de falla estimada, usando los límites de confiabilidad expuestos en el anexo I. Se usará el 80% de confiabilidad.

Tabla 3.50					
Tamaño de la muestra. ( unidades-años )	Numero de Falla reportadas.	Equipo eléctrico.	Razón de Fallas ( Fallas/unidad-años ).	Razón de falla estimada	
				$\lambda_L$	$\lambda_U$
45	3	Transformadores de HV.	0.0666	0.0199	0.1532
62.5	2	Cortacircuitos.	0.0320	0.0080	0.0842
180	1	Aisladores.	0.0055	-	-
7.5	1	Breaker de HV.	0.1333	-	-
70	9	Fusibles de HV.	0.1285	0.0784	0.1863
455	72	Breaker de baja tensión.	0.1582	0.1297	0.1898
472.5	49	Fusibles de baja tensión.	0.1037	0.0829	0.1265

Tabla 4.50. Razón de fallas estimadas.

### 3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Los costos por falla explicadas en este capítulo solamente considera daños a equipos la cual incluye cambios, mantenimiento preventivo o reparación de estos.
- El método de restauración del servicio eléctrico empleado más comúnmente por las empresas no depende necesariamente de ellas, si no de la naturaleza de la falla del componente, porque por lo general el método reparar el componente dañado se utiliza cuando es factible y reemplazar el componente dañado cuando es necesario.
- Los métodos de restauración del servicio que no se consideran en este estudio no son aplicables a los sistemas de potencia de las empresas, ya que el 97% de estas tienen sistemas sencillos. Estos métodos en mención son aplicables a sistemas de distribución porque las configuraciones de estos son bastantes complejas, por lo tanto se recomienda un estudio a evaluar estos métodos en los sistemas de las distribuidoras de energía eléctrica del país.
- En un estudio posterior si se desea determinar la razón de fallas de componentes eléctricos de sistemas de energía eléctrica, se debe especificar en una forma fácil de responder en el cuestionario la clasificación de cada componente de acuerdo al voltaje de trabajo; alto voltaje, voltaje medio y bajo voltaje para que no haya mal interpretación de los datos obtenidos.
- De acuerdo a los resultados las empresas comerciales tardan menos tiempo para alcanzar los niveles de producción que se tenía antes de que ocurriera una interrupción que las empresas industriales. La grande empresa industrial se tarda menos tiempo que la industrial con capacidad instalada menor de 50 KW para comenzar a producir, este resultado es lógico ya que el promedio de las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW tienen mayores pérdidas por minuto que no trabajen.
- Existe una gran variación en los resultados de los costos por KWH o KW debido a interrupciones de potencia, por el cual la mediana de los costos por interrupción puede ser más representativa que el promedio de los costos por interrupción.
- Las plantas industriales con capacidad instalada menor de 50 KW, tienen un mayor costo por interrupción (por KWH y por KW) que las plantas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW. Esto se puede deber a que la pequeña industria tiene menos empleados por kilowatt (o kilowatt-hora). Recordemos que según los resultados aproximadamente el 75% de las pérdidas se deben a salarios de empleados por tiempo improductivo.

- La mayoría de empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW no pueden estar sin energía por más de un minuto, por lo tanto las empresas como las distribuidoras de energía deben de tratar de que las interrupciones independientemente de sus causas duren el menor tiempo posible o que por lo menos no sobrepase la mediana de la duración del tiempo crítico de la pérdida del servicio presentado en la tabla, con el objetivo de que las empresas no experimenten pérdidas significativas por este factor.
  
- Como se puede observar en las tablas el valor de pérdidas por falla debido a reparación o sustitución de equipos es bastante elevado por lo que se recomienda que las empresas tomen las medidas necesarias para disminuir estos costos.
  
- Para evaluar la confiabilidad de un sistema de distribución con el objetivo de mejorar dicho sistema se debe considerar además de la metodología utilizada en este capítulo, otros factores que también influyen en el diseño o mejoramiento de un sistema. Por ejemplo; un estudio de pérdidas de la red considerada, ya que esto tiene un gran impacto en la eficiencia del sistema.
  
- Se hace saber que los resultados presentados en este capítulo se consideran preliminares, por lo tanto está sujeto a un estudio posterior con el objeto de mejorar los resultados con respecto a la cantidad de información.

### 3.5 REFERENCIA BIBLIOGRAFIA.

- [1] IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility System, Parte IV, Distribution, Orange Book.
- [2] Factor That Increase The Likelihood of Power Failures, Chapter III, Gold Book.
- [3] Lilian Esmeralda C. M. Trabajo de Graduación. " Estudio de Carga para el Establecimiento de Relaciones de Demanda, en Urbanizaciones y Lotificaciones en Sectores de Clase Media hasta Alta," .1996.
- [4] Report on Reliability Survey of Industrial Plant, Part II: Cost of Power Outages Plant Restar Time, Critical Service Loss Duration Time, and Type of Loads Lost Versus Time of Power Outages. IEEE-IAS Transactions , Mar/Apr 1974.
- [5] Goldein, M. And P.D Speranza, " The Quality of U.S. Commercial AC Power," INTELEC (IEEE International Telecommunications Energy Conference ), 1982, pp. 28-33 [ch1818-4]
- [6] Allen, G.W and D. Segall, " Monitoring of Computer Installation for Power Line Disturbances," IEEE Winter Power Meeting Conference Paper, WINPWR C74 199-6, 1974 (abstract in IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-93, Jul/Aug 1974, p.1023.
- [7] Jeff Lamoree, Member IEEE, " Voltage Sags Analysis Case Studies," IEEE Transaction on Industria Applications, Vol. 30, No. 4, July/August 1994.
- [8] D.O. Koval, R. Billinton. " Statical and Analitical Evaluation of the Duration and Cost of Consumer Interruptions ". University of Saskatchewan, Appendix M, Gold Book.
- [9] IEEE Committee Report. " Report on Reliability Survey of Industrial Plants, Part I: Reliability of Electrical Equipmente ". Gold Book.
- [10] IEEE Committee Report. " Report on Reliability Survey of Industrial Plants, Part V: Plant Climate, Atmosphere, and Operating Shedule, The Average Age of Electrical Equipment, Percent Production Lost, and the Method of Restoring Electrical Service After a Failure". Appendix B. Gold Book.
- [11] IEEE. " IEEE Recommended Practice For the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems ". IEEE std 493-1990, Gold Book.

ANEXO A

**CAESS, S.A. DE C.V.**  
**NUEVA CODIFICACION DE TARIFAS SISTEMA CAESS - EE0**

TARIFA	CODIGO DE TARIFA	CARGO DE COMERCIALIZACION		CARGO POR USO DE LA RED		CARGO POR USO DE POSTE \$ /MES	OBSERVACIONES
		FIJO \$/MES	VARIABLE \$/Kwh	FIJO \$/MES	VARIABLE \$/Kwh		
PEQ.DEMANDAS RESIDENCIAL (10 KW O MENOS): BLOQUE 1: Hasta 200 Kwh BLOQUE 2: Más de 200 Kwh	R	9.68	0.698	5.68	0.206		Esta tarifa se aplicará a todos los servicios clasificados con la anterior tarifa 1D. Algunos de estos servicios probablemente tengan demanda superior a 10 KW, los cuales deberán ser depurados posteriormente a la implantación para ubicarlos en la tarifa correspondiente.
PEQUEÑAS DEMANDAS GENERAL (10 KW O MENOS)	G	9.68	0.699	13.08	0.194		Esta tarifa se aplicará a todos los servicios clasificados con la anterior tarifa 2VS y la 5B, pero que los consumos de energía de los últimos seis meses sean iguales o menores de 3,000 Kwh por mes.
PEQUEÑAS DEMANDAS ALUMBRADO PUBLICO	AP	9.68	0.508		0.259		Esta tarifa se aplicará a todos los servicios sin medidor (con cargo de alumbrado público de las diferentes Alcaldías Municipales, alumbrado público particular, iluminación de rótulos luminosos y vallas de casetas telefónicas. Los servicios de vallas luminosas y servicio de alumbrado público particular están todos contemplados en el GRUPO 63, y se aplicaran estos precios a los servicios de dicho grupo estén identificados como valla con el código "V" y alumbrado público particular con el código "A".
PEQUEÑAS DEMANDAS ALUMBRADO PUBLICO PARA ROTULOS LUMINOSOS INSTALADOS EN POSTERIA DE CAESS	APR RP	9.68	0.508		0.259	25.00 25.00	Esta tarifa se aplicará a todos los servicios sin medidor (con cargo para rótulos luminosos (APR) y no luminosos (RP). Para rotulos luminosos se facturará mensualmente 52 Kwh por cada unidad. Esos servicios están actualmente contemplados en el GRUPO 63, y la tarifa que se les aplicará será la siguiente: a) Los servicios identificados con el código "R" y "P" se les aplicará la tarifa APR. Los servicios identificados únicamente con el código "P" se aplicará la tarifa RP.
MEDIANAS DEMANDAS SIN MEDICION DE POTENCIA	MD3	9.68	0.699	329.93	0.183		Esta tarifa se aplicará a todos los servicios clasificados con la anterior tarifa 2VS y la 5B, pero con consumo de energía superiores a 3,000 Kwh que no tengan medidor de máxima demanda. También servicios clasificados con la anterior tarifa 4P con medidor electromecánico de energía y máxima demanda, cuyo uso sea diferente al provisional por construcción o ferias.
SERVICIOS ESPECIALES (PEQUEÑAS, MEDIANAS Y GRANDES DEMANDAS)	SP	9.68	1.132		0.338		El mínimo mensual será siempre de 100 Kwh por mes para cada servicio. Esta tarifa se aplicará a los servicios provisionales por construcción, por feria y otros que no se puedan clasificar dentro de otras tarifas por su carácter especial, como por ejemplo los servicios agroindustriales en el periodo de fuera de temporada.
SERVICIOS DE USO EXCLUSIVO DE RAYOS X (PEQUEÑA, MEDIANAS Y GRANDES DEMANDAS)	SPX	9.68	1.132		0.338		Para fines de facturación de equipos para uso exclusivo de Rayos X se aplicarán los precios de esta tarifa, considerando 60 Kwh por cada KVA de capacidad del aparato.

TARIFA	CODIGO DE TARIFA	CARGO DE COMERCIALIZACION		CARGO POR USO DE LA RED		OBSERVACIONES
		FIJO \$/MES	ENERGIA \$/Kwh	FIJO \$/MES	POTENCIA \$/KW/MES	
MEDIANAS (Y GRANDES) DEMANDAS CON MEDICION DE POTENCIA SIN HORARIO.	MD1 MD2	9.68	0.676		83.37	Esta tarifa se aplicará a los siguientes servicios: a) Los servicios clasificados con la anterior tarifa 2VS y 5B, con consumos superior a 3,000 Kwh que tengan medidor de energía y máxima demanda; Los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VS y 5B con medidor electromecánico de energía y máxima demanda.
		9.68	0.622		33.80	

TARIFA	CODIGO DE TARIFA	CARGO DE COMERCIALIZACION ATENC. CLIENTE	CARGO POR CONSUMO			CARGO POR USO DE LA RED POTENCIA	OBSERVACIONES
			ENERGIA EN PUNTA (HR)	ENERGIA EN RESTO (HR)	ENERGIA EN VALLE (HV)		
TARIFA GRANDES DEMANDAS POTENCIA MAYOR DE 50 KW.	GD1 GD2	9.68	0.906	0.704	0.210	85.21	Esta tarifa se aplicará a los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VP y 5B con medidor de energía y potencia electrónico.
		9.68	0.834	0.648	0.193	33.80	

# Memorándum

PARA:

DE:

FECHA: 21 DE JULIO DE 1998

ASUNTO: NUEVA CODIFICACION DE TARIFAS.

No. 272

El presente memorándum tiene por objeto confirmar la aplicación de las diferentes tarifas a los clientes de CAESS que entrará en vigencia con la implantación del nuevo sistema de facturación de EEO en CAESS.

Se respetará la codificación de las tarifas que la EEO aplica a sus clientes, sin embargo será necesario crear nuevas tablas de tarifas para poder facturar a los clientes que tienen tarifas especiales.

A partir de la migración de la data de cada grupo, la tarifa que se aplique a cada cliente quedará permanentemente asignada, para el cambio de tarifa a un cliente se utilizarán los procedimientos vigentes.

Adicionalmente a la nueva codificación de tarifas, es recomendable mantener la codificación de anterior pero como uso del servicio, según lo informamos a la SIGET.

A continuación se detallan los códigos y precios de las diferentes tarifas que aplicaremos en el nuevo sistema de facturación:

## 1. TARIFA PEQUEÑAS DEMANDAS RESIDENCIAL (10 KW O MENOS)

CONCEPTOS	PRECIOS Bloque 1 Hasta 200 Kwh	PRECIOS Bloque 2 Más de 200 Kwh
CODIGO DE TARIFA	R	R
Cargo de Comercialización:		
Cargo fijo: ¢/mes	9.68	9.68
Cargo por consumo:		
Cargo variable ¢/Kwh	0.698	0.689
Cargo por uso de la red:		
Cargo fijo: ¢/mes	5.68	8.00
Cargo variable ¢/Kwh	0.206	0.204

**2. TARIFA GRANDES DEMANDAS POTENCIA MAYOR DE 50 KW, MEDICION DE POTENCIA SIN HORARIO.**

CONCEPTOS	PRECIOS BAJA TENSION	PRECIOS MEDIA TENSION
CODIGO DE TARIFA	<b>GD3</b>	<b>GD4</b>
Cargo de Comercialización: Atención al cliente           ¢/mes	9.68	9.68
Cargo por consumo: Energía                           ¢/Kwh	0.676	0.622
Cargo por uso de la red: Potencia                       ¢/KW/mes	83.37	33.80

Esta tarifa se aplicará a los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VP y 5B con medidor electromecánico de energía y potencia.

En la estrategia de implantación del sistema de EEO se había considerado que estos servicios se facturarían con los precios de las tarifas MD1 o MD2, dependiendo si son en BT o MT, sin embargo esto nos distorsionaría las estadísticas ya que aproximadamente 716 servicios que están en Grandes Demandas MT sin horario (medidor mecánico) se sumarían a los 74 servicios que actualmente están clasificados en la tarifa MD2.

Al clasificarlo de esta manera se evitará distorsionar nuestras estadísticas.

Atentamente,

CC: GERENCIA GENERAL  
GERENCIA FINANCIERA  
GERENCIA TECNICA  
ATENCION GRANDES CLIENTES  
ATENCION AL CLIENTE  
AGENCIAS  
FACTURACION E INGRESOS  
PLANIFICACION COMERCIAL

# Memorándum

PARA:

DE:

FECHA: 21 DE OCTUBRE DE 1998

ASUNTO: **NUEVA CODIFICACION DE TARIFAS PARA GRANDES DEMANDAS.**

No: 407

El presente memorándum es complemento al No. 272 sobre la nueva codificación de las tarifas en el nuevo sistema comercial de facturación, y tiene por objeto confirmar la aplicación de las tarifas a los clientes de GRANDES DEMANDAS, y que entrará en vigencia con la implantación del nuevo sistema de facturación de EEO en CAESS.

Se respetará la codificación de las tarifas que la EEO aplica a sus clientes, sin embargo será necesario crear nuevas tablas de tarifas para poder adecuarlos a la clasificación y estadísticos que utilizamos en CAESS.

A continuación se detallan los códigos y precios de las tarifas de GRANDES DEMANDAS que aplicaremos en el nuevo sistema de facturación:

## 1. TARIFA GRANDES DEMANDAS POTENCIA MAYOR DE 50 KW, MEDICION DE POTENCIA CON HORARIO.

CONCEPTOS	PRECIOS BAJA TENSION	PRECIOS MEDIA TENSION
CODIGO DE TARIFA	GD1	GD2
Cargó de Comercialización:		
Atención al cliente           ¢/mes	9.68	9.68
Cargó por consumo:		
Energía en punta(HP)           ¢/Kwh	0.906	0.834
Energía en resto(HR)           ¢/Kwh	0.704	0.648
Energía en valle(HV)           ¢/Kwh	0.210	0.193
Cargó por uso de la red:		
Potencia                           ¢/KW/mes	85.21	33.80

Esta tarifa se aplicará a los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VP y 5B con medidor electrónico de energía y potencia.



También se aplicarán los precios de esta tarifa a los servicios de alumbrado público particular a prorrata (con o sin mantenimiento) y que se cobran como un cargo adicional en la factura del servicio eléctrico de las viviendas a los vecinos de varias colonias con quienes se ha contratado este tipo de servicio, a diferencia de que solamente se aplicarán el cargo de uso de red, cargo por consumo de energía y el cargo por mantenimiento de alumbrado público particular cuando esté contratado con el cliente o la comunidad. No se aplicará un cargo de comercialización adicional.

La forma de facturar a estos servicios es la siguiente:

- Alumbrado público particular Colonia San Francisco con mantenimiento.  
Cargo por energía y uso de la red: ₡42.16 (55Kwh/mes por cliente).  
Cargo por mantenimiento de alumbrado: ₡15.54/mes por cliente.  
Cargo total mensual que se aplica en la factura: ₡57.72 por cliente.
- Alumbrado público particular con lámparas CAESS de 175w:  
Cargo por energía y uso de la red: ₡61.36 (80Kwh/mes por cliente).  
Cargo por mantenimiento de alumbrado: ₡15.54/mes por cliente.  
Cargo total mensual que se aplica en la factura: ₡76.90/mes por cliente.
- Alumbrado público particular con lámpara privadas sin mantenimiento:  
Capacidad y consumos por lámpara:  
Lámpara de 175w, 80 Kwh/mes      ₡ 61.36/mes por cliente.  
Lámpara de 250w, 110 Kwh/mes      ₡ 84.37/mes por cliente.  
Lámpara de 400w, 183 Kwh/mes      ₡140.36/mes por cliente.
- Alumbrado público mínimo a prorrata:  
Capacidad y consumo por lámpara:  
Lámpara de 175w, 20 Kwh/mes      ₡ 15.34/mes por cliente.  
Lámpara de 250w, 28 Kwh/mes      ₡ 21.48/mes por cliente.  
Lámpara de 400w, 45 Kwh/mes      ₡ 34.51/mes por cliente.  
Existe además casos especiales en algunas colonias en las que se pueden aplica cargos diferentes a cada vecino.

#### 4. TARIFA PEQUEÑAS DEMANDAS ALUMBRADO PUBLICO PARA ROTULOS LUMINOSOS INSTALADOS EN POSTERIA DE CAESS.

CONCEPTOS		PRECIOS	PRECIOS
CODIGO DE TARIFA		APR	RP
Cargo por uso del poste	₡/mes	25.00	25.00
Cargo de Comercialización:			
Cargo fijo:	₡/mes	9.68	
Cargo por consumo:			
Cargo variable	₡/Kwh	0.508	
Cargo por uso de la red:			
Cargo variable	₡/Kwh	0.259	

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios sin medidor (con cargo fijo) para rótulos luminosos (APR) y no luminosos (RP).

Para rótulos luminosos se facturará mensualmente 52 Kwh por cada unidad.

Los servicios que sean clasificados con esta tarifa, quedarán en esta de forma permanente, para el cambio de tarifa de uno de estos servicios, se usarán los procedimientos vigentes.

Estos servicios están actualmente contemplados en el GRUPO 63, y la tarifa que se les aplicará será la siguiente:

- Los servicios identificados con el código "R" y "P" se les aplicará la tarifa APR.
- Los servicios identificados únicamente con el código "P" se les aplicará la tarifa RP.

#### 5. TARIFA MEDIANAS DEMANDAS SIN MEDICION DE POTENCIA

CONCEPTOS		PRECIOS
CODIGO DE TARIFA		MD3
Cargo de Comercialización:		
Cargo fijo:	¢/mes	9.68
Cargo por consumo:		
Cargo variable	¢/Kwh	0.699
Cargo por uso de la red:		
Cargo fijo:	¢/mes	329.93
Cargo variable	¢/Kwh	0.183

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios clasificados con la anterior tarifa 2VS y la 5B, pero con consumos de energía superiores a 3,000 Kwh que no tengan medidor de máxima demanda. También los servicios clasificados con la anterior tarifa 4P con medidor electromecánico de energía y máxima demanda, cuyo uso sea diferente al provisional por construcción o ferias.

Una vez estos servicios sean clasificados con esta tarifa, quedarán en esta de forma permanente aunque en el siguiente mes sus consumos sean inferiores a los 3,000 Kwh. Para el cambio de tarifa de uno de estos servicios, se usarán los procedimientos vigentes.

#### 6. TARIFA MEDIANAS (Y GRANDES) DEMANDAS CON MEDICION DE POTENCIA SIN HORARIO.

CONCEPTOS	PRECIOS	
	BAJA TENSION	MEDIA TENSION
CODIGO DE TARIFA	MD1	MD2
Cargo de Comercialización:		
Atención al cliente	¢/mes	9.68
Cargo por consumo:		
Energía	¢/Kwh	0.676
Cargo por uso de la red:		
Potencia	¢/KW/mes	83.37
		33.80

Esta tarifa se aplicará a los siguientes servicios:

- Los servicios clasificados con la anterior tarifa 2VS y 5B, con consumos superiores a 3,000 Kwh que tengan medidor de energía y máxima demanda.
- Los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VP y 5B con medidor electromecánico de energía y máxima demanda.

Una vez estos servicios sean clasificados con esta tarifa, quedarán en esta de forma permanente, Para el cambio de tarifa de uno de estos servicios, se usarán los procedimientos vigentes.

#### 7. TARIFA GRANDES DEMANDAS POTENCIA MAYOR DE 50 KW.

CONCEPTOS		PRECIOS BAJA TENSION	PRECIOS MEDIA TENSION
CODIGO DE TARIFA		<b>GD1</b>	<b>GD2</b>
CARGO DE COMERCIALIZACIÓN:			
Atención al cliente	¢/mes	9.68	9.68
CARGO POR CONSUMO:			
Energía en punta(HP)	¢/Kwh	0.906	0.834
Energía en resto(HR)	¢/Kwh	0.704	0.648
Energía en valle(HV)	¢/Kwh	0.210	0.193
CARGO POR USO DE LA RED:			
Potencia	¢/KW/mes	85.21	33.80

Esta tarifa se aplicará a los servicios clasificados con la anterior tarifa 3VP y 5B con medidor de energía y potencia electrónico.

Una vez estos servicios sean clasificados con esta tarifa, quedarán en esta de forma permanente. Para el cambio de tarifa de uno de estos servicios, se usarán los procedimientos vigentes.

#### 8. TARIFA PARA SERVICIOS ESPECIALES (PEQUEÑAS, MEDIANAS Y GRANDES DEMANDAS)

CONCEPTOS		PRECIOS
CODIGO DE TARIFA		<b>SP</b>
CARGO DE COMERCIALIZACIÓN:		
Cargo fijo:	¢/mes	9.68
CARGO POR CONSUMO:		
Cargo variable	¢/Kwh	1.132
CARGO POR USO DE LA RED:		
Cargo variable	¢/Kwh	0.338

El mínimo mensual será siempre de 100 Kwh por mes para cada servicio.

Esta tarifa se aplicará a los servicios provisionales por construcción, por feria y otros que no se puedan clasificar dentro de otras tarifas por su carácter especial, como por ejemplo los servicios agroindustriales en el período de fuera de temporada.

Los servicios que sean clasificados con esta tarifa, quedarán en esta de forma permanente. Para el cambio de tarifa de uno de estos servicios, se usarán los procedimientos vigentes.



ANEXO B

1. Actividad económica a la que se dedica la empresa:

---

2. Datos generales (de la empresa):

<b>Área total de la empresa. ( m<sup>2</sup> )</b>	
<b>Horas de uso al día del edificio.</b>	
<b>Días de uso a la semana del edificio.</b>	
<b>Total de trabajadores</b>	

3. ¿ Qué compañía distribuidora de energía le provee el servicio?. (Marque con X).

<b>CAESS.</b>	
<b>DELSUR.</b>	

4. ¿ Cuantos KWH ( Kilowatts-Hora ) consumió en el siguiente período?.

<b>Mes</b>	<b>Consumo (KWH)</b>	<b>Mes</b>	<b>Consumo (KWH)</b>
Julio 97		Enero 98	
Agosto 97		Febrero 98	
Septiembre 97		Marzo 98	
Octubre 97		Abril 98	
Noviembre 97		Mayo 98	
Diciembre 97		Junio 98	

5. ¿Cuál fue la máxima demanda durante estos 12meses ?.

	<b>KVA</b>
--	------------

6. ¿ Qué tipo de servicio eléctrico tiene?. ( Marque con X ).

<b>Trifasico estrella-estrella 208/120</b>	
<b>Trifasico estrella-delta 240/120</b>	
<b>Trifasico delta abierta 240/120</b>	
<b>Monofasico 220/120</b>	
<b>Otros (especifique)</b>	

---

7. ¿ Cuánto es el costo total en pérdidas que su empresa tiene debido a una interrupción del servicio eléctrico, para los siguientes períodos?.

- a) 1 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- b) 15 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- c) 30 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- d) 1 hora \_\_\_\_\_ colones.
- e) \_\_\_\_\_ horas de duración \_\_\_\_\_ colones.

( Si lo desea desglose estos costos en : laborales, pérdida de materia prima y producto, costos de reinicio de operaciones, etc. Con esto nos ayudará a determinar, donde las empresas son más sensibles a pérdidas, por interrupciones del servicio eléctrico )

8. ¿ Sí tiene planta de emergencia, de cuántos KVA es?.

	KVA
--	-----

9. ¿ Cuántos minutos u horas, su empresa podría estar sin energía eléctrica (Asumiendo que no tiene planta de emergencia), sin que esta interrupción cause costos o pérdidas significativas?.

\_\_\_\_\_

10. ¿ Sufre pérdidas económicas a pesar que su empresa tiene planta de emergencia?. ¿ Detalle en cuánto ascienden?.

- a) 1 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- b) 15 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- c) 30 minutos \_\_\_\_\_ colones.
- d) 1 hora \_\_\_\_\_ colones.
- e) \_\_\_\_\_ horas de duración \_\_\_\_\_ colones.

( Nos será de mucha ayuda si explica en que consisten esas pérdidas)

11. ¿ Cuánto tiempo tarda la empresa, después de restablecerse el suministro eléctrico cuando ocurre una interrupción o apagón, para alcanzar los niveles de producción que se tenía antes de que ocurriera dicha interrupción?.

\_\_\_\_\_

12. ¿ A sufrido daño su maquinaria o equipo, debido a interrupciones o perturbaciones eléctricas?. ( Marque con X ).

Causa	Sí	No
Interrupción eléctrica		
Perturbación eléctrica		

Si la respuesta a la pregunta anterior fue SI, siga con la siguiente si no sáltese a la pregunta 14.

13. ¿ Qué tipo de equipo ó maquinaria se le arruinó y cuánto costó su reparación?. ¿ Si sustituyó el equipo detalle cuánto costo?.

---



---

14. ¿ En los últimos años cuántas interrupciones de energía eléctrica ha experimentado su empresa?. ( Marque con X ).

Año	INTERRUPCIONES.								
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80 o más
1996									
1997									
1998									

15. ¿Cuál es la duración mínima, promedio y máxima de las interrupciones de energía eléctrica experimentada por su empresa en los años reportados en la pregunta anterior?.

Año	Interrupción mínima (minutos)	Interrupción máxima (minutos)	Interrupción promedio (minutos)
1996			
1997			
1998			

16. ¿ Con respecto a la pregunta 14, cuántas de esas interrupciones se debieron a problemas en SU sistema de energía eléctrica?. ( Marque con X ).

Año	INTERRUPCIONES.								
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80 o más
1996									
1997									
1998									

17. ¿ Si la interrupción se debió a fallas en su sistema de suministro eléctrico que hizo para minimizar los efectos de esto en la producción?. ( Marque con X ).

Reparar el elemento dañado	
Colocar un nuevo elemento	
Utilizar una red eléctrica paralela	
Otro (especifique)	

---



---

18. ¿ De las fallas reportadas en su sistema eléctrico o maquinaria, que elemento o dispositivo causó más pérdidas económicas a la empresa?. ( Marque con X ).

<b>Transformadores de HV.</b>		<b>Breakers.</b>	
<b>Cortacircuitos.</b>		<b>Fusibles.</b>	
<b>Pararrayos.</b>		<b>Motores.</b>	
<b>Aisladores.</b>		<b>Arrancadores de motores.</b>	
<b>Alimentadores.</b>		<b>Otros ( Especifique ).</b>	

19. ¿ Cuántas veces en los últimos 3 años (1996, 1997 y 1998), han fallado los siguientes elementos eléctricos o equipos, debido a interrupciones o perturbaciones eléctricas?.

<b>ELEMENTOS ELÉCTRICOS.</b>		<b>EQUIPOS O MAQUINAS.</b>	
<b>Transformadores de alta tensión.</b>		<b>Arrancadores de motores.</b>	
<b>Cortacircuitos.</b>		<b>Motores.</b>	
<b>Pararrayos.</b>		<b>Reguladores de voltaje.</b>	
<b>Aisladores.</b>		<b>Controles automáticos de maquinaria</b>	
<b>Alimentadores.</b>		<b>Ups.</b>	
<b>Breakers.</b>		<b>Computadoras.</b>	
<b>Fusibles.</b>		<b>Otros ( Especifique ).</b>	

20. ¿ Cuántos de los elementos o equipos mencionados en la tabla siguiente poseen en su empresa?.

<b>ELEMENTOS ELÉCTRICOS.</b>		<b>EQUIPOS O MAQUINAS.</b>	
<b>Transformadores de alta tensión.</b>		<b>Arrancadores de motores.</b>	
<b>Cortacircuitos.</b>		<b>Motores.</b>	
<b>Pararrayos.</b>		<b>Reguladores de voltaje.</b>	
<b>Aisladores.</b>		<b>Controles automáticos de maquinaria</b>	
<b>Alimentadores.</b>		<b>Ups.</b>	
<b>Breakers.</b>		<b>Computadoras.</b>	
<b>Fusibles.</b>		<b>Otros ( Especifique ).</b>	

A continuación se deja un espacio para que anote aclaraciones o inquietudes de cualquier pregunta y que usted considere necesario para lograr el objetivo de esta investigación.

Gracias por su valiosa colaboración.

ANEXO C

## EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONFIABILIDAD.

Hay muchos métodos de variantes grados de complejidad para lograr las evaluaciones económicas. Se debe tener precaución, sin embargo, ya que estos datos son de naturaleza muy generales, y pueden haber divergencias muy grandes en algunos casos individuales.

Algunos de los métodos normalmente más aceptados para el análisis económicos son:

1. Requisitos del rédito (RR).
2. Retorno de la inversión (ROI).
3. Costos de ciclo de Vida (LCC).

No es el intento de este estudio estipular el método a usar ni la profundidad en que cada análisis se debe realizar. Se considera ser la prerrogativa del ingeniero y dependerán de la administración y del tiempo disponible para el análisis. A continuación se presenta el método requisitos del rédito (RR) como un ejemplo.

### MÉTODO DE REQUISITOS DEL RÉDITO (RR).

Aunque hay muchas maneras para comparar alternativas, algunos de éstas tiene defectos y debilidades, sobre todo cuando se comparan diseños de alternativas en contraste para proyectos repetidos. La esencia del método RR es que, por cada alternativa de diseño considerado, el mínimo requisito de rédito es determinando (MRR). Esto significa que encontramos cuántos productos nosotros deberemos vender para alcanzar las mínimas ganancias aceptables de la inversión envuelta ó realizada, más todos los gastos asociados con esa inversión. Este requisito del rédito mínimo para cada alternativas de diseño puede ser comparado directamente. El diseño que tenga el más bajo MRR es la opción económica que se debe elegir. El requisito de rédito mínimo es igual a:

1. Gastos de operación variables.
2. Ganancias mínimas aceptables.
3. Depreciación.
4. Impuestos del Ingreso.
5. Gastos fijos de operación.

Estos requisitos de rédito mínimos pueden ser separados en dos partes principales, uno proporcional y el otro no proporcional a la inversión de la alternativa. Esto puede ser expresado con la ecuación:

$$G = X + CF$$

Ec. 1

donde:

$G$  = Requisitos del rédito mínimos para alcanzar las mínimas ganancias aceptables.

$X$  = Gastos de operación variables o no fijos.

$C$  = Inversión de capital.

$F$  = Factor de cargo de la inversión fija.

El último término en la Eq. 1, el producto de  $C$  y  $F$  incluye los ítems (2), (3), (4), y (5) listados en el párrafo precedente. La Ecuación 1 se discutirá ahora.

- $X$  (Gastos variables): El efecto de la falla de un componente causa un incremento en los gastos variables. Cómo grave, éste incremento depende en gran parte de la localización del componente en el sistema y en el tipo de sistema de distribución de potencia empleado. La calidad de un componente instalado puede tener un efecto significativo en el número de fallas experimentadas. Una mala calidad del componente instalado y con mala ingeniería aplicada aumentará grandemente el número de fallas que ocurren, comparado con un componente de alta calidad instalado y con excelente habilidad en ingeniería. Cuando una falla ocurre, se aumentan los gastos variables en dos formas. En la primera, el incremento es el resultado de la falla de él mismo y en la segunda, el incremento es proporcional a la duración de la falla.

Considerando la primera forma, el aumento del gasto debido a la falla, incluye lo siguiente:

1. Daños en los equipos de la planta.
2. Pérdida ó producto fuera de especificación.
3. Costos de mantenimiento extra.
4. Costos por reparación del componente fallado.

Considerando la segunda forma, el tiempo fuera de servicio de la planta resulta de fallos establecidos por el tiempo requerido para que reinicie la planta, más el tiempo para:

1. Reparaciones del defecto, si es un sistema radial, ó
2. Efecto de un traslado de la fuente en donde la falla ocurrió a otra fuente de energía.

Durante el tiempo fuera de servicio de la planta se pierde producción. Esta producción perdida no está disponible para la venta, perdiéndose así ganancias. De cualquier modo, durante el tiempo fuera de servicio de la planta, se cargan algunos gastos, gastos tales como: material, mano de obra, energía, y costos de combustible. Por eso, el valor de la producción perdida son las ganancias perdidas. Algunos de los gastos variables variarán dependiendo de la duración del tiempo fuera de servicio de la planta. Por ejemplo si el tiempo fuera de servicio de la planta es sólo 1 hora, quizás los costos de mano de obra no serán cargados. Pero, si el tiempo fuera de servicio de la planta excede 8 horas, los costos de mano de obra se cargarán. Si asumimos que el valor/hora de los gastos variables no varía con la duración del tiempo fuera de servicio de la planta, entonces se puede expresar el valor de producción perdida por hora base. Este valor total de la producción perdida será el producto del tiempo fuera de servicio de la planta en horas y el valor de la producción perdida por hora.

Se debe notar que ambos, el valor de la producción perdida y los gastos incurridos son proporcionales a la tasa o razón de fallas. El efecto total sobre los gastos variables, si el valor de producción perdida es una constante por hora base, puede ser expresada con la ecuación siguiente:

$$X = \lambda [x_i + (g_p - x_p)(r + s)] \quad \text{Ec. 2}$$

Donde :

$X$  = Gastos variables (Colones por año).

$\lambda$  = Fallas o interrupciones por año o razón de fallos.

$x_i$  = Gastos extras incurridos por la falla (Colones por falla).

$g_p$  = Réditos perdidos por hora de tiempo fuera de servicio de la planta (Colones por hora).

$x_p$  = Gastos variables cargados por hora de tiempo fuera de servicio de la planta (Colones por hora).

$r$  = Tiempo de Reparación o reemplazo después de una falla (o tiempo de transferencia si el sistema no es radial), en horas.

$s$  = tiempo de reinicio de operaciones después de una falla, en horas.

Asuma que:

$X = 0.1$  fallas por año.

$x_i = 40,000$  colones por falla, gastos extras incurridos.

$g_p = 16,000$  colones por hora, réditos perdidos.

$x_p = 12,000$  colones por hora, gastos cargados.

$r = 10$  horas por falla.

$s = 20$  horas por falla.

Entonces, los gastos variables afectados serían:

$$X = (0.1)[40\,000 + (16\,000 - 12\,000)(10 + 20)] = 16,000 \text{ colones por año.}$$

El término  $g_p$ , representa réditos perdidos, y no es verdaderamente un gasto. De cualquier modo, es un rédito negativo, y como tal tiene el mismo efecto en la economía como una variable de gasto positivo. Es conveniente tratarlo como si fuese un gasto.

Una razón de fallas de 0.1 fallas por año es equivalente a un tiempo medio entre fallas de 10 años. Desde que tratamos ésta probabilidad podemos esperar, pero en un caso específico, tener dos falla en un periodo de 10 años y ninguna falla en otro periodo de 10 años. Pero considerando muchos casos similares, esperamos tener un promedio de 0.1 fallas por año, con cada costo promedio de falla de 160,000 colones. Este da una cantidad promedio por año igual al ejemplo anterior de 16,000 colones.

El punto es que aun cuando las fallas reales costaron 160,000 colones y ocurren una vez cada 10 años, una falla dada es tan probable que ocurra en cualesquiera de los 10 años. La cantidad equivalente anual igual a 16,000 colones por año es el valor promedio de una falla en 10 años.

- C (Inversión): Cada alternativa diferente en un sistema de distribución de potencia de una planta industrial envuelve inversiones diferentes. Variando el tipo de construcción y la calidad de los componentes en el sistema, la inversión en los sistemas radiales puede variar extensamente.

El mejor método es hallar una inversión total en cada diseño alternativo. Otro método común es hallar la inversión incremental en todas las alternativas sobre una base o diseño menos costoso. La principal razón para que el método de la inversión total sea preferible es que, comparando alternativas, la inversión es multiplicada por un factor F (que se explicará más tarde). Este factor es usualmente el mismo para algunas alternativas y puede cambiar para otras.

Usar la inversión incremental introduciría un error ligero en las comparaciones económicas.

- F (Factor de cargo de la Inversión): El factor F incluye los ítems siguientes, los cuales son constantes respecto a la inversión:

1. Razón mínima aceptable del retorno de inversión, permitiendo riesgo.
2. Impuesto sobre renta.
3. Depreciación.
4. Gastos Fijos.

Una ecuación para calcular el factor F es:

$$F = \left[ \frac{\left( \frac{S_c a_L}{f_r} \right) - t \bar{d}_t}{1 - t} \right] + e \quad \text{Ec. 3}$$

Esta también puede tomar la forma siguiente:

$$F = \bar{r} + \bar{d} + \bar{t} + e \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

- $\alpha_n = R + d_n$ , factor de amortización o factor de nivelación.
- $\bar{d}_n = R/(S_n - 1)$ , factor fondos de hundimiento.
- $S_n = (1 + R)^n$ , factor del crecimiento o factor del valor futuro.
- $n$  = Periodos de años, tal como  $c$  o  $L$ .
- $c$  = Años antes de poner en marcha la inversión realizada.
- $L$  = Años de vida de la inversión.
- $R$  = Ganancias mínimas aceptables por colones de  $C$  (inversión).
- $f_r$  = Probabilidad de éxito o factor de ajuste del riesgo.

$t =$  Impuestos por renta por colones de  $C$  (inversión).

$\bar{d}_1 =$  Impuesto por renta de depreciación, por colones de  $C$  (inversión)  $= 1/L$ ,  $\bar{d}_1 = 1L$ .

$e =$  Gastos Fijos por colones de  $C$  (inversión).

$r =$  Nivel de devolución de la inversión por colones de  $C$  (inversión).

$\bar{d} =$  Nivel de depreciación de la inversión por colones de  $C$  (inversión).

$t =$  Nivel de impuesto por renta por colones de  $C$  (inversión).

Asumiendo:

$L =$  Veinte años (vida de inversión).

$c =$  Un año.

$R = 0.15$  (Razón mínima aceptable de retorno).

$f_r = 1$  (Factor de ajuste del riesgo).

$t = 0.5$  (razón de impuestos por renta).

$\bar{d}_1 = 1/L = 0.05$ .

$e = 0.0825$ .

entonces:

$$S_C = (1 + R)^C = (1 + 0.15)^1 = 1.15.$$

$$S_L = (1 + R)^L = (1 + 0.15)^{20} = 16.37.$$

$$d_L = R/(S_r - 1) = 0.15/(16.37 - 1) = 0.0098.$$

$$a_L = (R + d_L) = 0.15 + 0.0098 = 0.1598.$$

Sustituyendo en la Eq. 3 para calcular el factor  $F$ , se obtiene:

$$F = \left\{ \frac{\left[ \frac{(1.15)(0.1598)}{1.0} - (0.5)(0.05) \right]}{1 - 0.5} \right\} + 0.0825 = 0.04$$

Todos los valores asumidos son de confianza para el promedio de todos los sistemas de distribución eléctricos, excepto el valor de  $e = 0.0825$ .

Este último valor fue arbitrariamente asumido para hacer que  $R$  redondeara a 0.4. El término  $e$  cubre tales ítems como seguro, impuestos de propiedad y costos fijos de mantenimiento. Un valor típico para  $e$  es probablemente menos que 0.0825.

Se cree que un valor típico para el retorno mínimo aceptable de inversión en muchas plantas industrial es 15%, esto es,  $R = 0.15$ . la razón media de La compañía de retorno, basado en historia pasada ó resultados anticipados, es una medida de cual valor de  $R$  debe ser. En plantas de riesgo más alto que el promedio, el factor de ajuste del riesgo,  $f_r$  debe ser probablemente menor que 1. de cualquier modo, el manejo de la compañía determinará cual deberá ser el valor de  $R$ .

### PASOS PARA LAS COMPARACIONES ECONÓMICAS.

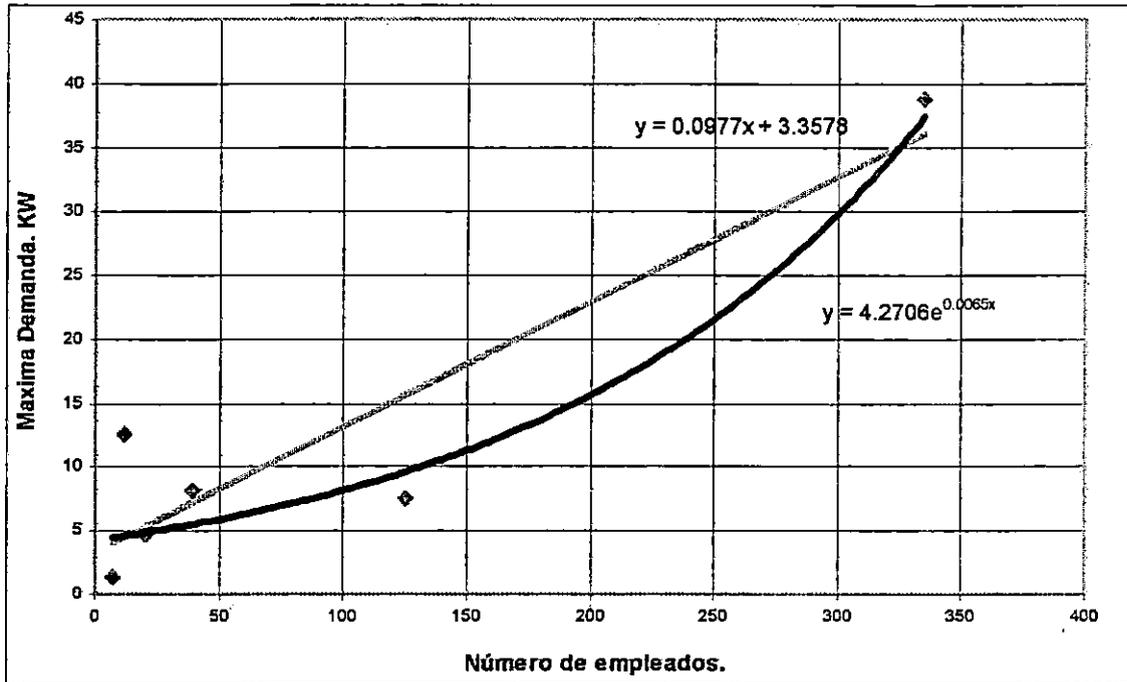
1. Preparar el diagrama unifilar de las alternativas y asigneles razones de falla, tiempos de reparación, e inversión en cada componente, y entonces determine la inversión total  $C$  para cada alternativa.

2. Determine  $X$ , el aumento de los gastos variables para cada diseño como la suma del valor de la producción perdida y los gastos extras variables incurridos.
3. Determine  $F$ , factor de cargo de la inversión fija  $F$  con la Eq. 4.30
4. Calcule  $G = X + CF$ , los requisitos mínimos del rédito  $C$  de cada diseño con la Eq. 4.28
5. Seleccione como la opción económica del diseño el que tenga el valor más bajo de  $G$ .

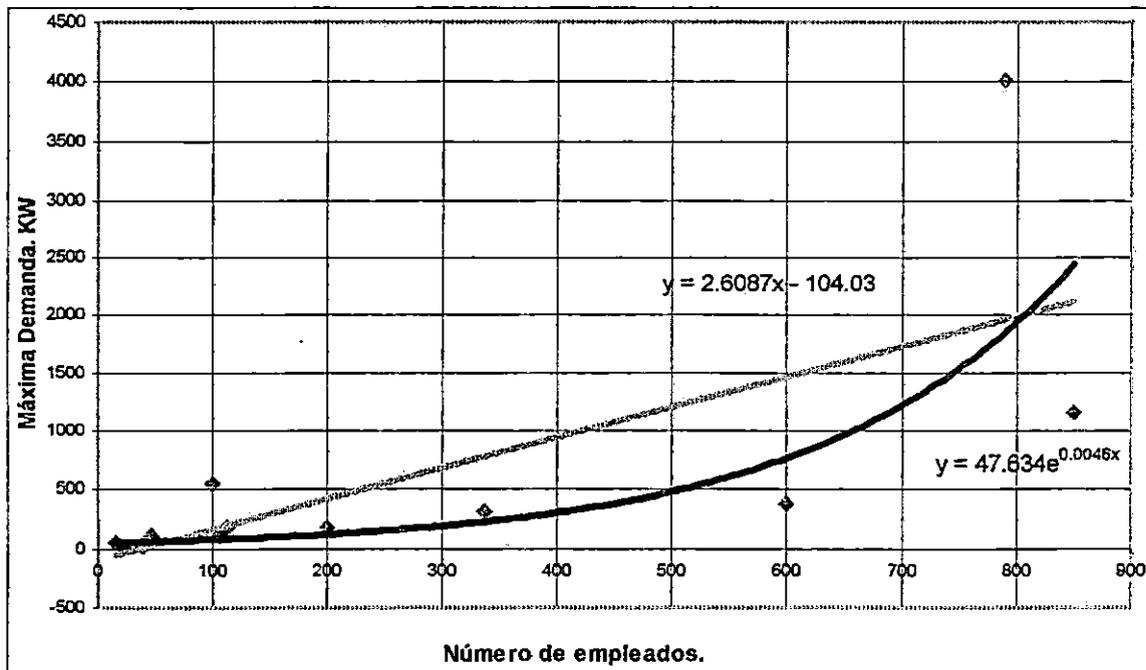
ANEXO D

## MÁXIMA DEMANDA Vrs. NÚMERO DE EMPLEADO.

Los datos que presentaremos a continuación se extrajeron de las pregunta No. 2, 4 y 5 del cuestionario que se presentan en el anexo B, y se muestran en la Gráfica 1.



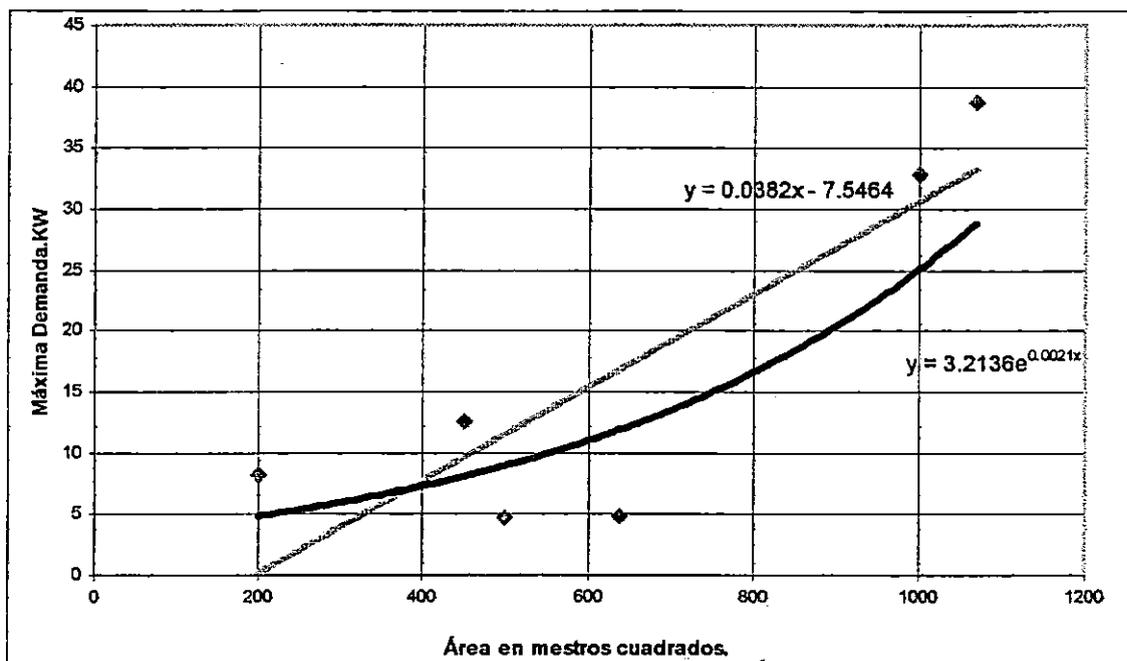
Gráfica 1. Máxima demanda Vrs. Número de Empleados ( Empresas Comerciales ).



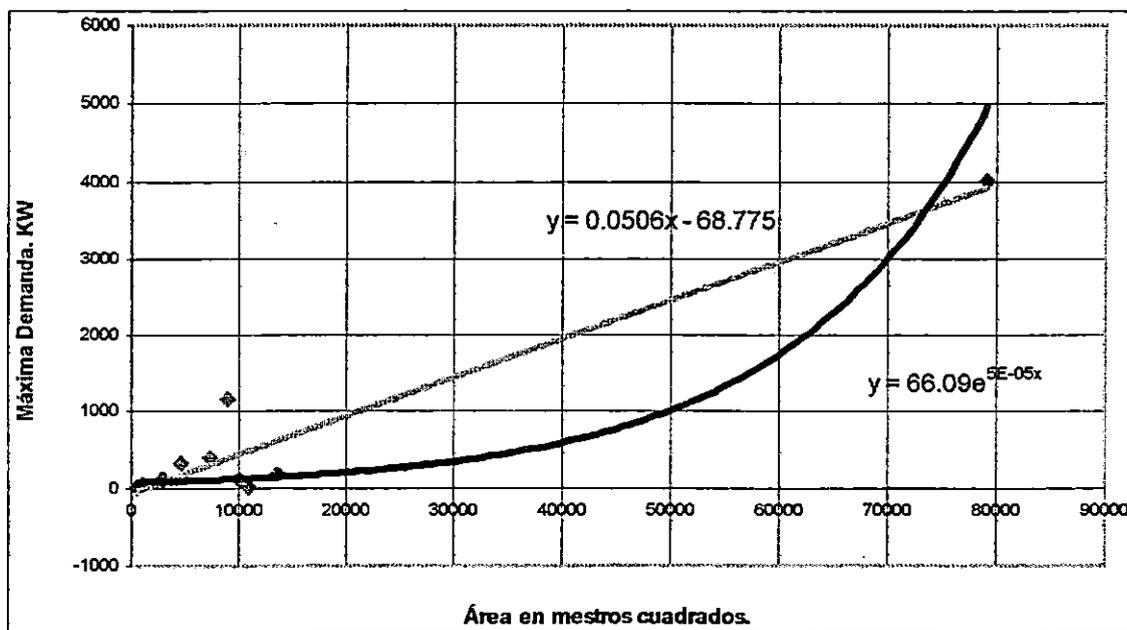
Gráfica 2. Máxima demanda Vrs. Número de Empleados ( Empresas Industriales ).

## MÁXIMA DEMANDA Vrs. ÁREA CONSTRUIDA.

Los resultados se muestran en la gráfica 3 y 4.



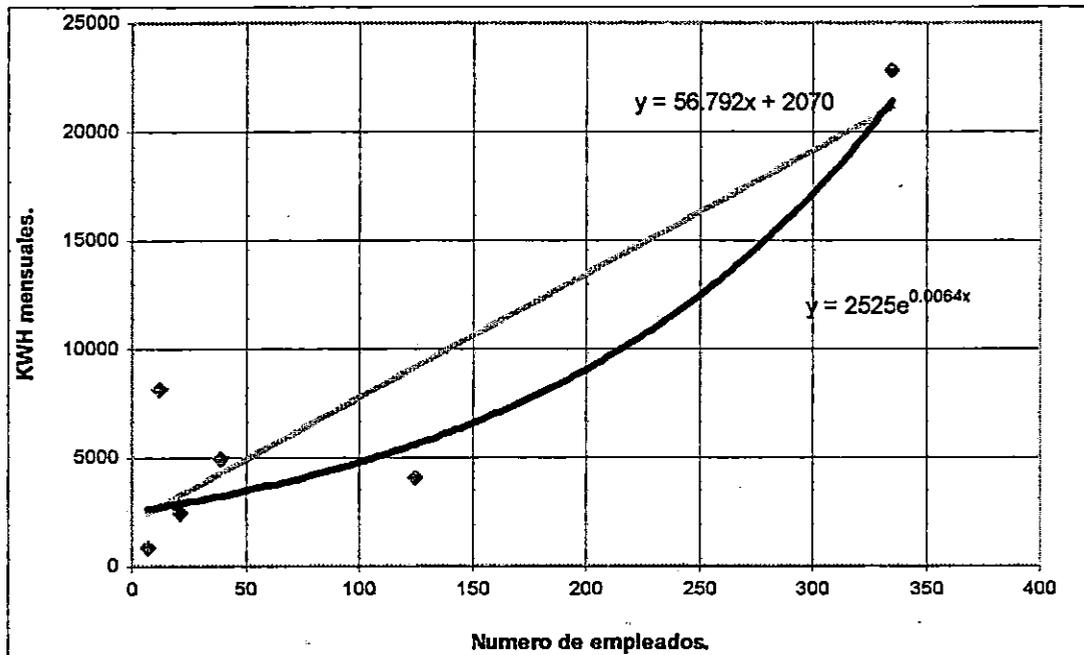
Gráfica 3. Máxima demanda Vrs. Área construida ( Empresas Comerciales ).



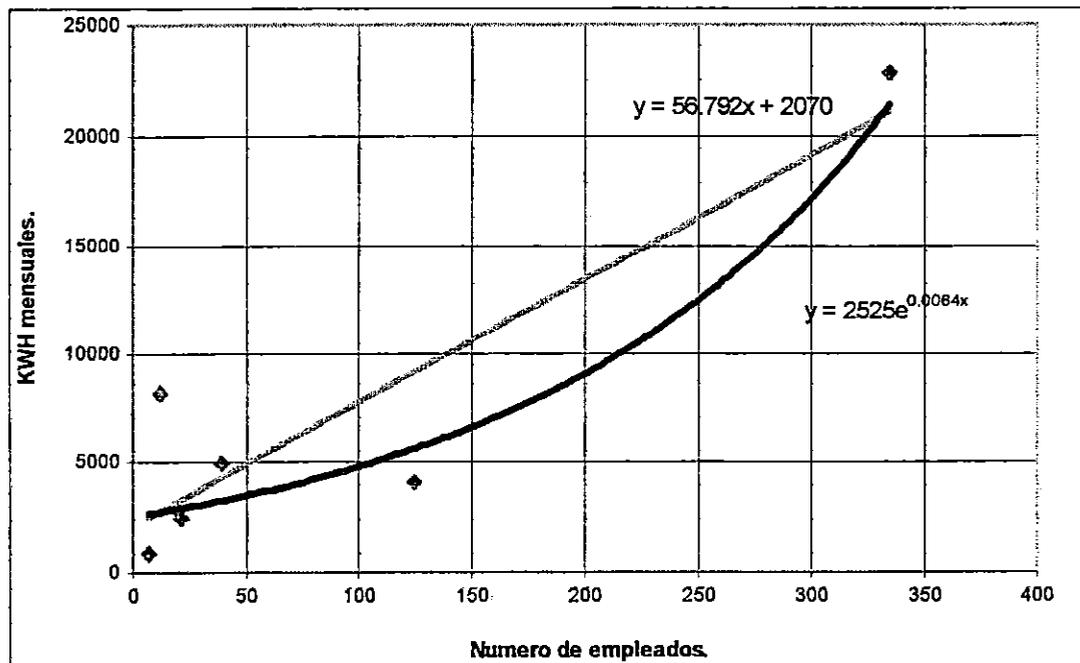
Gráfica 4. Máxima demanda Vrs. Área construida ( Empresa Industriales ).

## KWH MENSUALES CONSUMIDOS Vrs. NÚMERO DE EMPLEADOS.

Los resultados obtenidos se presentan en la gráfica siguiente:



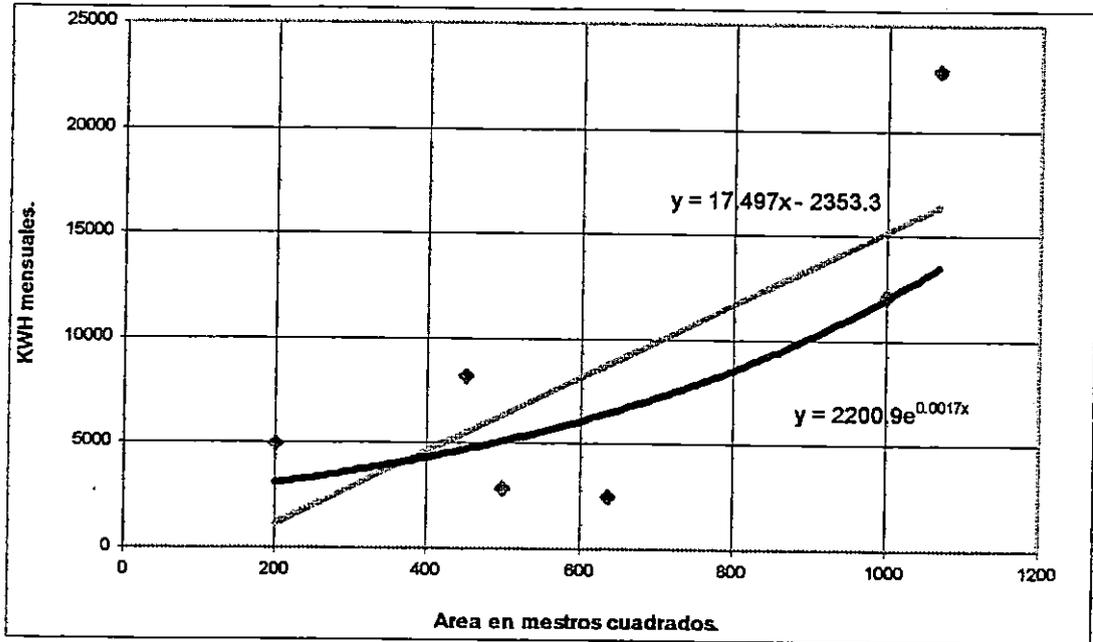
Gráfica 5. KWH mensuales Vrs. Número de empleados ( Empresas Comerciales ).



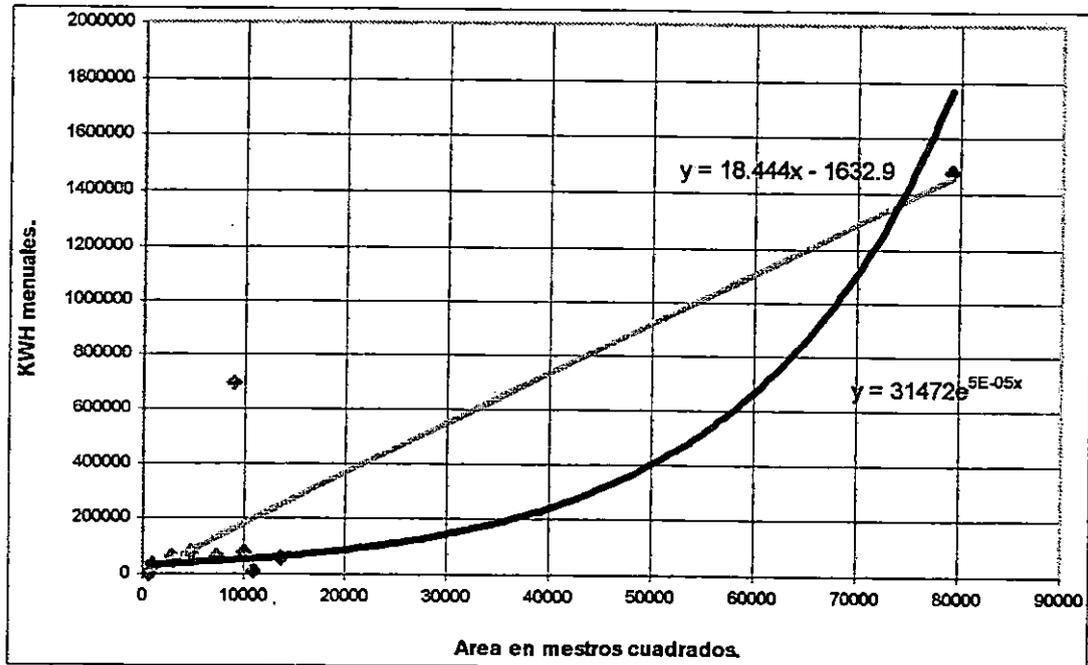
Gráfica 6. KWH mensuales Vrs. Número de empleados ( Empresas Industriales ).

## KWH MENSUALES CONSUMIDOS Vrs. ÁREA CONSTRUIDA.

En la siguiente gráfica se muestran estos resultados:



Gráfica 7. KWH mensuales Vrs. Área construida ( Empresas Comerciales ).



Gráfica 8. KWH mensuales Consumidos Vrs. Área Construida. ( Empresas Industriales ).

En las siguientes tablas se resumen los resultados de las gráficas anteriores en forma de ecuación.

Resumen de Ecuaciones. ( Empresas Comerciales ).		
Relación	Lineal	Exponencial
Máxima Demanda Vrs. Número de Empleados.	$MD=0.0977NEx+3.3578$	$MD=4.2706e^{0.0065NE}$
Máxima Demanda Vrs. Area Construida.	$MD=0.0382AC-7.5464$	$MD=3.21366e^{0.0021AC}$
KWH Mensuales Consumidos Vrs. Número de Empleados.	$KMC=56.792NE+2070$	$KMC=2525e^{0.0064NE}$
KWH Mensuales Consumidos Vrs. Area Construida.	$KMC=17.497AC-2353.3$	$KMC=2200.9e^{0.0017AC}$

Tabla 1. Resumen de ecuaciones. ( Empresas Comerciales ).

Resumen de Ecuaciones. ( Empresas Industriales ).		
Relación	Lineal	Exponencial
Máxima Demanda Vrs. Número de Empleados.	$MD=2.6087NE-104.03$	$MD=47.634e^{0.0046NE}$
Máxima Demanda Vrs. Area Construida.	$MD=0.05060AC-68.775$	$MD=66.09e^{5E-05AC}$
KWH Mensuales Consumidos Vrs. Número de Empleados.	$KMC=1254.3NE-59192$	$KMC=2241e^{0.0048NE}$
KWH Mensuales Consumidos Vrs. Area Construida.	$KMC=18.444AC-1632.9$	$KMC=31472e^{5E-05AC}$

Tabla 2. Resumen de ecuaciones. ( Empresas Industriales ).

Donde:

MD : Máxima Demanda. (KW)  
 KMC : KWH Mensuales Consumidos.  
 NE : Número de Empleados.  
 AC : Área Construida.

ANEXO E

## RELACIONES FUNCIONALES ENTRE EL COSTO Y LA DURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES.

En algunos casos es importante establecer relaciones matemáticas entre los costos como una función de la duración de las interrupciones, para obtener una mejor estimación de éstos para el estudio de la confiabilidad [8]. Las relaciones aproximadas  $y(t)$  del costo por KW de carga interrumpida y la duración de la interrupción ( $t$  en minutos) para los estratos mencionados anteriormente se muestran en la tabla 3.25. y se repite en la tabla 1.

Tabla 1. Perdidas/KW de carga interrumpida.			
Sin Planta de emergencia.			
Estrato	Lineal	Potencial	Exponencial
Industrial menor de 50 KW	$y=20.342x-273.67$	$y=5.3436x^{1.1505}$	$y=25.637e^{0.0416x}$
Industrial Mayor de 50 KW	$y=0.1226x+47.786$	$y=1.5359x^{0.7076}$	$y=7.4281e^{0.0067x}$
Comercial menor de 50 KW	$y=0.9898x+318.81$	$y=4.3842x^{0.8948}$	$y=56.076e^{0.0032x}$
Trabajando con planta de emergencia.			
Industrial mayor de 50 KW	$y=0.0356x+2.7394$	$y=0.4904x^{0.4847}$	$y=1.2121e^{0.0066x}$

Tabla 1. funciones matemáticas entre costo de las interrupciones  $y(t)$  en colones/KW y la duración de las interrupciones ( $t$ ) en minutos.

Las relaciones  $y(t)$  presentadas en el cuadro anterior son los costos/KW sufridas por las empresas cuando sufren una interrupción del servicio eléctrico y éstas no tienen planta de emergencia ó por alguna razón no han trabajado con planta de emergencia<sup>17</sup>. Como se mencionó anteriormente en el capítulo 3, el 36.36% de las empresas industriales con capacidad instalada mayor de 50 KW reportaron pérdidas debido a interrupciones eléctricas, aún cuando estén trabajando con planta de emergencia. En la tabla 1, se resumen además estos resultados. Además el costo total  $YI$  de una sola interrupción de duración  $t$  expresada en minutos a un cliente individual con una carga instalada  $X$  en KW, se encontrará con la siguiente expresión:

$$YI = y(t)X \quad \text{Ec. 1}$$

Dependiendo del tipo de consumidor, la función apropiada se sustituirá en la ecuación 1, para obtener el costo de una simple interrupción. Para evaluar el costo promedio anual de interrupciones  $YA$  para un cliente individual, la ecuación  $YI = y(t)X$  se multiplica por el promedio de frecuencia de interrupciones por año ( $f_s$ ), Así:

$$YA = f_s [y(t)]X \quad \text{Ec. 2}$$

El costo anual de interrupciones puede ser estimado también de la duración promedio de las interrupciones por falla ( $E(t)$ ), asumiendo que la función  $y(t)$  es una función lineal de la duración de las interrupciones, por ejemplo:

$$y(t) = a + bt \quad \text{Ec. 3}$$

Entonces el costo promedio anual  $YA$  es:

$$YA = \frac{1}{n} \sum [a + bt] f_s X \quad \text{Ec. 4}$$

$$YA = [a + bE(t)] f_s X \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$n$  : Número de interrupciones de duración  $t$ , sobre un número entero de años.

<sup>17</sup> Algunas empresas asumieron estos costos.

ANEXO F

Table 3-9—Summary of typical power-line disturbances

Type of voltage disturbance	Voltage level of disturbance	Duration of disturbance	Typical effects on computer equipment	Typical power enhancement projects
Outage	Below 85% V rms	More than 10 s	Built-in voltage sensors will power down computer equipment in an uncontrolled manner. Processing is interrupted usually resulting in excessive restart/run time, possible loss of data, or damage to hardware.	Uninterruptible power supply system, standby diesel generators, dual power feeders, general improvements to power distribution system.
Momentary under- and overvoltage (sags and surges)	Below 85% V rms and above 105% V rms	From 16.7 ms (1 cycle) to 10 s	Equipment may power down depending on duration and magnitude of disturbance. If so, processing is interrupted usually resulting in excessive restart/run time. In severe cases, loss of data and damage to hardware may occur.	Solid-state switching between dual feeders, motor generator sets, fast response line voltage regulators, balance computer load on three-phase power, improve computer equipment grounding, general improvement to power distribution system.
Transient overvoltages (impulses or spikes)	100% V rms or higher (measured as instantaneous voltage above or below the line V rms)	Less than 16.7 ms (1 cycle)	Data disruptions leading to errors, unready indications, etc., may cause individual equipment to stop processing. However, direct effects on the system are not normally detectable. Rarely, a severe transient will cause equipment to power down. Damage to electronic components may also occur if the equipment is not properly grounded or otherwise protected from transient overvoltages.	Isolation transformers, transient suppressors, power-line filters, primary and secondary lightning arrestors, balance computer load, improve computer equipment grounding.

Table 3-10—Relative effectiveness of power enhancement projects in eliminating or moderating power disturbances (U.S. Navy)

Disturbance type	Uninterruptible power supply (UPS) system and standby diesel generator	Uninterruptible power supply (UPS) system	Dual power feeders		Motor-generator	Solid-state line voltage regulator	Specialty shielded isolating transformer	Suppressors, filters, and lightning arresters	Balance computer load on three-phase supply, improve grounding
			Secondary spot network	Secondary selective <sup>a</sup>					
Transient and oscillatory overvoltage	All source-caused transients and no load-caused transients	All source transients and no load transients	None	None	All source transients and no load transients	Most source transients and no load transients	Most source transients and no load transients	Most	Some <sup>b</sup>
Momentary undervoltage or overvoltage	All	All	None	Most	Most	Some (depends on response time)	None	None	Some <sup>b</sup>
Outage	All	Only outages of a duration equal to the discharge time of the battery	Most	Most	Only brown-out	Only brownout	None	None	None

<sup>a</sup> Includes special application of a solid-state switch between two independent sources.

<sup>b</sup> These improvements do not eliminate or moderate power-line disturbances, but they do make the computer equipment significantly less susceptible to under- and overvoltages. Assistance of the computer manufacturer is generally required to identify grounding problems.

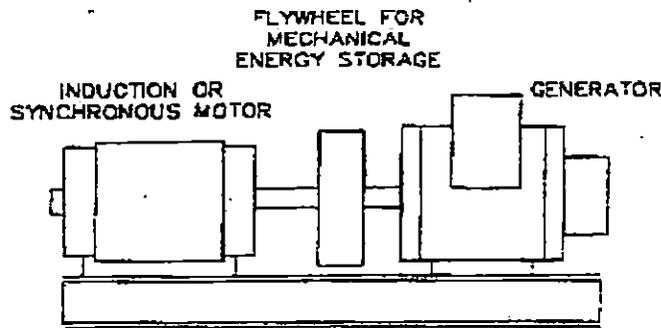
**ANEXO G**

## POSIBLES SOLUCIONES PARA DISMINUIR LOS EFECTOS DE LAS PERTURBACIONES E INTERRUPTIONES ELÉCTRICAS.

### - Sets motor-generador (M-G sets).

El sets M-G ( Gráfica 1 ) usualmente utiliza volante para almacenar energía y está la carga completamente desacoplada del sistema de potencia eléctrica. La energía rotacional en el volante provee una regulación de voltaje y soporta cualquier condición de bajo voltaje.

El sets M-G tiene una relativa alta eficiencia y un bajo costo inicial de capital.



Gráfica 1. Sets Motor-Generador.

### - Fuentes ininterrumpibles de potencia (UPS's).

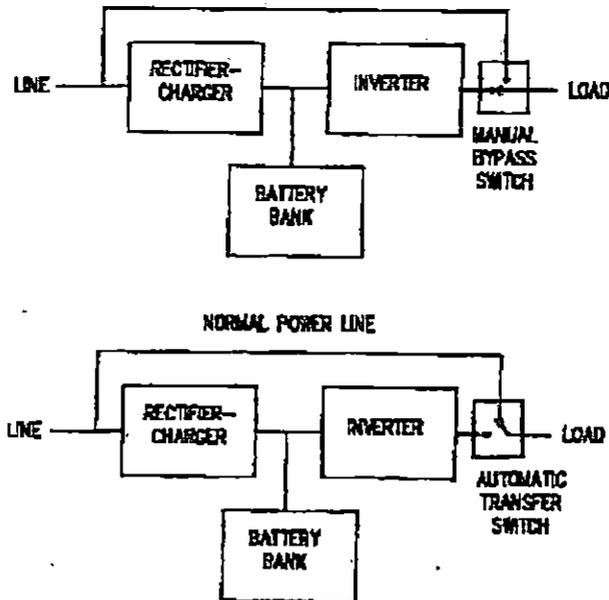
Los UPS's ( Gráfica 2 ) Utiliza baterías para almacenar energía, la cual es convertida a una forma usable durante una interrupción o bajón de voltaje ( Sags ). La tecnología UPS está bien establecida y existen muchas configuraciones diferentes que pueden seleccionarse.

Precauciones:

- ✓ A menos que el UPS esté sobredimensionado, se debe evitar encender nuevos equipos durante el apagón ya que el consumo de energía durante el arranque inicial de algunos computadores puede ser hasta 20 veces mayor que en estado estable.
- ✓ Si requiere instalar conjuntamente un UPS con un acondicionador o un regulador de voltaje, debe conectar en primer lugar el acondicionador, luego el regulador y finalmente el UPS. Sólo si la salida de voltaje del UPS es 100% senoidal se pueden conectar en diferente orden teniendo en cuenta que el primer equipo debe tener la potencia suficiente para soportar a todos los demás.
- ✓ Cuando conecte un UPS a la salida de un acondicionador o de un regulador de voltaje, éste debe ser de mayor potencia que el UPS, especialmente cuando el UPS es on-line, pues no sólo deberá soportar el consumo de los equipos finales y del UPS sino también la carga de las baterías después de un apagón.

### - Transformadores de voltaje constantes, ferorresonantes (CVT's).

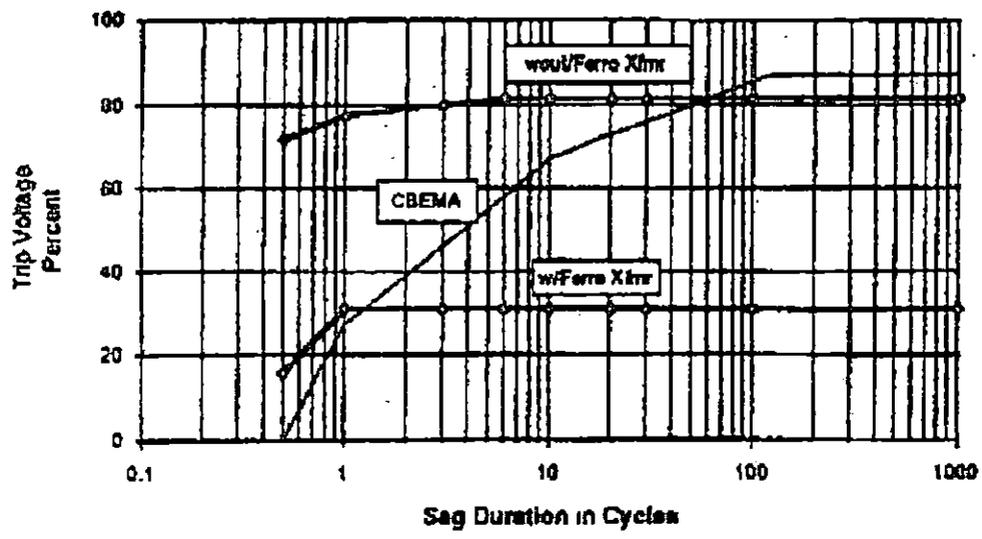
Los CVT's Pueden ser usados para mejorar los bajones de voltaje y son especialmente atractivos para cargas de baja potencia y constante. Las cargas variables especialmente las de grandes corrientes de arranque, presentan más de un problema para los CVT's porque el circuito de salida está sintonizado. Los CVT's son básicamente transformadores con relación de transformación 1:1 , los cuales son altamente excitados por la curva de saturación, así provee una salida de voltaje que no es significativamente afectada por las variaciones de voltaje de entrada. La gráfica 3, muestra el mejoramiento de un bajón de voltaje de un proceso controlado alimentado por un CVT de 120-VA.



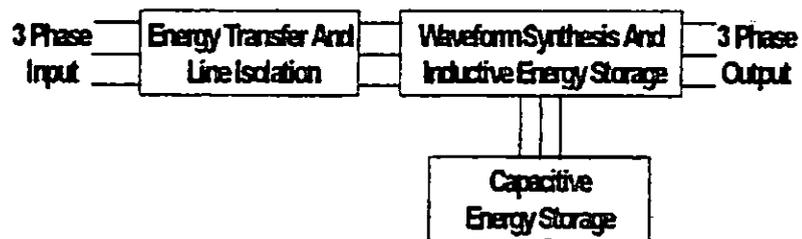
Gráfica 2. Configuraciones de UPS.

- Sintetizadores magnéticos.

Los sintetizadores magnéticos se usan generalmente para cargas grandes. Son a menudo usados para proteger computadoras grandes y otros equipos electrónicos sensibles. Los sintetizadores magnéticos es un dispositivo electromagnético que toma un potencia de entrada y regenera una bien definida forma de onda trifasica de salida. A pesar de la calidad de la potencia de entrada. Un diagrama en bloques se muestra en la gráfica 4.



Gráfica 3. Regulación de voltaje por un CVT.



Gráfica 4. Diagrama en bloque de un sintetizador magnético.

## ANEXO H

## MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS.

Los valores numéricos para las medidas de confiabilidad pueden ser obtenidas por métodos analíticos o a través de simulaciones digitales. Existen tres métodos para encontrar los datos necesarios para evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución, los cuales se describen en el libro *Gold Book* editado por la IEEE, estos son:

- ✓ *State-Space.*
- ✓ *Network Reduction* y
- ✓ *Cut-Set mínimo.*

El método *State-Space* es muy general pero favorece mucho a sistemas relativamente grandes. El método *Network Reduction* es aplicable cuando el sistema consiste en subsistemas series y paralelos. El método *Cut-Set* mínimo se está volviendo muy popular en el análisis de confiabilidad de las redes de transmisión y distribución, por ende se explicará en esta sección.

### MÉTODO *Cut-Set* MÍNIMO.

El método *Cut-Set* puede ser aplicado a sistemas con configuraciones simples o configuraciones complejas y es muy conveniente técnicamente para el análisis de confiabilidad de los sistemas de distribución de potencia. Un "Cut-Set" es "un componente cuya falla solamente causará una falla en el sistema". El método para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas que es recomendado y presentado aquí se ha desarrollado para un determinado número de años. Este método es llamado "método *Cut-Set* mínimo", y es considerado particularmente para el estudio y análisis de sistemas de distribución de potencia eléctrica para plantas industriales y edificios comerciales.

El método es sistemático y directo. Una característica importante de este método es que el lugar frágil del sistema puede ser fácilmente identificado, ambos numéricamente y no numéricamente, de este modo se enfoca la atención a estas secciones del sistema que contribuyen más a la desconfiabilidad del servicio.

El procedimiento para la evaluación de la confiabilidad de los sistemas es bosquejado como sigue:

- ✓ Evaluar los requerimientos de confiabilidad del servicio de las cargas y procesos que son alimentadas y determinar la definición ó definiciones apropiadas de la interrupción del servicio.
- ✓ Llevar a cabo una identificación de los modos de falla, los efectos del análisis y listar éstas fallas de los componentes y combinaciones de falla de componentes que resultan en una interrupción del servicio y que constituyen *Cut-Set* mínimo del sistema.
- ✓ Calcular la frecuencia de interrupciones, la duración de las interrupciones, y la probabilidad de cada *Cut-Set* mínimo del paso (b).
- ✓ Combinar los resultados del paso (c) para encontrar los índices de confiabilidad de sistema.

Asumiendo un componente independiente y denotando la probabilidad de una falla de un componente de un *Cut-Set* por  $P(\bar{C}_i)$ , la probabilidad ( indisponibilidad ) y la frecuencia de fallas del sistema para un mínimo *Cut-Set*  $m$  se obtiene por:

$$P_f = P(\bar{C}_1 \cup \bar{C}_2 \cup \bar{C}_3 \cup \dots \cup \bar{C}_m)$$

$$P_f = P(\bar{C}_1) + P(\bar{C}_2) + \dots + P(\bar{C}_m) \binom{m}{1} \text{terms} - [P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2) + \dots + [P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_j)] \neq J \binom{m}{1} \text{terms}$$

·  
·

$$(-1)^{m-1} P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2 \cap \dots \cap \bar{C}_m) \binom{m}{m} \text{terms}$$

Ec. 1

Donde  $\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2$  por ejemplo denota la falla de los componentes y ambos mínimos *Cut-Set* 1 y 2 y por lo tanto,  $P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2)$  es la probabilidad media de falla de todos los componentes contenidos en  $C_1$  y  $C_2$  lo cual es:

$$P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2) = \prod P_{id} \quad y \quad ie(C_1 \cup C_2)$$

donde:

$P_{id}$  = La probabilidad de un componente  $i$  este en un estado de falla.

$$= r_i / (d_i + r_i)$$

$$= \lambda_i / (\lambda_i + \mu_i)$$

$d_i$  = MTBF de un componente  $i$ .

$\lambda_i$  = razón de fallas de un componente  $i$ .

$$= 1/d_i$$

$r_i$  = MTTR de un componente  $i$ .

$\mu_i$  = Razón de reparación de un componente  $i$ .

$$= 1/r_i$$

$\prod$  = producto.

La frecuencia de fallas es obtenida por:

$$f_f = P(\bar{C}_1)W_1 + P(\bar{C}_2)W_2 + \dots + P(\bar{C}_m)W_m - [P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2)W_{1,2} + P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_3)W_{1,3} + \dots + P(\bar{C}_i \cap \bar{C}_j)W_{i,j}], i \neq j$$

$$(-1)^{m-1} P(\bar{C}_1 \cap \bar{C}_2 \cap \dots \cap \bar{C}_m)W_{1,2,\dots,m}$$

Ec. 2

Donde:

$$W_{i,j} = \sum_{k \in \bar{C}_i \bar{C}_j} \mu_k$$

La duración de falla media es obtenida por:

$$d_f = P_f / f_f$$

Cuando el tiempo medio entre las fallas de los componentes es mucho mayor que el tiempo medio para reparar, las ecuaciones 1 y 2 pueden aproximarse por:

$$P_f = \sum_{i=1}^m P(\bar{C}_i) = \sum P_{CS_i} \quad \text{Ec. 3}$$

y

$$f_f = \sum_{i=1}^m P(\bar{C}_i)W_i = \sum_{i=1}^m f_{CS_i} \quad \text{Ec. 4}$$

donde  $P_{CS_i}$  y  $f_{CS_i}$  son la probabilidad y frecuencia de un acontecimiento *Cut-Set*  $i$ , respectivamente.

También:

$$d_f = P_f / f_f = \frac{\sum_{i=1}^m P_{CS_i}}{\sum_{i=1}^m f_{CS_i}} = \frac{\sum_{i=1}^m f_{CS_i} r_{CS_i}}{\sum_{i=1}^m f_{CS_i}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$d_f$  = Duración media de la falla del sistema.

$r_{CS_i}$  = Duración media del acontecimiento *Cut-Set* i.

La aplicación de las ecuaciones 4 y 5 en sistemas de distribución de potencia se discutirá mas adelante. Los componentes en un *Cut-Set* mínimo funcionan parecido a un sistema paralelo, y  $f_{CS_i}$  (asumiendo n componentes en  $C_i$ ) pueden ser calculadas como:

$$f_{CS_i} = \prod_{j=1}^m P_{jd} \sum_{j=1}^m \mu_j \quad \text{Ec. 6}$$

y

$$r_{CS_i} = 1 / \sum_{j=1}^m \mu_j \quad \text{Ec. 7}$$

Por ejemplo, para un *Cut-Set* que tiene 3 componentes 1, 2 y 3:

$$f_{CS_i} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)}{(\lambda_1 + \mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)(\lambda_3 + \mu_3)}$$

$$\approx \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1), \text{ asumiendo } \lambda_i \ll \mu_i$$

y

$$r_{CS_i} = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}$$

Los demás métodos se explican con detalle en el libro *Gold Book*.

## CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS.

Puesto que la ocurrencia de cualquier *Cut-Set* resultará en una falla del sistema, estos *Cut-Set* pueden estimarse como un efecto en serie. La frecuencia de fallas y la duración promedio pueden por lo tanto ser calculadas usando las ecuaciones siguientes:

$$f_s = \text{frecuencia de interrupciones del sistema} = \sum_i f_{CS_i}$$

$$r_s = \text{Duración de las interrupciones del sistema} = \sum_i f_{CS_i} r_{CS_i} / f_s$$

Donde:

$f_{CS_i}$  = Frecuencia del i-esimo *Cut-Set*.

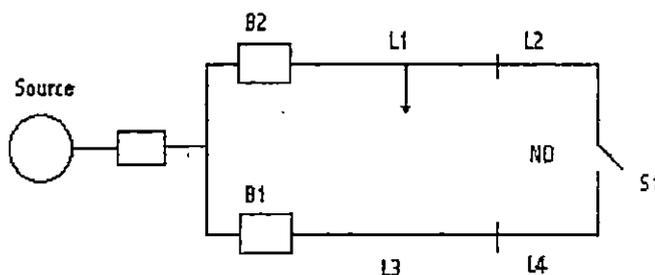
$r_{CS_i}$  = Duración del i-esimo *Cut-Set*.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación donde se muestra como calcular matemáticamente estos índices:

Datos para el ejemplo.	
Secciones de línea.	
$\lambda$	= 0.20 fallas/año
$r$	= 3 horas
Breakers y Switches.	
$\lambda$	= 0.01 fallas/año
$\lambda_{FT}$	= 0.003 fallas/año.
$P_S$	= 0.001
$P_o$	= 0.01
$r$	= 5 horas
Tiempo de conmutación.	
$t_s$	= Tiempo de conmutación manual normal = 0.5 horas
$t_B$	= Tiempo para aislar el breaker o commutar = 1 hora

Tabla 1. Datos necesarios para encontrar los índices de confiabilidad del sistema del ejemplo.

En este ejemplo , solamente las secciones de líneas, los Switches y los circuit Breakers son considerados falibles, con el objetivo de simplificar el sistema y análisis.



Gráfica 1. Diagrama de sistema de ejemplo.

Cut-Set 1- Frecuencia ( Fallas/año)	2- Duración (h/falla)	1x2	
Fallas de las líneas			
L <sub>1</sub>	$\lambda = 0.20$	$r=3$	$0.20 \times 3$
L <sub>2</sub>	$\lambda = 0.20$	$r=3$	$0.20 \times 3$
Fallas de Breakers/Switch			
Tipo 1: B <sub>1</sub>	$\lambda = 0.01$	$t_B=1$	$0.01 \times 1$
Tipo 1: B <sub>2</sub>	$\lambda = 0.01$	$t_B=1$	$0.01 \times 1$
Tipo 1: S <sub>1</sub>	$\lambda = 0.01$	$t_B=1$	$0.01 \times 1$
Tipo 2: B <sub>1</sub>	$\lambda_{FT} = 0.20$	$t_B=1$	$0.003 \times 1$
	$\Sigma 0.433$		$\Sigma 1.233$

Donde  $f_S$  y  $r_S$  del sistema son:

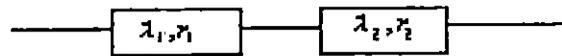
$$f_S = 0.433 \text{ interrupciones o fallas/año.}$$

$$r_S = 1.233/0.433 = 2.85 \text{ horas/interrupción o fallas.}$$

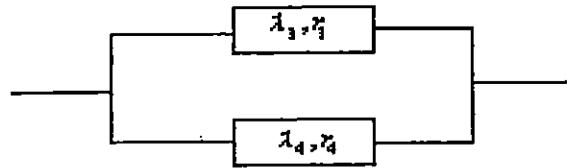
Una vez teniendo estos índices se pueden encontrar otros índices mas generales, el cual es el resultado de dos o mas circuitos iguales o diferentes al anterior. A continuación se presentan las formulas de dos componentes ( Subsistemas ) en serie y paralelo, para encontrar la frecuencia de fallas y la duración promedio por fallas de la combinación de estos componentes. Estas formulas asumen lo siguiente:

- La razón de fallas de los componentes es constante con los años.
- El tiempo de indisponibilidad después de una falla tiene una distribución exponencial.
- Cada falla es independiente de cualquier otra falla.
- La componente de indisponibilidad forzada es pequeña:

$$\frac{\lambda_j r_j}{8760} < 0.01$$



(a)



(b)

Gráfica 2. Componentes series y paralelo.

Las formulas<sup>18</sup> correspondientes a la Graf. 2 (a), son las que se muestran a continuación:

$$f_S = \lambda_1 + \lambda_2 \quad \text{Ec. 8}$$

$$f_S r_S = \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 \quad \text{Ec. 9}$$

$$r_S = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad \text{Ec. 10}$$

y a la Graf. 2 (b), componentes en paralelo son:

<sup>18</sup> Estas formulas son aproximadas y deberán usarse solamente cuando ambos  $\frac{\lambda_3 r_3}{8760}$  y  $\frac{\lambda_4 r_4}{8760}$  se han menores que 0.01

$$f_P = \frac{\lambda_3 \lambda_4 (r_3 r_4)}{8760} \quad \text{Ec. 11}$$

$$f_{P^2} = \frac{\lambda_3 r_3 (\lambda_4 r_4)}{8760} \quad \text{Ec. 12}$$

$$r_P = \frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4} \quad \text{Ec. 13}$$

# ANEXO I

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS FALLAS DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS.

Existen dos parámetros de los equipos o elementos eléctricos de suma importancia en los estudios de confiabilidad de los sistemas, éstos son:

1. Razón de falla y
2. Duración de la falla o tiempo de reparación.

La mejor estimación para la razón de falla de un tipo particular de equipo es el número de fallas actualmente observadas, divididas por el total de tiempo expuesto de este dispositivo en unidades-año, como:

$$\hat{\lambda} = \frac{f}{T} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$\hat{\lambda}$  : La mejor estimación de la razón de fallas en fallas por unidad en años.

$\lambda$  : Razón de falla verdadera.

$f$  : Número de fallas observadas.

$T$  : Tiempo de exposición total en unidad-año.

En cuanto a la exactitud de la razón de falla estimada puede ser encontrada usando los límites de confianza que se muestran a continuación.

Los límites de confianza de la razón de falla son valores por arriba y por debajo de la razón de falla, los cuáles pueden encontrarse con las siguientes ecuaciones:

$$\Pr[\lambda_L \geq \lambda] = \frac{1-\gamma}{2} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\Pr[\lambda \geq \lambda_U] = \frac{1-\gamma}{2} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$\lambda_L$  : Limite de confianza inferior de la razón de falla.

$\lambda_U$  : Limite de confianza superior de la razón de falla.

$\gamma$  : Intervalo de confianza (ó nivel de confianza).

Un valor típico que a menudo es elegido para el intervalo de confiabilidad es 0.90. Una vez los valores para  $\lambda_L$  y  $\lambda_U$  son encontrados, uno puede decir que  $\lambda$ , cuyo estimado es  $\hat{\lambda}$  está dentro de  $\lambda_L$  y  $\lambda_U$  con  $100\gamma$  por ciento de confiabilidad. Claramente el valor mas grande de  $\hat{\lambda}$  es la mejor estimación de  $\lambda$ , la razón de falla verdadera. Las expresiones para  $\lambda_L$  y  $\lambda_U$  son obtenidas como sigue:

$$\lambda_L = \frac{x^2(1-\gamma)/2, 2f}{2T} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\lambda_U = \frac{x^2(1-\gamma)/2, 2f+2}{2T} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $x^2 p, n$  es el porcentaje  $p$  de la distribución chi-cuadrada con  $n$  grados de libertad,  $x^2 p, n$  está en tablas en los libros de estadística.

Sustituyendo los valores de  $T$  de 1 Hasta 2 Y 3 Se obtiene:

$$\lambda_L = \frac{x^2(1-\gamma)/2, 2f}{2T}(\hat{\lambda}) \quad \text{Ec. 6}$$

$$\lambda_U = \frac{x^2(1-\gamma)/2, 2f+2}{2T}(\hat{\lambda}) \quad \text{Ec. 7}$$

La desviación del limite de confiabilidad mas bajo de  $\hat{\lambda}$  en porcentaje de  $\hat{\lambda}$  es:

$$\%dev_L = 100 \left( 1 - \frac{\lambda_L}{\hat{\lambda}} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

De la misma manera, la desviación del limite de confiabilidad mas alto de  $\hat{\lambda}$  en porcentaje de  $\hat{\lambda}$  es:

$$\%dev_U = 100 \left( \frac{\lambda_U}{\hat{\lambda}} - 1 \right) \quad \text{Ec. 9}$$

Las ecuaciones 4 - 9 Se usaron para desarrollar la Gráfica 4.10. Estas curvas evitan la necesidad de encontrar  $x^2 p, n$ . Aquí  $\lambda_L$  y  $\lambda_U$  son ploteadas en términos del porcentaje de desviación de  $\lambda$  como una función del numero de fallas observadas.

### EJEMPLO DE CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE CONFIANZA.

Usando la figura 1. Se determinará los límites de confianza, para la razón de falla de un fusible de alta tensión. El intervalo de confianza será de 90 por ciento. Asumiendo  $\hat{\lambda} = 0.0119$  Fallas por unidad-año. Y el número de fallas observadas es de 19. Entrando a la figura 1. con 19 fallas observadas y usando la curva con el intervalo de confianza de 90 por ciento, tenemos:

$$\lambda_L = \hat{\lambda} - 0.34\hat{\lambda}$$

$$\lambda_L = 0.0119 - 0.0041 = 0.0078$$

$$\lambda_U = \hat{\lambda} - 0.46\hat{\lambda}$$

$$\lambda_U = 0.0119 - 0.0055 = 0.0174$$

Existe un 90 por ciento que la razón de falla verdadera esté dentro del rango 0.0078 y 0.0174 fallas por unidad-año.

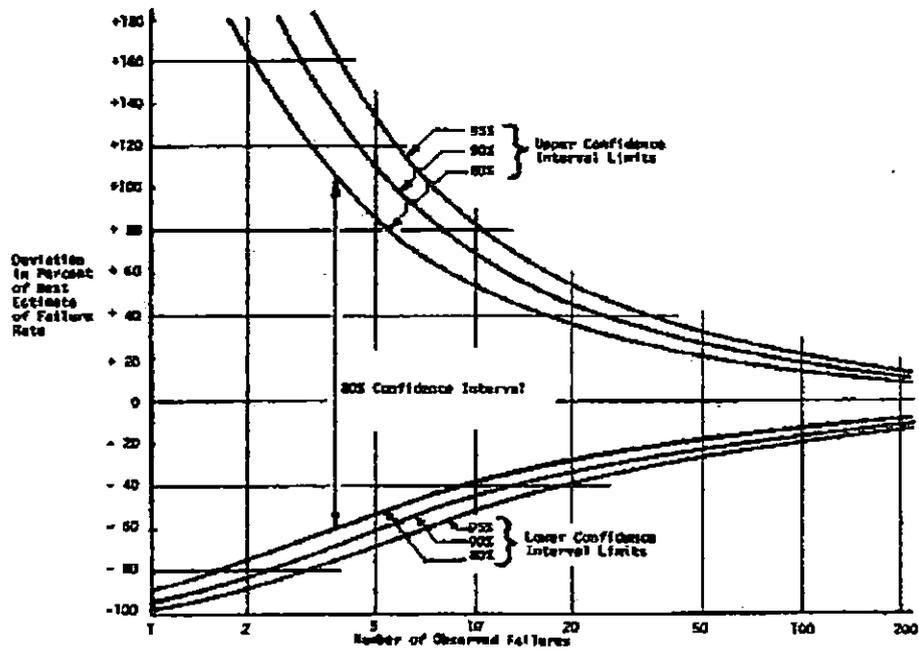


Fig. 1. Limites de confiabilidad de la razón de falla.

# ANEXO J

## DEFINICIONES.

Las definiciones presentadas aquí son incluidas en los estudios de confiabilidad de los componentes eléctricos de los sistemas de distribución para plantas industriales y comerciales.

### Disponibilidad:

Este término puede aplicarse al desempeño de componentes individuales ó a un sistema. La disponibilidad está definida como el tiempo promedio que un componente ó sistema está en servicio satisfactoriamente ejecutando su función. Una definición alternativa y equivalente para la disponibilidad es la probabilidad de que un componente ó sistema esté en servicio.

### Componente:

Una pieza de equipo eléctrico ó mecánico, una línea ó circuito, una sección de una línea ó circuito, ó un grupo de artículos que se ven como una entidad para los propósitos de la evaluación de la confiabilidad.

### Duración de la interrupción:

El tiempo de espera, promedio, ó duración de una interrupción de la carga.

### Tiempo de desabrigo:

El tiempo durante un componente ejecuta su función y está expuesto a una falla.

### Falla:

Cualquier problema con un componente del sistema de potencia que causa cualquiera de los sucesos siguientes:

- ✓ Cierre de la planta parcial ó completa, ó funcionamiento de la planta abajo de lo normal.
- ✓ Funcionamiento inaceptable del equipo.
- ✓ Operación de la protección eléctrica ó operación de la planta eléctrica de emergencia.
- ✓ Desenergización de cualquier circuito eléctrico ó equipo.

Una falla sobre un sistema de suministro público puede causar al usuario lo siguiente:

- ✓ Una interrupción de la potencia ó pérdida de servicio.
- ✓ Una desviación del voltaje nominal ó de la frecuencia.

Una falla en un componente de una planta causa una salida forzada del componente, por lo cual, el componente será incapaz de ejecutar su función hasta que se repare ó reemplace. Los términos "falla" y "salida forzada" a menudo se usan sinónimamente.

### Razón de falla (razón de salida forzada):

El número de fallas de un componente por unidad de tiempo. (Usualmente el tiempo se expresa en años y la razón de falla se expresa en fallas por año).

### Salida forzada:

Una salida (falla) que no se puede diferir.

### No disponibilidad forzada:

El tiempo promedio a largo plazo que un componente ó sistema está fuera de servicio debido a una salida forzada (falla).

### Interrupción:

La pérdida de potencia eléctrica que se suministra a una ó más cargas.

### Frecuencia de interrupción:

El número (promedio) de interrupciones de potencia a una carga por unidad tiempo, usualmente expresada como interrupciones por año.

**Tiempo de reparación:**

El tiempo de reparación de un componente ó la duración de una falla cuando se restaura ó repara el componente, ó por la substitución de un componente. Este tiempo incluye el tiempo para diagnosticar el problema, localizar el componente fallado, el tiempo de espera de las partes, reparación ó reemplazo, comprobación ó prueba, y restauración del componente. Los términos "tiempo de reparación" y "duración de salida forzada" a menudo se usan sinónimamente. Este no es el tiempo requerido para restaurar el servicio a una carga poniendo circuitos alternos en funcionamiento.

**Horario de salida:**

Una salida que resulta cuando se saca deliberadamente de servicio a un componente en un tiempo seleccionado, usualmente para propósitos de construcción, mantenimiento, ó reparación.

**Duración del horario de salida:**

El periodo desde la iniciación del horario de salida hasta que la construcción, mantenimiento preventivo, ó trabajo de reparación es completado y el componente afectado esté disponible para ejecutar su función.

**Razón de tiempo de salida:**

El número de horario de salida de un componente por unidad de tiempo de desabrigo.

**Tiempo de cambio:**

El periodo de tiempo de una operación de cambio requerida debido a un componente fallado hasta que esa operación de cambio sea completada. La operación de cambio incluye: Traspaso a un circuito alterno, abertura o cierre de un interruptor seccionalizado ó circuit breakers, ect.

**Sistema:**

Un grupo de componentes conectados ó asociados en una configuración fija para ejecutar una función específica de distribución de potencia.