

CARMONA, JOSE DANIEL
Evaluacion de costos

2013

73212

73212



**“EVALUACION DE LOS COSTOS DE LAS INTERRUPCIONES
DE ENERGIA ELECTRICA”**

por

Ing. José Daniel Carmona

Tesis presentada para la obtención del grado de Magíster en
Ciencias de la Ingeniería
Mención: Ingeniería Eléctrica



Creer... Crear... Crecer...

51587

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

2013

1987

73212

MFN:
Clasif:
T.074

**“EVALUACION DE LOS COSTOS DE LAS INTERRUPCIONES
DE ENERGIA ELECTRICA”**

por

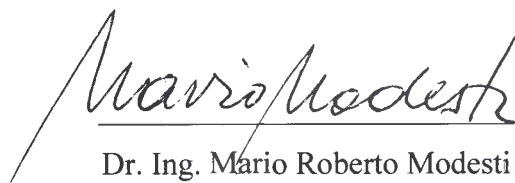
Ing. José Daniel Carmona



Dr. Ing. Juan Carlos Gómez

Director

APROBADA POR:



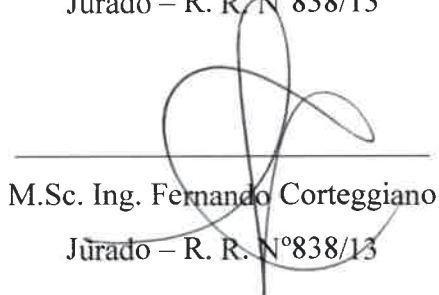
Dr. Ing. Mario Roberto Modesti

Jurado – R. R. N°838/13



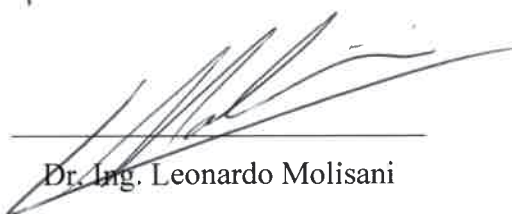
M.Sc. Ing. Diego Carlos Moitre

Jurado – R. R. N°838/13



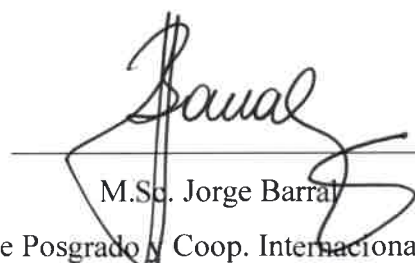
M.Sc. Ing. Fernando Corteggiano

Jurado – R. R. N°838/13



Dr. Ing. Leonardo Molisani

Secretario de Posgrado de la Fac. de Ingeniería



M.Sc. Jorge Barral

Secretario de Posgrado y Coop. Internacional de la UNRC

Año 2013

AGRADECIMIENTOS

Después de tantos años, me parece increíble estar escribiendo esta parte de la tesis. Desde aquí quiero agradecer a todas las personas que han hecho posible el desarrollo de este trabajo. Esta página, es la más difícil de escribir, aunque a la vez la más placentera. Es dificultoso incluir directamente a todas las personas que han aportado a un trabajo que ha durado tantos años. A continuación mencionaré a quienes creo han apoyado más a su desarrollo, pero desearía que nadie se sintiese excluido.

En primer lugar, quiero agradecer por sus consejos y correcciones a mi director, Juan Carlos Gómez. Gracias por haber confiado en mí en un principio a pesar de no pertenecer a su grupo, por sus aportes y por su confianza en que algún día terminaría esta tesis.

También quiero agradecer a Leonardo Molisani el soporte que me ha brindado, tanto como compañero y amigo, con sus aportes, comentarios e insistencia para que termine.

Quiero mencionar el reconocimiento a quienes desde la Oficina Técnica, de la delegación zona “F” de E.P.E.C, me brindaron colaboración técnica a través de la información brindada.

Un agradecimiento especial, a los clientes de la empresa distribuidora de energía de la región, en especial a todos los que desinteresadamente ocuparon parte de su tiempo para responder a las encuestas, pilar fundamental de esta tesis.

Sería injusto no incluir aquí a mi familia: mi esposa y mis tres hijos, que tienen el mérito de haberme soportado todos estos años, de disimular el tiempo que no les dedicaba a ellos. Gracias por su comprensión hacia mis horarios, por su apoyo incondicional, una y mil veces gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
Resumen.....	xvii
abstract	xix
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Interrupciones.....	1
1.3 Impacto de las Interrupciones	3
1.4 Costo de Interrupción.....	3
1.5 Situación en la Argentina	4
1.6 Objetivos de la tesis	6
1.7 Estructura de la tesis.....	7
II. METODOLOGIAS DE EVALUACION.....	9
2.1 Revisión Bibliográfica	9
2.1.1 Método Econométrico	9
2.1.2 Método directo	10
2.1.3 Método Implícito.....	14
2.2 Otros antecedentes	14
2.3 Elección de la metodología a utilizar	15
III. EVALUACION DE LA METODOLOGIA DIRECTA EN BASE A UNA MUESTRA	17
3.1 Desarrollo de las Encuestas.....	17
3.2 Sectores utilizados.....	18
3.3 Enunciación de las encuestas	19
3.4 Recolección de datos.....	21
3.5 Clasificación de datos	22
3.6 Resultados	24
3.6.1 Costo de la interrupción en función de la duración.....	25
3.6.2 Elementos del Costo de la interrupción.....	29
3.6.3 Costo de la interrupción por sector.....	30
3.6.4 Costo de la interrupción por tamaño de la empresa.	32

3.6.5	Estandarización del Costo de la interrupción.....	33
3.6.6	Comparación del costo de la interrupción.....	36
3.6.7	Efectos de la notificación anticipada de una interrupción.....	38
3.6.8	Complementos del costo de la interrupción.....	39
IV.	ESTIMACION DEL COSTO DE LA INTERRUPCION	49
4.1	Análisis de un Modelo	49
4.2	Metodología propuesta.....	49
4.3	Diseño del modelo	49
4.4	Estimación de los costos de interrupción para el sector industrial	56
4.4.1	Industria de la alimentación.....	56
4.4.2	Industria metalúrgica.....	57
4.4.3	Industria cerealera.....	58
4.4.4	Industria frigorífica.....	59
4.4.5	Industria de la construcción.....	60
4.4.6	Otras Industrias.....	61
4.5	Ejemplo de estimación del costo de interrupción para el sector industrial	62
4.6	Estimación de los costos de interrupción para el sector comercial.....	63
4.6.1	Venta de alimentos.....	63
4.6.2	Supermercados.....	64
4.6.3	Combustibles.....	65
4.6.4	Artículos del hogar.....	66
4.6.5	Artículos de construcción.....	67
4.6.6	Artículos de vestimenta.....	68
4.6.7	Otras ventas.....	69
4.7	Ejemplo de estimación del costo de interrupción para el sector comercial	70
4.8	Comentarios.....	70
V.	CONCLUSIONES.....	73
	REFERENCIAS.....	77
	ANEXOS	81
	ANEXO A: ENCUESTA – INTRODUCCION	83
	ANEXO B: ENCUESTA PARA VALORAR LOS COSTOS DE LAS INTERRUPCIONES DE ENERGIA ELECTRICA.....	87

ANEXO C: TABLAS DE FIGURAS	105
ANEXO D: ANALISIS DE RESIDUALES.....	117
ANEXO E: PUBLICACIONES.....	133
ANEXO E-1: EVALUATION OF POWER INTERRUPTION COSTS	133
ANEXO E-2: EVALUATION OF POWER INTERRUPTION COSTS FOR INDUSTRIAL AND COMMERCIAL SECTORS IN ARGENTINA	143

INDICE DE TABLAS

Tabla III-1. Distribución de usuarios encuestados.....	22
Tabla III-2. Costos medio, mínimo y máximo de la interrupción	26
Tabla III-3. Valores medios de costos y economías de la interrupción	29
Tabla III-4. Posible ahorro de costos por aviso anticipado de la interrupción	39
Tabla III-5. Disminución de costos por aviso anticipado de la interrupción.....	39
Tabla III-6. Número de empleados de las empresas encuestadas.....	40
Tabla III-7. Tiempo medio de reinicio.....	46
Tabla IV-1. Costos de la interrupción para la industria de la alimentación.....	56
Tabla IV-2. Costos de la interrupción para la industria metalúrgica.	57
Tabla IV-3. Costos de la interrupción para la industria cerealera.	58
Tabla IV-4. Costos de la interrupción para la industria frigorífica.....	59
Tabla IV-5. Costos de la interrupción para la industria de la construcción.....	60
Tabla IV-6. Costos de la interrupción para otras industrias.	61
Tabla IV-7. Costos de la interrupción para sector comercio-venta de alimentos.	63
Tabla IV-8. Costos de la interrupción para sector comercio-supermercados.	64
Tabla IV-9. Costos de la interrupción para sector comercio-combustibles.....	65
Tabla IV-10. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos del hogar.	66
Tabla IV-11. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos de construcción.	67
Tabla IV-12. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos de vestimenta. .	68
Tabla IV-13. Costos de la interrupción para sector comercio-otras ventas.	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Costo medio de la interrupción por su duración	25
Figura 3-2. Distribución de costos de la interrupción en función de la duración	27
Figura 3-3. Escala de costos de la interrupción en función de la duración.....	28
Figura 3-4. Costo medio de la interrupción por sector.	30
Figura 3-5. Distribución del Costo Total de la interrupción por sector.	31
Figura 3-6. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Pequeñas	32
Figura 3-7. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Medianas.	33
Figura 3-8. Costos medios de la interrupción estimados en [\$/kW].....	34
Figura 3-9. Costos de la interrupción estimados en [\$/kWh]	35
Figura 3-10. Distribución del Costo Total de la interrupción en [\$/kW].	35
Figura 3-11. Distribución del Costo Total de la interrupción en [\$/kWh].	36
Figura 3-12. Comparación de funciones de daño de clientes industriales.....	37
Figura 3-13. Comparación de funciones de daño de clientes comerciales	38
Figura 3-14. Distribución del número de empleados en las empresas encuestadas	41
Figura 3-15. Porcentaje de clientes en función del número de interrupciones en un año típico (Valor medio 12,95).....	41
Figura 3-16. Duraciones medias en un año típico.	42
Figura 3-17. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Industriales	43
Figura 3-18. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Comerciales.....	44
Figura 3-19. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción para clientes Industriales.....	45
Figura 3-20. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción para clientes Comerciales	46
Figura 3-21. Nivel de satisfacción de los clientes Industriales con la compañía eléctrica	47

Figura 3-22. Nivel de satisfacción de los clientes Comerciales con la compañía eléctrica	48
Figura 4-1. Costos de la interrupción para la industria de la alimentación en pesos por kWh de energía anual.....	56
Figura 4-2. Costos de la interrupción para la industria metalurgica en pesos por kWh de energía anual.....	57
Figura 4-3. Costos de la interrupción para la industria cerealera en pesos por kWh de energía anual.....	58
Figura 4-4. Costos de la interrupción para la industria frigorífica en pesos por kWh de energía anual.....	59
Figura 4-5. Costos de la interrupción para la industria de la construcción en pesos por kWh de energía anual.....	60
Figura 4-6. Costos de la interrupción para otras industrias en pesos por kWh de energía anual.....	61
Figura 4-7. Costos de la interrupción para el sector comercio-venta de alimentos, en pesos por kWh de energía anual.....	63
Figura 4-8. Costos de la interrupción para el sector comercio-supermercados, en pesos por kWh de energía anual.....	64
Figura 4-9. Costos de la interrupción para el sector comercio-combustibles, en pesos por kWh de energía anual.....	65
Figura 4-10. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos del hogar, en pesos por kWh de energía anual.....	66
Figura 4-11. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos de construcción, en pesos por kWh de energía anual.....	67
Figura 4-12. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos de vestimenta, en pesos por kWh de energía anual.....	68
Figura 4-13. Costos de la interrupción para el sector comercio-otras ventas, en pesos por kWh de energía anual.....	69

RESUMEN

Día a día la utilización de la energía eléctrica es más importante para la actividad del hombre, tanto en aplicaciones comerciales, industriales como residenciales. Por ende los problemas en la calidad de la energía son cada vez más significativos. Su existencia conlleva a la generación de un marco regulativo¹ a los fines de controlar y mejorar este aspecto. En nuestro país Argentina, esta acción de control de calidad de la energía se lleva a cabo mediante penalizaciones y premios a quienes son los causantes o sufren sus efectos respectivamente. Para ello es necesario contar con métodos y medios apropiados para identificar los distintos tipos de problemas en los sistemas eléctricos y además poder cuantificar en valores monetarios, o sea el costo de las pérdidas que provocan los apartamientos de calidad de energía.

Esta tesis tiene como objetivo la determinación del costo de las interrupciones del suministro eléctrico, mediante una evaluación directa a quien sufre realmente los efectos de la falta de energía, que es el propio cliente de la compañía distribuidora.

El valor de este trabajo de tesis propuesto, se argumenta en el aporte a las investigaciones tendientes a determinar el costo en valores monetarios de las pérdidas sufridas por los consumidores de energía eléctrica, debidas a la pobre calidad de energía recibida. Tales costos y por ende la contribución de este trabajo de investigación podrían ser tenidos en cuenta en futuras reglamentaciones y/o en planes de inversión de las compañías distribuidoras, de las empresas y particulares que utilizan equipamiento sensible.

A través de este trabajo se realiza y propone un modelo metodológico para la estimación del costo de las interrupciones del suministro eléctrico, a clientes de distintos sectores. El modelo es aplicado y validado en un caso particular: para clientes dentro de la Delegación Zona "F" Río Cuarto de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC).

Palabras Claves: Costo de las Interrupciones. Clientes Comerciales e Industriales

¹ Se ha optado por el término "regulativo" (adj. Que regula, dirige o concierne. Según el diccionario de la Real Academia Española, vigésima segunda edición), en vez del más comúnmente utilizado "regulatorio", palabra que no se encuentra en el diccionario citado.

ABSTRACT

Day by day the use of electricity is more important to human activity, in commercial, industrial and residential applications. Hence, problems of Power Quality are increasingly significant. Their existence leads to the creation of a regulatory framework for the purpose of monitoring and improving this aspect. In our country, Argentina, this action of power quality control is carried out by penalties and rewards for those who are the cause or who suffer its effects, respectively. It is necessary to have appropriate means and methods to identify the different types of problems in electrical systems and also to quantify them in monetary values, that is the cost of losses due to power quality issues. This work aims to determinate the cost of power outages by a direct assessment to who actually suffers the effects of energy lacking, which is the customer. The value of this work, roots in its contribution to the investigations which determine money losses suffered by customers, due to the poor quality of the received energy. Such costs, and hence the contribution obtained from this research, could be taken into account in future regulations and/or in investment plans of utilities, companies and individuals that use sensitive equipment. Through this research a methodology for estimating the cost of power outages to customers in several types of industries is presented. The model is applied and validated in a particular case: for the customers of Cordoba Provincial Power Company (EPEC) located in the Zone Delegation "F" of Río Cuarto.

Keywords: Interruption Costs, Commercial and Industrial Customers.

I. INTRODUCCION

1.1 Descripción del problema

Un sistema eléctrico de potencia moderno debe satisfacer los requerimientos de carga y energía, no sólo desde un punto de vista económico, sino también ofreciendo determinados niveles de calidad y seguridad. Es usual medir la calidad de servicio, en términos de valores aceptables de frecuencia y voltaje, y la seguridad, acorde a la capacidad de ofrecer un suministro eléctrico ininterrumpido bajo determinados niveles de confiabilidad [1].

Las empresas relacionadas con la generación y distribución de energía eléctrica, especialmente las que prestan servicio público de distribución, están obligadas a respetar ciertos niveles mínimos de calidad y servicio. Mantener estos niveles implica continuas e importantes inversiones. Un balance técnico-económico, hace que se tomen serias precauciones para evitar tanto capacidades ociosas excesivas, como insuficientes. Debe tenerse especialmente en cuenta, que los errores de inversión pueden provocar un fuerte impacto sobre las tarifas eléctricas.

En general, debe tratarse de alcanzar el equilibrio óptimo entre inversión y seguridad, que corresponde en teoría a minimizar el costo conjunto de inversión y operación y el costo de falla [2]. La obtención del primer costo, como la magnitud física del desabastecimiento futuro, es un problema difícil, pero se cuenta con las herramientas adecuadas para solucionarlo. El costo de falla, sin embargo, es más complejo de obtener, dados los grandes y diversos perjuicios económicos y sociales que produce una falla de suministro eléctrico.

1.2 Interrupciones

La continuidad del suministro es uno de los aspectos de calidad del servicio eléctrico, que en la literatura técnica se describe como fiabilidad (Confiabilidad) del suministro. Cuando falla la continuidad del suministro, es decir cuando la tensión de suministro desaparece en el punto de conexión (O se reduce por debajo de un valor especificado), se dice que hay una *“interrupción”*. La definición que da la Norma EN 50160 [3], es que existe una interrupción del suministro cuando la tensión este por debajo del 1% de la tensión nominal en cualquiera de las fases. El estándar EN 50160 es la norma europea básica en calidad de la energía eléctrica. Esta norma describe las

características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y en media tensión en condiciones normales de explotación y en el punto de entrega al cliente. Como dice en su primer apartado: “*Esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no da los valores típicos en la red general de distribución*”.

Cada interrupción viene caracterizada por su duración. La Norma EN 50160 considera las interrupciones largas, aquellas cuya duración es superior a tres minutos, debido a que los sistemas de protección de algunos países requieren más tiempo para su operación. Las interrupciones breves o inferiores a tres minutos se consideran más bien como un problema de calidad de onda.

Por otro lado, la Norma IEEE Estándar 1159 [4], define como interrupciones de corta duración a las momentáneas y a las temporales (relacionando la pérdida total de voltaje en valores por unidad “*pu*”, respecto a su duración), considerando **momentáneas** a aquellas donde hay una pérdida total de voltaje ($<0,1 pu$) para una o más fases y cuya duración está comprendida entre medio ciclo y tres segundos, **temporales** a aquellas donde hay una pérdida total de voltaje ($<0,1 pu$) para una o más fases y cuya duración está comprendida entre tres segundos y un minuto; mientras que define a interrupciones de larga duración o **sostenidas**, a aquellas donde hay una pérdida total de voltaje ($<0,1 pu$) para una o más fases y cuya duración es superior a un minuto.

Como se puede ver de las definiciones dadas por el estándar EN 50160 y por el IEEE Std. 1159, no hay unanimidad ni en las magnitudes ni en las duraciones de las interrupciones.

Una interrupción del suministro de energía eléctrica puede representar una gran pérdida económica para todos aquellos consumidores afectados por dicha interrupción. Por esta razón, las redes actuales están provistas de medios, metodologías y equipamiento que pueden reducir la frecuencia y la duración de las interrupciones, tanto las de duración extensa como también las breves, denominadas microcortes. Paralelamente a la reducción del número de interrupciones, los huecos de tensión, que se definen como reducciones de tensión a magnitudes entre el 10 y 90 % del valor nominal (medidas como valor eficaz) con duraciones de $\frac{1}{2}$ ciclo a 1 o 3 minutos, han ido cobrando gran relevancia [5]. Es un hecho comprobado que no sólo las interrupciones, sino también las caídas o subidas temporarias del valor eficaz de la

tensión, son capaces de provocar el mal funcionamiento, pérdida de vida útil, e incluso la salida de servicio, de algunos equipos [6]

1.3 Impacto de las Interrupciones

Los efectos derivados de las interrupciones del servicio eléctrico se pueden resumir de la siguiente forma:

Económicos Directos: Pérdida de Producción, Mano de Obra ociosa, Costos de reinicio, Materiales dañados, Daños de Equipos, Costos de salud y seguridad, Costos para la compañía.

Sociales Directos: Carencia de Transporte, Pérdida de Recreación, Falta de Calefacción/Aire Acondicionado, Perjuicios relacionados con la cocción y almacenamiento de alimentos, Riesgos de accidentes personales y Riesgo de robos.

Pérdidas indirectas: Motines, Saqueos, Evacuaciones por seguridad.

Corto/Largo plazo: Decisiones Futuras de medidas de mitigación, Protecciones extras (Stand by), Re-localización – Cambios, Gastos legales y de seguros.

1.4 Costo de Interrupción

El Costo de Interrupción en el suministro eléctrico, es la medida en unidades monetarias del daño económico y/o social que sufren los consumidores, producto de la energía no suministrada.

El suministro no satisfactorio de energía eléctrica representa para el usuario un valor varias veces superior al precio de la energía no suministrada, en razón de los perjuicios sociales y económicos que acarrea una restricción de abastecimiento.

El costo de interrupción es difícil de valorar dada la serie de factores que influyen en él [7]. Las principales dificultades se plantean por las siguientes razones:

* En muchas aplicaciones la energía eléctrica produce un aumento en la calidad de vida, lo que la mayoría de las veces no puede considerarse como algo económicamente mensurable, ni que se pueda admitir su pérdida.

* En otras aplicaciones, en las cuales el producto es un bien transable, no existe siempre una relación rígida entre el empleo de la electricidad y la producción final.

* El costo de interrupción varía ante la existencia o no de selectividad en la restricción, o si ésta afecta a todos los consumidores por igual o no.

* El valor del costo de interrupción puede variar en forma importante dependiendo de factores como: magnitud de la falla, duración de la interrupción, tipo de usuario afectado, frecuencia de las interrupciones, nivel de tensión del afectado, hora, día, estación en que ocurre la falla, etc.

Por lo antes descrito resulta claro lo complejo y necesario que es estimar el costo de interrupción.

1.5 Situación en la Argentina

En nuestro país, la calidad de energía eléctrica se comenzó a reglamentar a partir de la sanción de la Ley N° 24065 de Energía Eléctrica en el año 1992 [8].

La Calidad es considerada específicamente en los contratos de concesión del servicio de distribución eléctrica, como por ejemplo los establecidos en el Gran Buenos Aires y Gran La Plata, regulado por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) [9]. El vínculo generado a partir de la privatización de SEGBA (Servicios Eléctricos del Gran Buenos Aires), es por un lado entre las empresas distribuidoras con los usuarios, pero también, al afectar a terceros, entre aquéllas y el Poder Concedente (el Estado Nacional o Provincial). El Estado Nacional o Provincial, es quien adicionalmente asume la tarea de velar por el cumplimiento, en primera instancia, del contrato que vincula a las distribuidoras con sus propios clientes, a través de los entes reguladores [8].

En los contratos de concesión, por ejemplo los correspondientes de EDESUR S.A (Empresa Distribuidora de Energía del Sur S.A), EDENOR S.A (Empresa Distribuidora de Energía del Norte S.A) y EDELAP S.A (Empresa Distribuidora de Energía La Plata S.A), más precisamente en el Subanexo 4 “**NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO PUBLICO Y SANCIONES**”, se introduce la responsabilidad de la DISTRIBUIDORA para prestar el servicio público de electricidad con un nivel de calidad satisfactorio, también se expresa que el no cumplimiento de las pautas preestablecidas dará lugar a la aplicación de multas, cuyos montos estarán basados en el perjuicio económico que le ocasiona al usuario recibir un servicio en condiciones no satisfactorias [9]. Se define como *contingencia* a toda operación en la red, programada o intempestiva, manual o automática, que origine la suspensión del suministro de energía eléctrica de algún usuario o del conjunto de ellos.

En estos documentos se considera que tanto el aspecto técnico del servicio como el comercial deben responder a normas de calidad; dentro del aspecto técnico se considera el control de la Calidad del Servicio Técnico, que involucra a la frecuencia y duración de las interrupciones en el suministro. Para evaluar la calidad del servicio técnico se fijan una serie de indicadores. En esos contratos se establecen los valores máximos admitidos para cada indicador; si se exceden esos valores se aplican sanciones. En la Resolución ENRE N° 1184/99 [10], se precisa que toda interrupción es energía no suministrada, diferenciando en los contratos entre *no computable* a los efectos de la aplicación de las penalidades, a las interrupciones menores o iguales a tres minutos y a las aceptadas por ese organismo como originadas por caso fortuito o fuerza mayor, y *computable* a los efectos de la aplicación de las penalidades al resto de las interrupciones. Los controles se efectúan por periodos semestrales, si algún usuario sufriera más cortes (mayores a 3 minutos) que los estipulados, y/o estuviera sin suministro más tiempo que el preestablecido, recibirá de parte de la Distribuidora un crédito en sus facturaciones mensuales o bimestrales del semestre inmediatamente posterior al semestre controlado, proporcional a la energía no recibida en el semestre controlado, valorizada de acuerdo al cuadro tarifario, e independientemente del perjuicio ocasionado.

En resumen, en estas concesiones se prevén la aplicación de multas y sanciones frente a fallas de las empresas distribuidoras, en brindar un servicio con los niveles de calidad que previamente fueron definidos como satisfactorios (o mínimos admisibles). Por lo que, existen multas y sanciones por deficiencias en el servicio a usuarios individuales, dirigidas al menos parcialmente a resarcirlos por los daños ocasionados.

El objetivo de la aplicación de sanciones económicas es orientar las inversiones de la distribuidora hacia el beneficio de los usuarios en general, en el sentido de mejorar la calidad en la prestación del servicio público de electricidad.

Ahora bien, estas penalidades:

¿Son representativas de los verdaderos perjuicios sufridos por el usuario?

Evidentemente no, ya que las compensaciones se calculan en forma proporcional a la Energía No Suministrada (ENS), que en la mayoría de los casos no es representativa de las verdaderas pérdidas sufridas por el cliente [11].

A partir de esto surge esta nueva pregunta:

¿Cuánto le cuesta realmente al usuario cada interrupción del suministro eléctrico?

Responder cuantitativamente a esta pregunta constituye el objetivo principal de este trabajo de investigación. De esa forma se desarrolla un modelo metodológico para calificar y cuantificar el costo de la falta de suministro eléctrico al usuario.

1.6 Objetivos de la tesis

El actual estado del arte de las metodologías de estimación del costo de las interrupciones del servicio eléctrico en el mundo y los pocos desarrollos realizados en el país en conocimiento del autor, indican la necesidad de un estudio completo de las herramientas existentes para la estimación de dicho costo.

Del análisis de la bibliografía surge que entre los métodos utilizados para valorar los costos de las interrupciones, se emplean fundamentalmente los siguientes principios: 1) Métodos basados en modelos teórico-económicos, donde se estiman ciertos índices incluidos en el modelo, 2) Métodos directos, donde la herramienta primordial son las encuestas realizadas a los propios usuarios, efectuando un posterior análisis de la información obtenida, y 3) Métodos particulares de algunas empresas distribuidoras de electricidad, donde el costo de la energía no suministrada surge de un análisis conjunto con los costos y el plan de expansión de la propia empresa.

El presente trabajo tiene como objetivo principal: *formular una metodología que permita obtener el valor, lo más cercano a la realidad de nuestro país, del costo de la interrupción del suministro eléctrico, y desarrollar una herramienta matemática sencilla para estimar el costo de la interrupción para el cliente, que pueda brindar tanto a la empresa distribuidora como a los clientes que consumen energía eléctrica una idea muy aproximada acerca de estos costos.*

Para cumplir este objetivo, se revisa el estado del arte en el entorno internacional, se realiza una aplicación práctica, adaptándola a nuestra región, y se desarrollan las herramientas necesarias para la evaluación y estimación del costo de falla. Así, se dejan sentadas las bases para su futura utilización a mayor escala, que permita obtener valores sólidos y utilizables en la planificación y operación de sistemas eléctricos de potencia.

1.7 Estructura de la tesis

El documento de tesis está dividido en capítulos donde se describe el trabajo desarrollado y los resultados obtenidos, y un apéndice donde se recoge información adicional que, sin ser estrictamente necesaria para el seguimiento y la comprensión del trabajo realizado, puede resultar útil para un lector interesado en profundizar en alguno de los temas tratados.

El capítulo 1, presenta una introducción al problema.

El capítulo 2, describe las metodologías que se han utilizado a nivel internacional para la estimación del costo de las interrupciones del suministro eléctrico. Se comentan ventajas y desventajas de los métodos presentados, y en base a estos antecedentes el trabajo opta por la metodología directa, basada en las encuestas a los usuarios del servicio eléctrico. Esta técnica permite, aparte de entregar un valor del costo de la interrupción, recopilar antecedentes complementarios de relevancia.

En el capítulo 3, se describe la evaluación de la metodología directa en base a su aplicación a una muestra de prueba. Comenzando por la generación de las encuestas, su posterior recopilación y análisis de los datos recolectados. Pretendiendo mostrar la capacidad de esta metodología y valorar su aplicabilidad en nuestro país.

Finalmente, en el capítulo 4, se presenta un modelo lineal para realizar las estimaciones del costo de las interrupciones, derivado del análisis de datos que se obtuvo a través de las encuestas. Para lo cual, a los sectores que son objeto de esta tesis, se los dividió en sub-categorías. A los fines de obtener resultados más razonables y más precisos, algunos factores de ponderación se incluyeron, para tener en cuenta las variables principales que afectan el costo de las interrupciones.

II. METODOLOGIAS DE EVALUACION

2.1 Revisión Bibliográfica

De la bibliografía consultada en el estado del arte para la determinación del costo de las interrupciones, surgen principalmente tres métodos de análisis. Estos métodos son denominados econométricos, directos e implícitos. A continuación se describen brevemente los métodos mencionados.

2.1.1 Método Econométrico

Consiste básicamente en la estimación del costo de falla a través de modelos econométricos. Son métodos indirectos que utilizan informaciones macroeconómicas normalmente disponibles como producción total, energía consumida, utilización de la mano de obra, elasticidad y variabilidad del precio, etc. Se han estudiado correlaciones entre estas variables para medir el impacto de la falta de energía eléctrica como producto interno bruto en los diversos sectores. Igualmente se utilizan la matriz de insumo-producto y las regresiones econométricas. Se observa que estos métodos dan resultados satisfactorios cuando el enfoque es a largo plazo, por ejemplo, cuando se desea determinar el costo del déficit energético por limitación del suministro en un sector más amplio de la cobertura de la empresa.

El costo del déficit es determinado por las interrupciones de larga duración que impactan a sectores grandes de consumo y ocasionadas por las insuficiencias energéticas o las indisponibilidades de capacidad instaladas en el sistema. Este costo es utilizado para los estudios de planeamiento. El costo de la interrupción, a su vez, es utilizado para la operación del sistema y para la expansión de la capacidad instalada de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Las interrupciones forzadas son contingencias en general de corta duración y están relacionadas como indisponibilidades de los componentes del sistema.

Las principales desventajas de los métodos indirectos son:

- Se aplican en la determinación de los costos de déficit en lugar de los costos de las interrupciones.
- No tienen en consideración la duración de la interrupción y el horario de inicio de la ocurrencia.

- Las matrices insumo–producto están normalmente muy desfasadas en relación con el año base de estudio y no son muy aplicables al contexto regional.

Los métodos indirectos son más aplicados a los sectores industrial y comercial. Para el sector residencial el valor de los costos se relacionan con la posición de la familia, o sea, en cuanto más claro sea para el cliente el uso de la energía mayor será el costo de la interrupción. La principal ventaja de estos métodos es que los resultados son obtenidos rápidamente con bajo costo de implementación.

Un ejemplo de este modelo es el estudio realizado por Jaramillo y Skoknic, citados por Venegas, quienes evaluaron el costo de las interrupciones a largo plazo en Chile [12]. Así por ejemplo, para estimar el valor medio del impacto de la interrupción del suministro sobre un consumidor industrial, se relaciona el volumen de producción de éste con una serie de factores, entre los cuales está el consumo de energía eléctrica. Para el consumidor residencial, se emplea habitualmente la estimación de su función de utilidad con respecto a la utilización de electricidad. Luego, es posible encontrar el punto para el cual el consumidor es indiferente ante una determinada carencia de suministro, a cambio del pago de un monto monetario específico.

Los análisis de tipo econométrico en general realizan estimaciones de funciones de utilidad para los usuarios residenciales y de funciones de producción para los usuarios industriales. En ambos casos en la matriz de regresores, incluyen como regresor (Variable explicativa) el consumo de energía eléctrica.

Resumiendo la forma de evaluación del costo de falla por este método, se basa en estimar un rango dentro del cual se mueve dicho valor, usando para ello una sobreestimación fundamentada en un análisis económico global y una subestimación basada en un análisis detallado. Esto lleva a la utilización de determinadas hipótesis macroeconómicas y de selectividad, que en la mayoría de los casos se alejan de la realidad [12]. Por lo que se puede afirmar, que la ventaja de este procedimiento recae en su fundamento teórico, sin embargo para llevarlo a la práctica se requiere un número de supuestos y simplificaciones que lo han hecho inadecuado frente a los métodos directos [13].

2.1.2 Método directo

Reside fundamentalmente en la realización de encuestas a los clientes para averiguar su costo (pérdidas y molestias) frente a la presencia de la interrupción.

Generan también información complementaria, que le da solidez a su evaluación. Así es posible tener, con una adecuada elaboración de la encuesta, una amplia base de datos del costo de falla para distintos tipos de usuarios, para disímil duración de la interrupción, para diferentes tipos de interrupción (inesperadas o planeadas), etc.

El desarrollo de esta herramienta se remonta al año 1969, fecha en que un comité sueco sobre costos de interrupción del suministro eléctrico, llevó a cabo las primeras encuestas. Desde entonces se observa un fuerte impulso al uso de esta metodología. Entre 1969 y 1984 los mayores desarrollos se efectuaron en los siguientes países: Canadá (1979/1984), Finlandia (1979), Dinamarca (1981), Suecia (1982), Inglaterra (1979) [14]. Además de los países antes mencionados, se han realizado importantes esfuerzos en Brasil, Egipto, Francia, Arabia Saudita y EE.UU. Sin lugar a dudas el país que se encuentra entre los líderes del desarrollo de la metodología directa es Canadá [15], [16], [17], [18], [19]. En ese país, se encuentra una de las empresas eléctricas que más fuertemente ha estado ligada al tema, dicha empresa es la Ontario Hydro. Esta empresa a través de la metodología directa ha establecido una estrecha relación con sus consumidores. Un trabajo publicado por integrantes del Grupo de Investigación de Sistemas de Potencia de la Universidad de Saskatchewan, presenta los resultados de una serie de clientes encuestados de distintos sectores, estudio que fue desarrollado conjuntamente por siete empresas distribuidoras de energía eléctrica de Canadá [20].

Es claro, que el tipo de preguntas y tipo de análisis a desarrollar, van en directa relación con el consumidor de interés. Por lo que, el alcance que pretende la encuesta, la manera de procesar las encuestas y el análisis de los resultados para determinar el costo de interrupción, dependerán del sector al cual está dirigido (industrial, comercial o residencial).

Una estimación adecuada del costo de interrupción, requiere conocer cómo el cliente enfrentaría eventuales interrupciones en el suministro eléctrico, considerando distintas situaciones de la falla (frecuencia y duración, estación del año y hora, etc.), si dispone o no de equipos de respaldo (sistemas stand-by), forma de reaccionar ante el evento y sus costos asociados a la interrupción [15], [18].

Kariuki realizó un estudio abarcando el noroeste de Inglaterra, incluyendo cuatro sectores de consumidores: residencial, comercial, industrial y gran industrial. La estructura de las encuestas está basada en un amplio juego de herramientas, desarrolladas por la Universidad de Saskatchewan bajo el patrocinio de la CEA

(Canadian Electrical Association) [21], [22]. Este mismo autor conjuntamente con Allan, presentan resultados de un estudio conducido por el UMIST (University of Manchester Institute of Science and Technology), investigación desarrollada con el aporte de tres empresas distribuidoras de energía eléctrica en 1992, los autores confeccionaron un conjunto de datos genéricos que pueden ser utilizados la evaluación de la confiabilidad [23].

Un amplio estudio realizado por Sullivan, para la Duke Power Company en EE.UU., es uno de los trabajos que muestra los resultados tanto para cortes de distinta duración como para microcortes y huecos de tensión, realizado para usuarios industriales y grandes comerciales [24]. El mismo autor muestra la disminución de los costos como resultado del preaviso [25]. Un estudio realizado en la compañía de energía MidAmerican, distribuidora del medio oeste de EE.UU, muestra los resultados del costo de la interrupción para clientes de distintos sectores, encuestados en el año 2002; los autores muestran que los resultados obtenidos, indican claramente que los valores y las clases de costos incurridos por los clientes industriales y comerciales ante las interrupciones del suministro de potencia, pueden ser usados en los estudios de planeamiento de la compañía de electricidad [26].

Otro estudio analizado, es el encargado por el CEIDS (Consortium for Electric Infrastructure to Support a Digital Society) al EPRI (Electric Power Research Institute) para obtener una estimación definitiva de los costos directos causados por los disturbios de potencia, en el comercio del territorio de EE.UU., en lo referente a la economía digital, procesos de manufactura continua y servicios esenciales [27]. En este trabajo las encuestas se realizaron vía Internet y por E-mail.

Trabajos más recientes muestran la vigencia de este método, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Uno de ellos muestra una evaluación de las pérdidas económicas de las interrupciones de potencia, desde las perspectivas de los clientes industriales en Tailandia [28]. En otro estudio, también realizado en Tailandia se presenta la formulación de función compuesta daño cliente (CCDF), que se propone aplicar en el área de servicio de una gran distribuidora eléctrica, utilizando como base los costos de interrupción de clientes desde los datos individuales que proporcionaron en una encuesta [29]. En ese mismo país, un trabajo llevado a cabo en la región central, muestra tres métodos para obtener el costo de interrupción de clientes industriales en los sistemas de distribución y sub-transmisión (22 kV y 115 kV), para mejorar la fiabilidad.

en este estudio los datos se obtuvieron a través de encuestas realizadas en el sitio (personalmente) y por vía E-mail, en este último caso las respuestas completadas fueron de solo el 7% del total enviado [30]. En otro trabajo llevado a cabo en Nepal, se describe una encuesta realizada a clientes industriales para determinar su costo de interrupción, mostrando que el método de encuesta al cliente se puede implementar en los países en desarrollo para evaluar los costos de interrupción del suministro de electricidad [31].

a) Ventajas de la metodología directa:

Sin lugar a dudas, la metodología directa es la que más información entrega sobre los efectos y costos (en determinados escenarios) de una interrupción. Los datos adicionales entregados por el consumidor encuestado, permiten conocer su apreciación sobre el servicio prestado por el sector eléctrico en el tema de la interrupción del suministro. Así, aparte de tener un valor numérico del costo de interrupción, se obtiene un conocimiento sobre como se ve afectado cualitativamente el cliente por la falta de suministro. Información muy relevante para el marketing de las empresas eléctricas, que no sólo venden un producto, sino también una imagen y un servicio.

Las preguntas para la estimación del costo de interrupción, abarcan un abanico adecuado de escenarios posibles de falla. Se varía la frecuencia y duración de la interrupción, conjuntamente con otras de sus características.

Si la encuesta es respondida con objetividad, se tendrá una estimación certera del costo de interrupción para los escenarios utilizados, ya que el más indicado para estimar el costo monetario de una interrupción es el propio afectado. No existiendo así el riesgo que el valor del costo de una interrupción esté regulado por las decisiones de inversión de la empresa eléctrica.

Se evitan las simplificaciones necesarias en la metodología econométrica que hacen perder validez a los resultados.

Existe amplia literatura sobre la metodología directa, de las cuales para las encuestas, es posible reestructurar las preguntas que consideran características particulares y utilizando aquellas que son generales.

b) Desventajas de la metodología directa:

Se debe hacer un trabajo previo para seleccionar una muestra que sea representativa de la realidad del sector a estudiar. Sin embargo, una vez seleccionada esta muestra, se reduce el trabajo previo en futuras aplicaciones de la encuesta.

Las experiencias internacionales de métodos directos consideran sólo algunos escenarios de falla, lo cual limita la interpretación de los resultados.

Se maneja un gran volumen de información. Esto no es un problema en la actualidad, dadas las poderosas herramientas computacionales con las cuales se cuenta.

El costo de interrupción obtenido depende fuertemente de factores: geográficos, demográficos y socioeconómicos. Esto dificulta la transferencia de los valores obtenidos de un área a otra.

Por otro lado en los países de nuestra región, el descontento social, los subsidios distorsivos, la politización y judicialización por el aumento de tarifas eléctricas crecen a diario, la crisis energética que abarca a amplios sectores originando restricciones en el servicio, todo esto puede provocar la falta de objetividad al responder la encuesta y determinar una sobreestimación o subestimación de los valores de costos de la interrupción.

2.1.3 Método Implícito

Utilizado principalmente por la empresa eléctrica francesa (Electricité de France, EDF), parte del supuesto, que el plan actual de expansión de la empresa eléctrica, es económicamente óptimo desde un punto de vista global, esto es, incluyendo el costo de interrupción. Como el plan y los costos son conocidos (exceptuando el de falla), es posible estimar el valor medio de la energía no suministrada de las condiciones de optimalidad. Se puede observar, que este método evita las suposiciones y simplificaciones teóricas, como la dificultad de medición de los métodos directos. Sin embargo es función del punto de partida y depende arbitrariamente de las decisiones de inversión de la compañía, las cuales no siempre reflejan los requerimientos del consumidor. EDF ha generado un contrato llamado ÉMERAUDE, que incluye el control de ciertos aspectos de calidad del servicio [14]. Para los clientes que suscriben este contrato, establece un compromiso de calidad del servicio en aspectos tanto de continuidad como de calidad de tensión.

2.2 Otros antecedentes

En el libro titulado “Calidad de Potencia” [32], en el capítulo 4 “Interrupciones y huecos de tensión”, el autor hace un análisis del Costo de las interrupciones de corta duración y huecos de tensión, y presenta el problema teniendo en cuenta que finalmente

de un forma u otra, quien paga el Costo de la Calidad de Potencia es el usuario. También expone que es más equitativo tener instalaciones y contratos diferenciales para aquellos que necesitan una calidad excepcional, pero aquí surge una pregunta difícil de responder: ¿a partir de qué nivel se considera calidad excepcional?. El autor también clarifica que las reglamentaciones de muchos países, entre los cuales está Argentina, sólo tienen en cuenta los cortes de suministro eléctrico, dejando de lado los microcortes y huecos de tensión. Además, los valores que se toman para determinar las penalizaciones son mucho más bajos que las pérdidas que realmente sufren los usuarios comerciales o industriales, con lo cual de no existir reglamentaciones más severas o incentivos económicos, las empresas eléctricas no consideran realizar inversiones para mejorar la calidad [33].

2.3 Elección de la metodología a utilizar

De la bibliografía consultada, es posible establecer las ventajas y desventajas de las diferentes metodologías. En este trabajo de investigación se selecciona la metodología directa, ya que de su análisis, se puede concluir en forma preliminar que la aplicación de encuestas es la manera más apropiada de obtener una correcta estimación del costo de la interrupción de energía eléctrica, además de suministrar información complementaria de relevancia [13], [14], [15], [16], [20], [21], [24], [25].

El modelo utilizado por Billinton en los trabajos citados anteriormente, en lo referente a su estructura general, es aplicable a otras realidades como la presente situación en nuestro país y en especial a la zona seleccionada. Para la consecución satisfactoria de este esfuerzo es necesario adaptar el tipo de encuesta a la realidad nacional, al tipo de información que se desea obtener, a la idiosincrasia de nuestra gente y sobre todo a los esquemas tarifarios de nuestro medio.

Los comentarios y forma de utilizar los datos por parte de los autores en dichos trabajos, permiten sentar una base inicial para el análisis de los resultados que se pueden alcanzar a través de las encuestas, y cómo mediante la elaboración de modelos estadísticos se puede obtener el costo de las interrupciones de potencia para los distintos tipos de clientes [34], [35].

III. EVALUACION DE LA METODOLOGIA DIRECTA EN BASE A UNA MUESTRA

3.1 Desarrollo de las Encuestas

La metodología seleccionada, como anteriormente se señaló, obtiene la información directamente de los sectores que se ven afectados, mediante la aplicación de encuestas, y con el posterior análisis de los datos obtenidos se determina el valor del costo de la interrupción.

Las encuestas al cliente permiten introducirse esencialmente en la naturaleza de los costos y efectos de la interrupción, directamente del afectado (quien sufre la interrupción).

El costo de la interrupción está estrechamente relacionado con las diferentes actividades del cliente, las cuales dependen de la continuidad del suministro de potencia. Esta dependencia es una función de las particularidades del cliente y de las características de la interrupción, tales como: tipo de cliente, actividades interrumpidas, tamaño de las operaciones del cliente, requerimientos de demanda y energía, dependencia de la energía de acuerdo a la hora de ocurrencia, día de la semana y estación del año, duración, frecuencia de las interrupciones, si un aviso anticipado es dado o no, la naturaleza del aviso, si la interrupción es localizada o extendida. Para cada escenario, las respuestas de personas calificadas proveen información acerca de los costos esperados para las pérdidas de producción o ventas, daños en equipos, costos de mano de obra, etc.

Las encuestas a los clientes pueden ser realizadas de diversos modos: vía correo, teléfono, Internet o usando entrevistas personales. Cada metodología tiene ventajas y desventajas en términos de costos, precisión de datos, responsabilidad de quien responde, tiempo que toma recoger todos los datos; pero es fundamental permitir a quien responda, contar con el tiempo necesario para calcular los costos y ahorros para los diferentes escenarios de interrupciones.

Finalmente, el formato y contenido del cuestionario puede fácilmente ser armado enfocando temas relevantes, para obtener el tipo de información que se necesita

Como se mencionó en el capítulo anterior, los comienzos del desarrollo de esta herramienta se remontan aproximadamente a cuarenta años atrás, desde entonces se observa un fuerte impulso a la metodología, encontrando a Canadá entre los líderes del

desarrollo del método directo. Parte de los trabajos reportados de la aplicación de la metodología directa en diversos países, se listan en la bibliografía citada.

El presente trabajo se basa fundamentalmente en tomar como referencia estas publicaciones, sobre todo apoyándose en los trabajos de Billinton, para obtener una estructura de las encuestas que brinde resultados comparables.

3.2 Sectores utilizados

Una revisión de la literatura revela que las investigaciones en el costo de interrupciones de la potencia, se han conducido abarcando cuatro sectores de consumidores: residencial, comercial, industrial y gran industrial (aunque hay trabajos que muestran resultados para otros sectores, tal como el sector agrícola).

Aplicar encuestas a estos cuatro sectores en nuestro país es totalmente válido, ya que las empresas distribuidoras generalmente tienen identificados a sus usuarios por categorías que incluyen a sectores similares a los citados. Por ejemplo, la E.P.E.C. en su cuadro tarifario considera: la Tarifa N°1 RESIDENCIAL, que se aplica a los consumos de energía eléctrica en casas o departamentos e instalaciones de uso colectivo, cuando sirvan a propiedades destinadas exclusivamente a vivienda, comercios y/o talleres con un máximo de 5 kW de potencia, cuyos titulares residan habitualmente en el mismo domicilio del suministro; la Tarifa N°2 GENERAL Y DE SERVICIOS, se aplica a los consumos de energía eléctrica en los establecimientos y/o locales industriales o comerciales, profesionales o de servicios con "Demanda de Potencia Autorizada" de hasta 40 kW y en todos los demás casos en que no corresponda expresamente otra tarifa; TARIFA N° 3 - GRANDES CONSUMOS se aplica a los suministros con "Demanda de Potencia Autorizada" superior a 40 kW, independiente del uso a que se destine el consumo de energía (en esta categoría se incluyen los clientes Industriales y Comerciales con consumos importantes); COOPERATIVAS que incluyen a clientes Urbanos y Rurales, manteniendo sus propias tarifas internas.

Por otro lado, la empresa distribuidora de Córdoba publica datos estadísticos de la composición de la cartera de clientes según la venta de energía, donde muestra que el 28% de su cartera de clientes corresponde a la categoría de Residenciales, el 10% a General y Servicios, el 24% a Grandes Consumos, el 33% a Cooperativas y el 5% a otros consumos [36].

Los clientes residenciales son numerosos dentro de la mayoría de los circuitos de distribución, y el rango de sus costos de la interrupción es relativamente pequeño [25]. Los clientes comerciales e industriales, plantean problemas especiales en todas las aplicaciones de las operaciones de planeamiento de las compañías eléctricas y en la aplicación de los costos de la interrupción del cliente, que se reflejan en inversiones y operaciones de planeamiento particularmente. Debido a la magnitud del uso de la energía y del aumento de dependencia del equipamiento eléctrico y electrónico, los clientes comerciales e industriales son cada vez más afectados por la confiabilidad y la calidad de la potencia provista por las empresas eléctricas. Los costos que experimentan como resultado de interrupciones de la potencia y de problemas de la calidad de la potencia, son literalmente de órdenes de magnitud más altos que los de clientes más pequeños [24]. Por otra parte, estos clientes pueden ser extremadamente eficaces en expresar su descontento con la prestadora del servicio eléctrico, y a menudo tienen la ingeniería y los recursos legales requeridos para desafiar los niveles de la calidad de potencia y de la confiabilidad proporcionados, ante la gerencia de la compañía o entes reguladores, e incluso ante la justicia. Por lo tanto, es muy importante tener en cuenta directamente sus requerimientos en la ingeniería de diseño y en la evaluación de las alternativas de funcionamiento que afecten su servicio.

Por estas razones el presente trabajo se realiza sobre el sector comercial y el industrial, tamaños pequeños-medianos, clientes de la Zona "F" de la E.P.E.C, dentro de las categorías grandes consumidores (Tarifa N° 3 Grandes Consumos), como así también General y Servicios (Tarifa N° 2), dejando para trabajos posteriores el sector residencial y el gran industrial que no se encuentra en la zona de análisis.

3.3 Enunciación de las encuestas

La tarea de formulación de las encuestas se redujo primordialmente a un proceso de análisis de la literatura disponible, interpretando a las bases de los resultados mostrados, adaptándolas y complementándolas, para obtener un conjunto de preguntas que integraron las encuestas para los sectores comercial e industrial, tal lo que se mencionó.

Después de un primer arreglo de las encuestas, adaptándolas a la realidad de nuestro país y en especial a la zona de aplicación, las cuales fueron examinadas por especialistas de la compañía proveedora de electricidad, se efectuó una valoración en

una muestra pequeña (cuatro encuestas al sector comercial y cinco al sector industrial). Este análisis permitió realizar un ajuste final del contenido de las preguntas, resultando lo que se muestra en el Anexo A y en el Anexo B.

El contenido de las encuestas se desarrolló en dos partes. La primera, Anexo A, se dirigió a obtener datos generales, estando compuesta por una introducción, donde se le hacía saber al encuestado el objeto del estudio, la forma en que se desarrollaba y la confidencialidad de los datos brindados, A continuación se establecieron una serie de preguntas a los fines de obtener datos para caracterizar a la empresa: propiedad de las instalaciones, tipo de actividad, cantidad de empleados, equipamiento sensible utilizado, etc. Solicitando al final copias de las últimas facturas de la empresa de energía, a los fines de determinar las demandas y consumos de energía eléctrica.

La segunda parte, Anexo B, estuvo orientada a valorar los costos de las interrupciones de energía eléctrica propiamente dichas. Comenzando con una serie de instrucciones para completar la encuesta y siete preguntas para determinar en qué grado el cliente se ve afectado por los cortes de energía eléctrica: número de interrupciones experimentadas en un año y en uno más representativo, número de cortes con restablecimiento del servicio y nuevo corte, en cuanto lo perjudican cortes de distinta duración, cuan perjudicial es el corte en las distintas estaciones del año y una pregunta cualitativa sobre la satisfacción brindada por la compañía eléctrica. Posteriormente se realizaron una serie de preguntas respecto a las pérdidas, planteando los siguientes escenarios:

- Caso 1: Una interrupción de 1 segundo, comenzando a las 9,00 horas de un día viernes de verano, sin ningún aviso previo.
- Caso 2: Una interrupción de 3 minutos, comenzando a las 9,00 horas de un día viernes de verano, sin ningún aviso previo.
- Caso 3: Una interrupción de 1 hora, comenzando a las 9,00 horas de un día viernes de verano, sin ningún aviso previo.
- Caso 4: Una interrupción de 4 horas, comenzando a las 9,00 horas de un día viernes de verano, sin ningún aviso previo.

Para los casos 3 y 4 se le agregó una pregunta al final de cada circunstancia, solicitando al entrevistado en que porcentaje disminuirían las pérdidas, si hubiera un aviso previo de la interrupción, con una anticipación de 24 horas.

Para cada escenario, mediante preguntas específicas, fueron valuadas varias medidas del impacto de la interrupción:

- ✓ Porcentaje y tiempo de reducción de actividades
- ✓ Pérdidas de producción
- ✓ Costos
- ✓ Ahorros o economías

Posteriormente se buscaron datos de: cantidad de horas diarias y días de la semana en que se desarrollan actividades, monto de las facturas de electricidad pagadas en distintas estaciones del año, uso de equipos stand-by, etc.

En adición a las interrupciones de energía eléctrica específicamente fueron evaluados, eventos de calidad de potencia. Particularmente, se realizaron preguntas sobre: número, efectos y costos relacionados con problemas de calidad de potencia.

Finalmente se le preguntó al encuestado, si otra situación de ocurrencia de la interrupción era más crítica o perjudicial para sus actividades que las planteadas en los escenarios anteriores, respecto a la duración, día de la semana, hora de comienzo y estación del año.

3.4 Recolección de datos

De un listado de clientes proporcionado por la delegación Zona “F” de la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (E.P.E.C), se seleccionó una muestra representativa, de acuerdo a los niveles de consumo de cada cliente. Para llevar a cabo las encuestas se decidió realizar una visita personal a cada empresa y/o negocio, tratando de contactar a la persona más idónea para responder el cuestionario, a la cual se le informó del alcance del estudio y forma de realizarlo; al mismo tiempo se obtuvieron datos preliminares sobre el funcionamiento de la instalación y problemas con el suministro de energía eléctrica. A su vez se dejaba asentado un acuse de recibo de la encuesta, y se acordaba la fecha para retirar la misma, permitiendo así que el encuestado adecuara sus tiempos para responder. Se contestaron consultas y se realizaron aclaraciones vía telefónica o por e-mail, en algunos casos se proporcionó ayuda al encuestado en el momento de retirar la encuesta, para completar la misma.

Desde el comienzo del proceso de distribución de encuestas hasta la culminación del proceso de recolección, transcurrieron aproximadamente nueve meses. De un total

de 107 encuestas distribuidas, fueron devueltas 96, 49 de ellas de usuarios del sector comercial y las 47 restantes de usuarios del sector industrial.

3.5 Clasificación de datos

La muestra fue estratificada por el tipo del negocio (comercial o industrial) y por el voltaje entregado (Baja o Media Tensión).

En una primera aproximación, los costos de la interrupción fueron estimados mediante una metodología contable, que implicó recoger la información detallada obtenida en campo, disponer el valor de mercado de productos y de costos de producción para cada empresa bajo estudio. Algunos de los clientes encuestados se mostraron poco dispuestos a proporcionar valoraciones de costos detallados de la interrupción por categoría de costo, prefiriendo proporcionar costos estimados totales de la interrupción para cada escenario. Otros, quizás por problemas de provisión de energía, proporcionaron datos demasiado elevados que se alejaban bastante de la realidad y del tipo de empresa. Esto hizo que se descartaran nueve encuestas, quedando una muestra útil de 87 encuestas (91% de la muestra inicial). En la Tabla III-1, se muestra la distribución de usuarios con el número de encuestas recibidas.

Tabla III-1. Distribución de usuarios encuestados

Usuarios	N° de Encuestas		
	Distribuidas	Devueltas	Muestra Final
Industrial	49	47	45
Comercial	58	49	42
Total	107	96	87

Los costos de la interrupción fueron preparados según la fórmula siguiente [24]:

Costos de la interrupción = valor neto de la producción perdida por la interrupción + costos relacionados con la interrupción - ahorros relacionados con la interrupción.

El valor de la producción perdida es igual al rédito previsto del cliente sin la interrupción menos su rédito dada la interrupción. En términos simples, esta cantidad es el decremento en el rédito de la compañía que ocurriría como resultado de la

interrupción. Normalmente, esta cantidad es igual al valor del producto (ventas o servicios) que no se podría producir debido a la interrupción menos el valor de alguna producción que será hecha a través de tiempo suplementario (horas extras) o de rotaciones adicionales, teniendo en cuenta los costos agregados.

Los costos relacionados con la Interrupción, son los costos contraídos directamente debido a la interrupción. Estos incluyen lo siguiente:

- Costos en sueldos y jornales pagados sin trabajar
- Costos de trabajo para recomenzar la producción (limpieza, mantenimiento, etc.)
- Costos generales para componer la producción
- Costos de los materiales dañados y de procesos adicionales (reciclado y desactivado)
- Costos de daños físicos a las instalaciones o equipos de la planta
- Costo de reprocesamiento de materia prima
- Costo operativo del equipamiento de generación de reserva

Los ahorros relacionados con la Interrupción, son todos los costos que se evitan como consecuencia de la interrupción. Los ahorros que pueden ocurrir como resultado de una interrupción eléctrica incluyen lo siguiente:

- Costo de materias primas no usadas debido a la interrupción
- Costo de energía y combustible no usado
- Costo de salarios sin pagar a los trabajadores durante la interrupción (contratados por tiempo)
- Valor de desecho de materiales dañados.

Especial cuidado fue tomado para asegurarse de que solamente las pérdidas totales fueran las que realmente resultarían de la interrupción de energía. Por ejemplo, si por alguna razón la planta pudiera recuperar un cierto porcentaje de su pérdida de producción más adelante (produciendo durante períodos en que normalmente la planta estaría parada), el costo de la interrupción no debe incluir el valor completo de la pérdida de producción original. Se debe incluir solamente el valor de la producción no recuperada y el costo de trabajo adicional y de materiales requeridos para componer la parte de la producción que fue recuperada eventualmente. En cualquier caso, no debe incluirse el costo completo de producción perdida y el costo completo de recuperar la

producción perdida, puesto que esto representaría contabilizar doblemente y sobrestimaría la pérdida. De la misma manera, si no hay costos de reinicio, ni tampoco daños a los equipos y los ahorros son mínimos, el costo de la interrupción del cliente sería aproximadamente igual al valor total de su pérdida de producción, ya que este valor incluye los costos de materias primas, mano de obra, energía, gastos indirectos, así como el beneficio (valor económico total del producto que habría sido producido si la planta era operacional durante la interrupción).

Además de la información referente a los costos estimados que los clientes experimentarían como resultado de las interrupciones anteriormente descritas, se obtuvo información detallada referente a las actividades, los productos, los procesos, y del equipo sensible o crítico en cada empresa. Por otro lado, fue identificada la existencia de sistemas de reserva y en qué porcentaje eran capaces de cubrir las cargas eléctricas ante una interrupción, junto con el costo de gestionar tales sistemas (cuando esto era conocido).

3.6 Resultados

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis exploratorio de datos (tratamiento estadístico al que se someten las muestras recogidas durante un proceso de investigación en cualquier campo científico, **John W. Tukey**), para describir las características de la muestra utilizada en este trabajo. Un examen detallado de los distintos componentes del costo fue ejecutado para determinar el costo total del cliente para distintas interrupciones. Los costos varían por las características propias de la interrupción (duración, hora, época, etc.). Dependiendo del tamaño del establecimiento, tipo de industria o negocio, procesos puestos en juego o tecnología empleada, el costo para una interrupción particular también varía fuertemente de un cliente a otro. Se ponderó el impacto de esos factores sobre el costo de la interrupción para el cliente, utilizando los datos obtenidos en las encuestas. A los fines de mostrar un valor actualizado del costo de la interrupción, se aplicó a los valores declarados en las encuestas el Índice de Precios básicos del Productor (IPP), ítem Manufacturados y Energía Eléctrica declarados por el INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina). A continuación se exponen los resultados más sobresalientes.

3.6.1 Costo de la interrupción en función de la duración.

El costo neto para cada cliente ante una interrupción, fue desarrollado desde las estimaciones realizadas por los encuestados, de los costos específicos que incurrirían (pérdidas de producción/ventas, mano de obra ociosa, etc.), de algún porcentaje de sus pérdidas de producción/ventas que podrían recuperarse posteriormente y de alguna economía que podría realizarse, tal como materiales no usados, energía o combustibles no consumidos, etc. Un mayor detalle sobre los elementos de costos y economías usados para calcular el costo neto, se pueden ver en el Anexo B.

La Figura 3-1, muestra los valores medios del costo de la interrupción, expresada en pesos argentinos en función de su duración, obtenidos de una combinación de datos de clientes Comerciales e Industriales. Para el estudio presentado en este trabajo se utilizó una tasa de cambio de \$Ar.1 = 0,22 USD

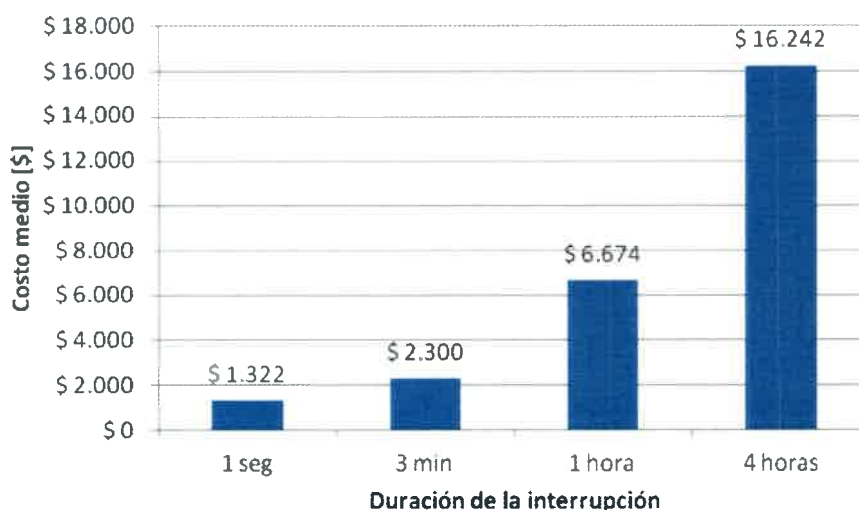


Figura 3-1: Costo medio de la interrupción por su duración

Como se ve en la Figura 3-1 la relación entre el costo de la interrupción y su duración dista mucho de ser una función lineal, observándose un costo medio para todos los sectores encuestados durante un segundo de interrupción de \$1.322, mientras que el costo medio obtenido para una interrupción de tres minutos fue de \$2.300. Por otro lado el costo para tres minutos fue del 14% del costo para cuatro horas, siendo que en cuanto a la duración de la interrupción, tres minutos es del orden del 1% de cuatro horas.

En esta representación de valores medios no se puede observar la enorme variación en el costo de un cliente a otro.

En la Tabla III-2, además del valor medio, se han incluido los valores mínimos y máximos, para cada duración. La desviación estándar (SD) y coeficiente de variación (CV) se muestran en el Anexo C. Mostrándose por ejemplo, que para una interrupción de una hora donde el valor medio calculado del costo de la interrupción es de \$6.674, el costo mínimo individual fue de \$0, mientras que el costo máximo se encontró en \$60.903 para la misma duración. Algo similar ocurre para los otros escenarios planteados de duración de la interrupción, presentándose un amplio margen entre los valores extremos.

Los valores Mínimos y Máximos y el coeficiente de variación muestran la gran variabilidad presente en la muestra, por lo que la mediana es la que refleja mejor el comportamiento de la variable costo de la interrupción, en la mayoría de las empresas.

Tabla III-2. Costos medio, mínimo y máximo de la interrupción

Duración	1 seg.	3 min.	1 hora	4 horas
Costo medio [\$]	1.322	2.300	6.674	16.242
MIN [\$]	0	0	0	2.222
MAX [\$]	16.160	26.563	60.903	78.376

Para facilitar la visión de una serie de datos de una muestra, se utilizaron diagramas de **Caja-Bigotes** (boxplots o box and whiskers), que mediante una presentación visual describen simultáneamente varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría.

Para su realización se representan los tres **cuartiles** y los valores **mínimo** y **máximo** de los datos, sobre un rectángulo, alineado verticalmente, así el gráfico está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos, los "bigotes". Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato que no se encuentre dentro de este rango determinan la presencia de valores atípicos (outliers) y son marcados e identificados individualmente.

Para entender los parámetros predeterminados que se han puesto en el formulario, el diagrama de caja representa lo siguiente:

1. La caja cubre el 50% de los datos, siendo su parte superior el cuartil 1 (Q1) y la parte inferior el cuartil 3 (Q3).

2. La caja presenta una línea roja que corresponde al cuartil 2 (Q2), que representa la mediana, y permite identificar fácilmente si existe sesgo en los datos.
3. Los bigotes (whiskers) muestran los valores máximos y mínimos, a menos que hayan datos atípicos, que son aquellos que están más allá de 1,5 veces el rango intercuartílico (Q3 - Q1).
4. En caso de existir atípicos, los bigotes corresponden al dato más cercano a 1,5 veces el rango intercuartílico y los datos atípicos se presentan como puntos vacíos más allá de los bigotes.
5. Se grafica la media como un diamante de fondo verde.

La Figura 3-2, muestra un diagrama de cajas para el costo total de la interrupción de todos los establecimientos encuestados, para los cuatro escenarios propuestos. Para interrupciones de 1s y 3min, las cajas son más pequeñas lo que indica que el 50% de las empresas tuvieron costos parecidos y cercanos a cero. En cambio, para una interrupción de 4h la caja es más grande lo que significa que los costos en el 50% de las empresas presentan mayor variabilidad. En todos los escenarios se presentan valores extremos, indicadores de empresas que estimaron un costo total mucho más grande que el resto, en cada escenario

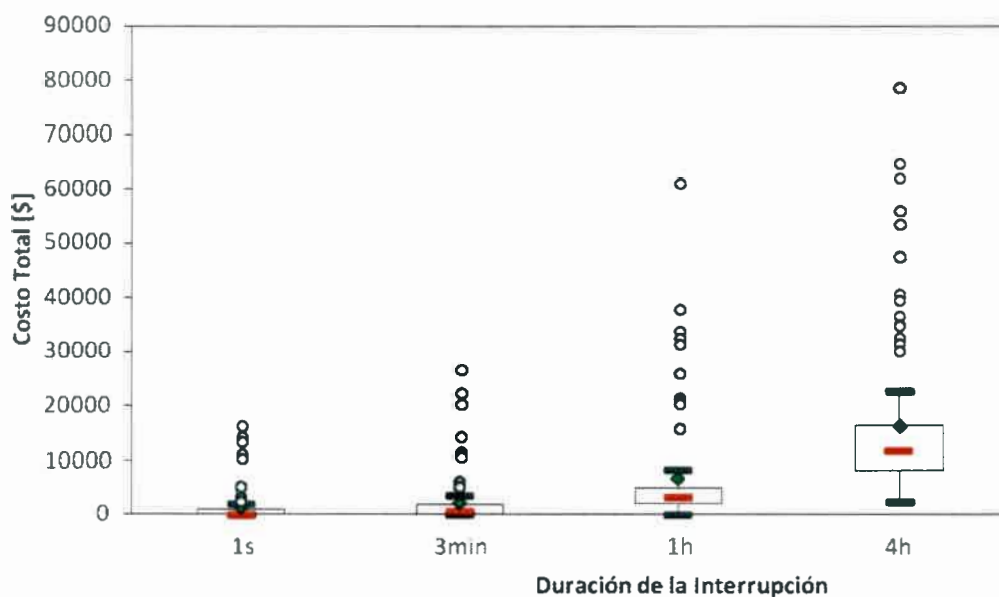


Figura 3-2. Distribución de costos de la interrupción en función de la duración

En cuanto a la mediana, en la Figura 3-2 se puede observar que, en los tres primeros escenarios se presenta una marcada asimetría de la distribución de los datos, que indica un perfil sesgado a la derecha, mostrando que la parte superior de la caja delimitada por la mediana, es mayor que la inferior; por el contrario la última caja muestra la mediana centrada, indicando un perfil simétrico de la distribución de datos.

La Figura 3-3, muestra en porcentaje de todos los establecimientos encuestados, los distintos niveles de costos experimentados para cada escenario de interrupción. Lo más sobresaliente que se puede observar en ésta figura, es que el 62% de la muestra de clientes no experimenta costos para una interrupción de un segundo, mientras que alrededor del 18% no aprecia costos para una interrupción de tres minutos. Tan solo un porcentaje cercano al 2% manifestó no sufrir costos para una interrupción de una hora de duración y todos los encuestados manifestaron experimentar costos para una interrupción de cuatro horas.

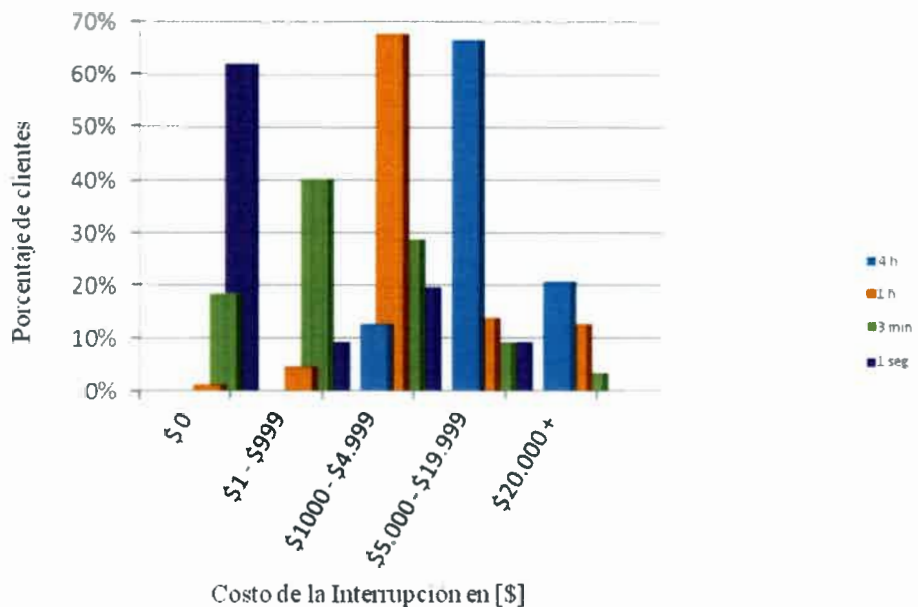


Figura 3-3. Escala de costos de la interrupción en función de la duración

La distribución de la Figura 3-3 muestra que alrededor del 60% experimenta costos inferiores a los \$1000 para interrupciones de tres minutos, mientras que para una hora de duración un porcentaje de alrededor del 75% experimenta costos por debajo de

los \$5000. En cuanto a las interrupciones de cuatro horas de duración, alrededor del 20% de los clientes experimentaron costos superiores a los \$20.000 y en un pequeño porcentaje de aproximadamente el 2% manifestaron valores superiores a los \$50.000, incidiendo fuertemente en estos casos, el daño estimado en equipos (principalmente en la Industria, con deterioro de matricería, componentes mecánicos atascados, etc.).

3.6.2 Elementos del Costo de la interrupción.

En la Tabla III-3 se detallan los componentes individuales de costos y economías que fueron obtenidos de los encuestados. El nivel de las economías que se muestran en esta tabla, es relativamente bajo frente a los valores de los costos, para los cuatro escenarios propuestos. Para una interrupción de un segundo de duración, la mayor contribución del costo lo muestra el ítem de equipos dañados y para las tres interrupciones restantes ocupa el segundo lugar después de las pérdidas netas de producción, ventas o servicios. En el ítem Otros, fueron incluidos los costos de funcionamiento de los equipos de emergencia.

Tabla III-3. Valores medios de costos y economías de la interrupción

	1 seg	3 min	1 hora	4 horas
Costos	\$ 2.049	\$ 3.609	\$ 11.331	\$ 28.341
Pérdidas netas de producción, ventas o servicios	\$ 533	\$ 1.047	\$ 5.892	\$ 18.705
Costos de Mano de Obra	\$ -	\$ -	\$ 453	\$ 2.267
Materiales dañados	\$ 226	\$ 1.010	\$ 1.416	\$ 2.551
Equipos dañados	\$ 1.188	\$ 1.299	\$ 2.833	\$ 2.976
Otros	\$ 102	\$ 253	\$ 737	\$ 1.842
Economías	\$ 727	\$ 1.309	\$ 4.657	\$ 12.099
Materiales no usados	\$ 727	\$ 1.244	\$ 4.424	\$ 11.494
Combustibles y Energía no consumidos	\$ -	\$ 65	\$ 210	\$ 545
Jornales no pagados	\$ -	\$ -	\$ 23	\$ 60
Costos Netos	\$ 1.322	\$ 2.300	\$ 6.674	\$ 16.242

3.6.3 Costo de la interrupción por sector.

Los costos de la interrupción varían por la duración de la interrupción misma, como ya fue mostrado y también por el sector. En la Figura 3-4, se presenta el costo medio para cada uno de los sectores de este estudio, pequeño y mediano Comercial e Industrial. Como se muestra en la Figura 3-4, para todos los escenarios planteados los costos medios de la interrupción son superiores para el sector industrial, siendo para duraciones cortas más notoria la diferencia, por ejemplo para una duración de un segundo el valor del costo medio para el sector industrial resulto de \$2.232, mientras que para el sector comercial fue de \$346; para tres minutos el sector industrial arrojo resultados aproximadamente tres veces superior al comercial, siendo los valores del costo medio de la interrupción de \$3.256 y \$1.275 respectivamente.

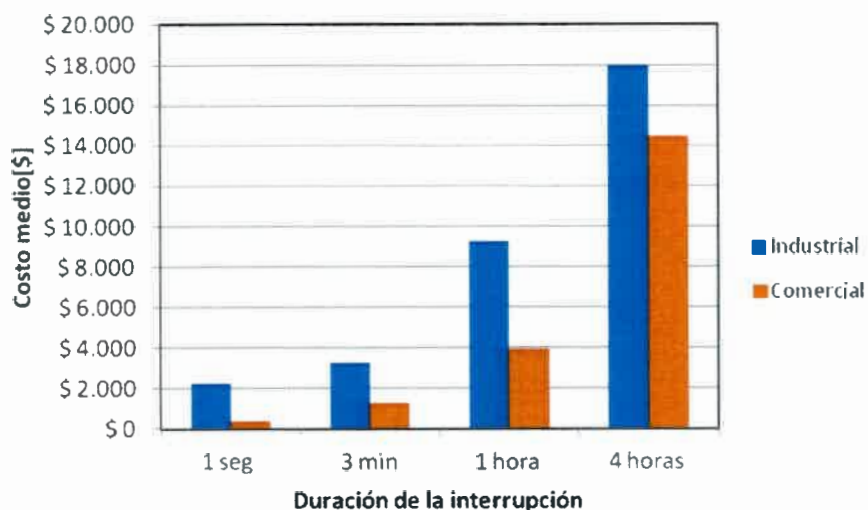


Figura 3-4. Costo medio de la interrupción por sector.

Para la duración más larga estudiada, cuatro horas, la diferencia de los valores obtenidos del costo medio de la interrupción entre ambos sectores fueron menores (del orden del 20%), \$17.946 para el sector industrial y \$14.416 para el sector comercial.

En la Figura 3-5, se grafica en diagramas de cajas la variación de los Costos Totales de la interrupción por sector en función de la duración. Se ha identificado con [C] a los escenarios correspondientes al sector Comercial y con [I] a los del sector Industrial. De su análisis, se observa que las estimaciones de los costos industriales

presentan una mayor dispersión que las estimaciones de los costos comerciales, por ejemplo para 1h de duración de la interrupción, la gráfica nos muestra que el 50% de las estimaciones de los costos industriales se ubican entre \$1.820 y \$8.080, mientras que los clientes comerciales estimaron un costo total entre \$2.136 y \$3.696. De la misma forma, en las estimaciones de los costos industriales se presentan más valores atípicos, que en las estimaciones de los costos comerciales. Esto se debe a que, las actividades comerciales no difieren en gran medida entre sí, pero las actividades del sector industrial pueden ser muy distintas (por ejemplo entre las sub-categorías, de la industria de la alimentación y las metalmecánicas). La ubicación de la mediana de las cajas que representan el sector comercial, para los cuatro escenarios propuestos, indica una distribución bastante simétrica; mientras que la ubicación de la mediana en los tres primeros casos (1s, 3min y 1h) para el sector industrial, sugiere una distribución asimétrica sesgada a la derecha, ya que la parte superior de la caja delimitada por la mediana, es mayor que la inferior. Ello quiere decir que los datos entre el 25% y el 50% de la muestra están más concentrados y los que representan entre el 50% y el 75% de la muestra están más dispersos. Para interrupciones de 4h en el sector industrial, se observa que las estimaciones del costo total han determinado una distribución bastante simétrica, pero con una gran dispersión, el rango intercuartílico va en este caso de \$7.305 a \$16.200.

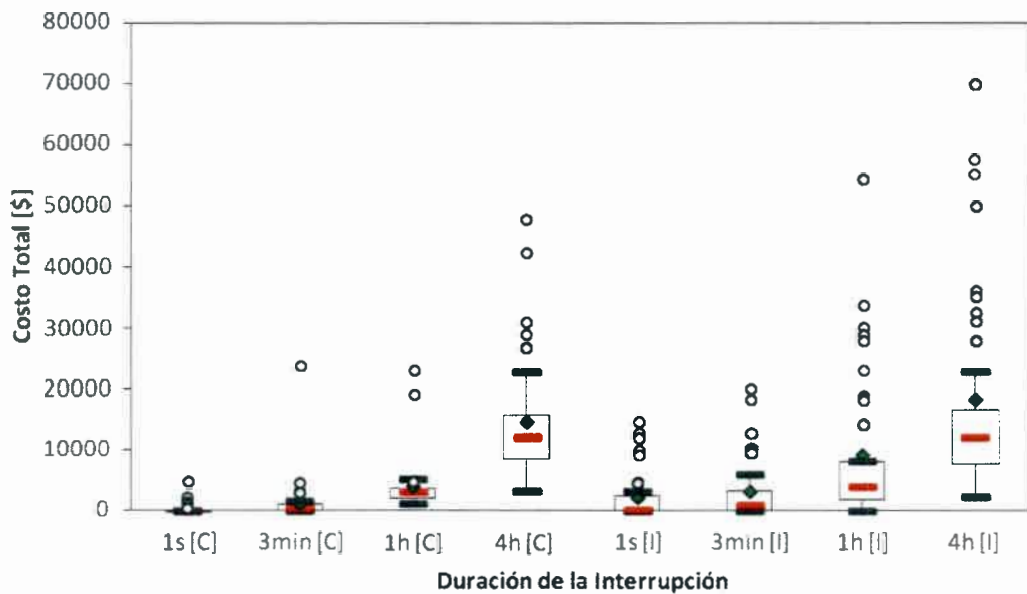


Figura 3-5. Distribución del Costo Total de la interrupción por sector.

El diagrama para la interrupción de 3min de duración para el sector industrial, muestra el bigote inferior más corto que el superior, por ello el 25% de los valores menores del costo total, están más concentrados que el 25% de los mayores valores. Una situación inversa ocurre para el diagrama siguiente, de 1h de duración de la interrupción para el mismo sector, el 25% de los mayores valores están más concentrados que el 25% de los valores menores del costo total de la interrupción.

3.6.4 Costo de la interrupción por tamaño de la empresa.

Estratificando a todas las empresas encuestadas por su tamaño, se las dividió en Pequeñas y Medianas, de acuerdo al número de empleados que tienen cada una de ellas. Calificándolas como Pequeñas hasta 19 empleados y de más de 20 empleados como Medianas. En la Figura 3-6, mediante un diagrama de cajas, se muestra la variabilidad de los costos totales estimados para las interrupciones, considerando los clientes pequeños y en la Figura 3-7, de la misma manera se presentan los costos totales estimados, para clientes medianos.

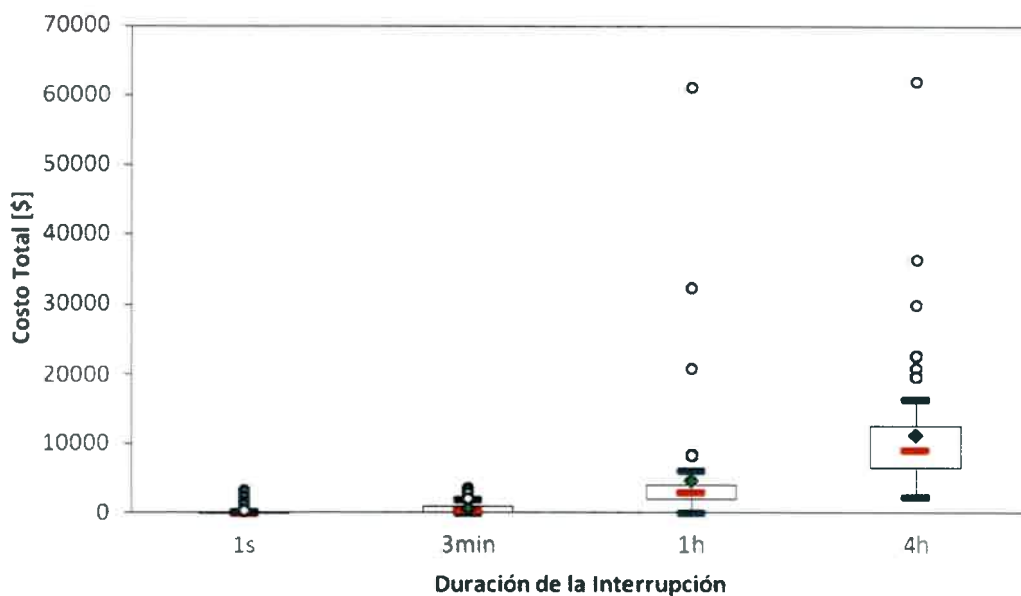


Figura 3-6. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Pequeñas

Comparando las Figuras 3-6 y 3-7, se puede determinar claramente que en relación al tamaño de las empresas encuestadas, las pequeñas empresas presentan una mayor uniformidad de la variable costo total de la interrupción, para todos los escenarios propuestos. Mientras que las empresas de tamaño mediano presentan una gran variabilidad, además las medianas demuestran una marcada asimetría de la distribución de los datos, esto brinda un perfil sesgado a la derecha en todos los casos, mostrando que las partes superiores de las cajas delimitadas por la mediana, son mayores que las inferiores.

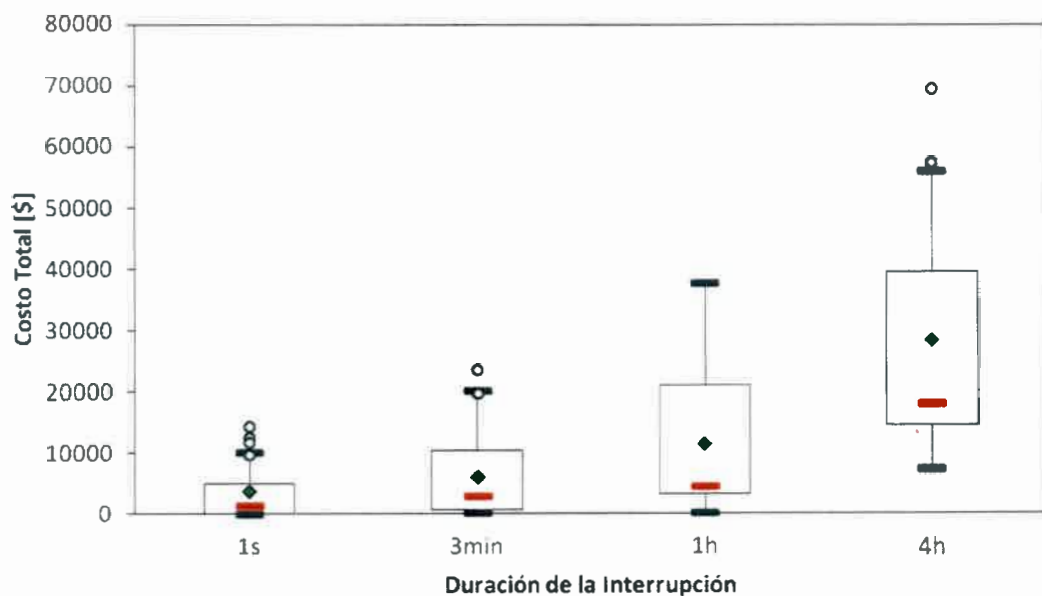


Figura 3-7. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Medianas.

Analizando el tamaño de los bigotes de las gráficas en la Figura 3-7, se observa que el 25% de los valores menores del costo total estimado de la interrupción, se encuentran más concentrados que el 25% de los mayores valores estimados, en todos los escenarios propuestos.

3.6.5 Estandarización del Costo de la interrupción.

Un procedimiento estándar para entender el impacto de los costos y poder compararlos con otros obtenidos de distintas Distribuidoras Eléctricas y regiones, es crear una medida referida a la demanda máxima anual (kW-pico) y otra referida al consumo de energía anual (kWh-anual). Por ello, las valoraciones de costos de cada

encuestado fueron normalizadas con respecto al consumo de energía anual de cada usuario [\$/kWh] y con respecto a la demanda pico anual [\$/kW].

Para los dos grupos de datos comerciales e industriales, la variable dependiente primaria es el costo neto total de la interrupción en función de la duración del acontecimiento. En la mayoría de los casos, se dispuso la información de la demanda y del consumo para cada cliente, a través de copias de las facturaciones de energía eléctrica (solicitadas con la encuesta), para el resto se solicitó dicha información a la empresa distribuidora. Dividiendo el valor del costo de la interrupción por acontecimiento por el valor kW o kWh, los errores tienden a ser alisados y hay menor variabilidad entre valores.

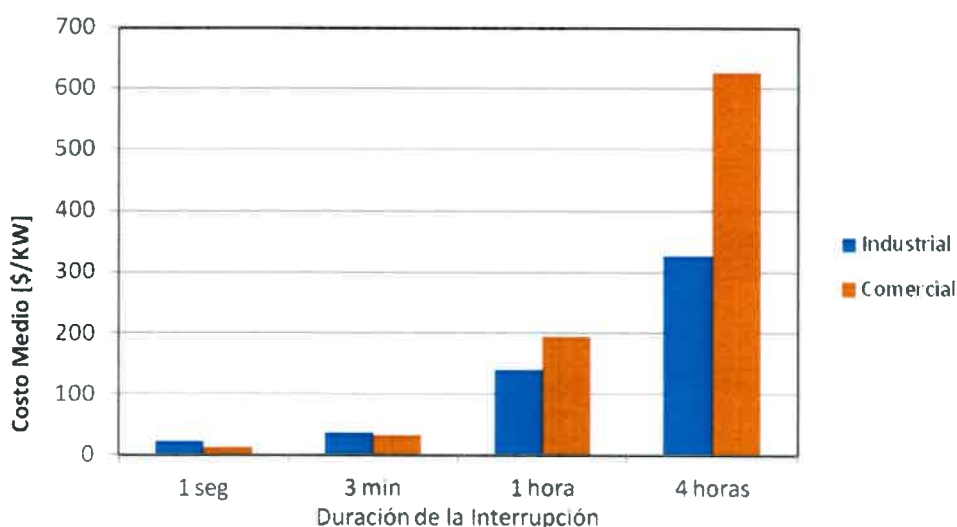


Figura 3-8. Costos medios de la interrupción estimados en [\$/kW]

En la Figura 3-8, se representan los valores de los costos de la interrupción en función de su duración expresados en [\$/kW] y de la misma manera en la Figura 3-9 se han representado en [\$/kWh].

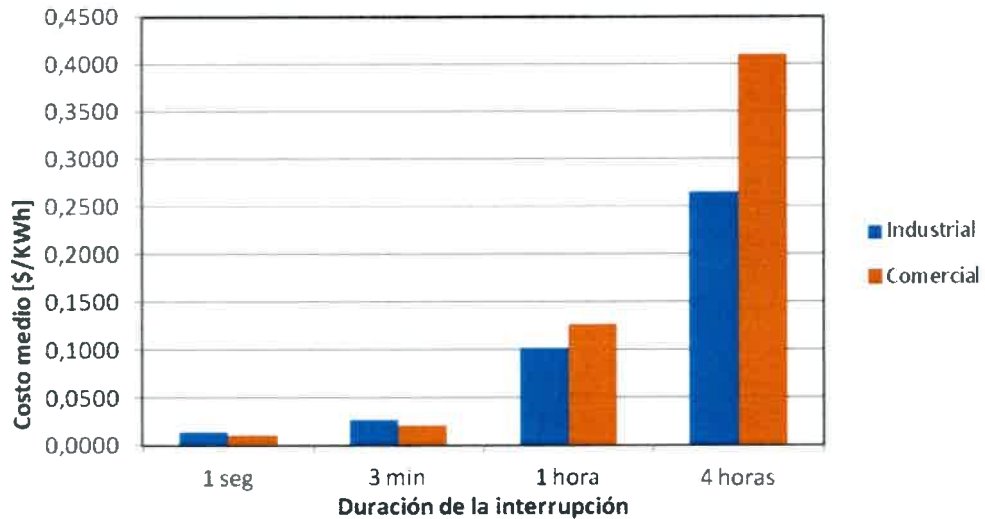


Figura 3-9. Costos de la interrupción estimados en [\$/kWh]

Tal lo que era presumible, en ambas figuras se puede observar que para duraciones cortas (1 seg. y 3 min.) las valoraciones obtenidas para el sector industrial son superiores a las del sector comercial; mientras que para una y cuatro horas la situación se invierte, haciéndose sensiblemente superiores los valores estimados del costo de la interrupción referido a la demanda o al consumo, para el sector comercial, acrecentándose la diferencia con la duración de la interrupción. Además se invierte la tendencia mostrada en la Figura 3-4.

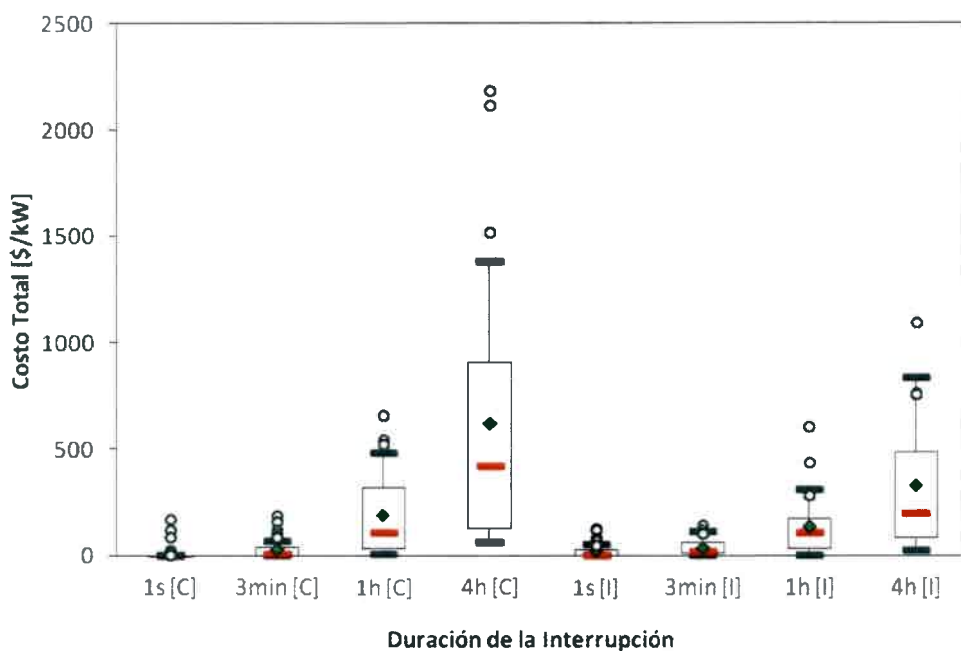


Figura 3-10. Distribución del Costo Total de la interrupción en [\$/kW].

En las Figuras 3-10 y 3-11, se puede observar la mayor dispersión que existe en los clientes comerciales, de la variable costo total referida a kW-pico y a kWh-anual respectivamente. Esto muestra claramente la mayor dependencia de la electricidad, que tienen los clientes industriales, en potencia instalada y en energía consumida.

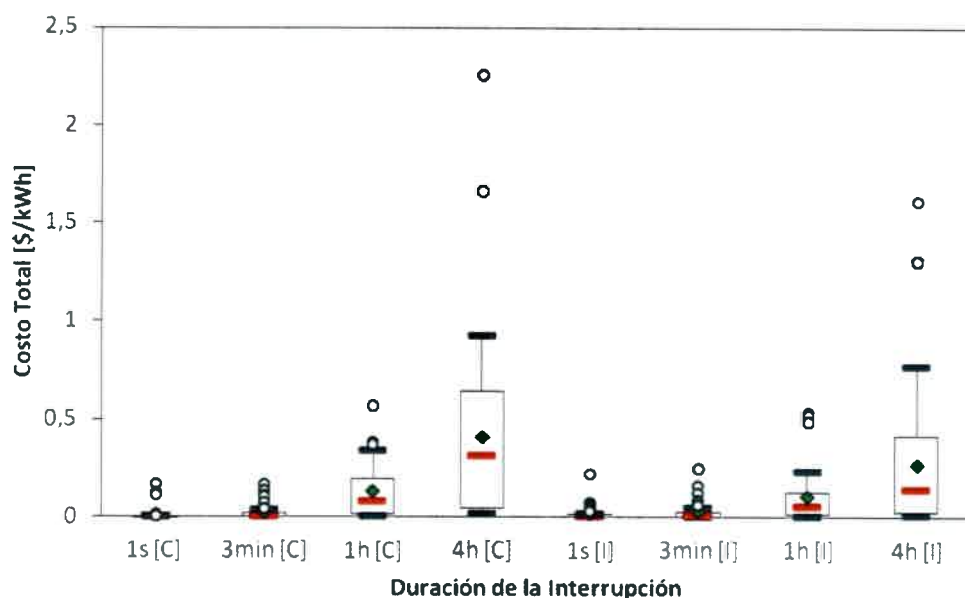


Figura 3-11. Distribución del Costo Total de la interrupción en [\$ / kWh].

3.6.6 Comparación del costo de la interrupción.

Muy pocas publicaciones de estudios realizados en otras partes del mundo, contienen un detalle de los datos obtenidos del costo de la interrupción. Los estudios realizados por la Universidad de Saskatchewan, por el Instituto de la Universidad de Manchester (UMIST) y el reporte de la compañía MidAmerican presentado por Sullivan y otros autores, son las publicaciones más comprensivas y detalladas del costo de interrupción para clientes de compañías eléctricas de Canadá, Reino Unido y EE. UU respectivamente [20], [23], [26]. La Figura 3-12, proporciona una comparación de los costos estimados de la interrupción entre los tres estudios mencionados anteriormente y en el presente trabajo realizado para clientes de la EPEC en Río Cuarto, las cuales son representadas por las respectivas funciones de daño al cliente industrial. El costo de la interrupción normalizado, es presentado en USD/kW (Dólares Estadounidenses por demanda pico), y las curvas fueron originadas desde los datos de las respectivas publicaciones, actualizados por los índices de inflación de cada país (Statistics Canadá,

Bureau of Labor Statistics EE. UU. y Office for National Statistics UK). Para el estudio presentado en este trabajo se utilizó una tasa de cambio de 1USD = \$Ar.4,55

Las curvas de la Figura 3-12, muestran niveles relativamente más bajos de las estimaciones de los costos de la interrupción para el estudio de Canadá, para todas las duraciones de interrupción bajo análisis. La curva obtenida en este trabajo, realizado para clientes de la EPEC Río Cuarto, representa estimaciones intermedias entre los valores estimados en los estudios de EE. UU y Canadá, para duraciones por debajo de una hora de duración, igualándose prácticamente con los valores obtenidos en el estudio realizado en EE.UU en el punto de una hora de duración (alrededor de 30 [USD/kW]) y luego la curva tiene un crecimiento algo mayor, llegando a valores de un 45% por encima de las correspondientes a EE.UU, para cuatro horas de duración. Mientras que para todas las duraciones de la interrupción, se ve una definida tendencia más alta para la curva de los valores estimados de costos de interrupción, obtenidos por el UMIST.

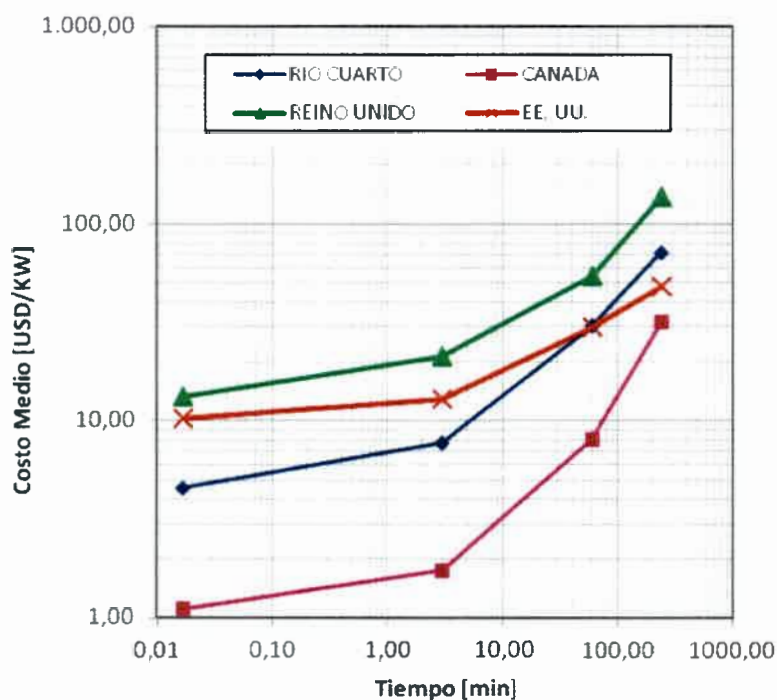


Figura 3-12. Comparación de funciones de daño de clientes industriales

De la misma forma, una comparación similar se representa en la Figura 3-13 para las funciones de daño de clientes comerciales. En este caso, los valores estimados

para el costo de la interrupción, expresados en USD/kW. muestran una tendencia más alta para todas las duraciones de la interrupción en el estudio de EE. UU. Mientras, que los niveles más bajos se observan para las investigaciones realizadas en Canadá y en el Reino Unido. La curva obtenida en este trabajo, realizado para clientes de la EPEC Río Cuarto, representa estimaciones intermedias entre los valores determinados en los estudios de EE. UU y el del Reino Unido, teniendo un crecimiento mayor para duraciones más largas. Aproximándose, para duraciones de interrupción de 1h y 4h, a un 15% por debajo de los valores obtenidos en el estudio realizado en EE. UU.

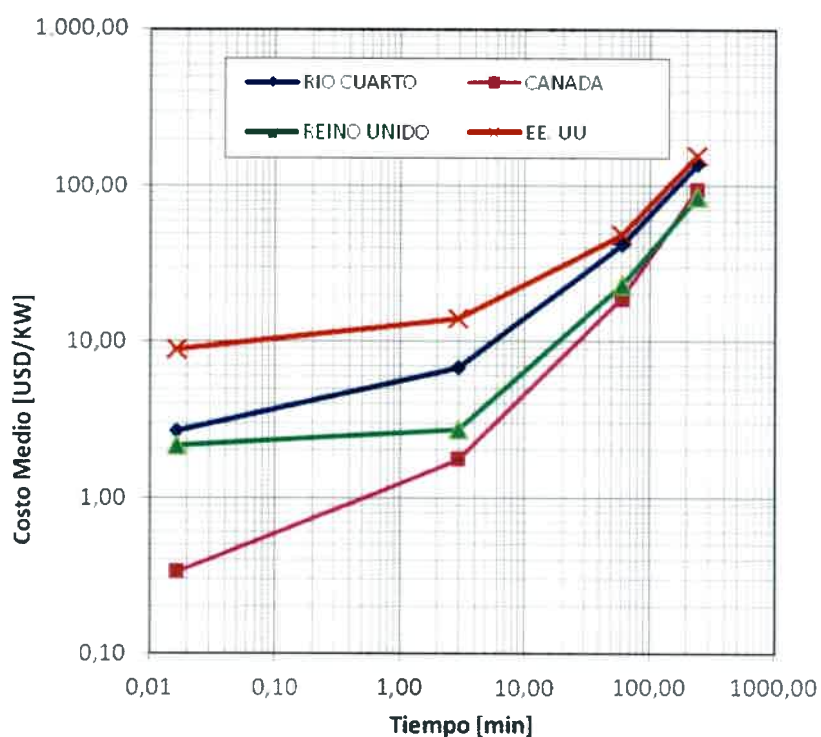


Figura 3-13. Comparación de funciones de daño de clientes comerciales

3.6.7 Efectos de la notificación anticipada de una interrupción.

Con el objeto de indagar si existen posibilidades de reducir el costo de la interrupción, en el caso de que la empresa distribuidora de electricidad informa previamente la ocurrencia de una interrupción, para las interrupciones de una y cuatro horas de duración, se preguntó al final de cada uno de estos dos escenarios en qué porcentaje disminuirían las pérdidas si esto ocurriera (aviso con 24 horas de anticipación).

En la Tabla III-4 se muestran los resultados en porcentaje de encuestados, discriminados por sector, que manifestaron que podrían disminuir sus pérdidas, si existía un aviso anticipado de la interrupción. El 62% de los clientes del sector Industrial, manifestaron algún porcentaje de disminución de pérdidas, si tenían una notificación previa de la ocurrencia de una interrupción. Este alto porcentaje correspondió en su mayoría, a empresas vinculadas con procesos, esto explica que mediante una reprogramación de tareas pueden evitar pérdidas, sobre todo de materias primas. Por otro lado, menos de la cuarta parte de los encuestados del sector Comercial (el 24%), reportaron que podrían tener algún porcentaje de disminución de pérdidas, si tenían una notificación previa de la ocurrencia de una interrupción.

Tabla III-4. Posible ahorro de costos por aviso anticipado de la interrupción

Tipo de Cliente	Sector Industrial	Sector Comercial
Porcentaje de encuestados que podrían hacer ahorro de costos	62%	24%

La Tabla III-5 muestra en [%], la disminución del costo de la interrupción, en el caso de que haya un aviso anticipado por parte de la empresa distribuidora.

Tabla III-5. Disminución de costos por aviso anticipado de la interrupción

Tipo de Cliente	Sector Industrial		Sector Comercial	
	1 hora	4 horas	1 hora	4 horas
Disminución MEDIA [%]	22	27	19	22
MIN [%]	15	15	10	10
MAX [%]	40	50	30	40
SD	6,15	10,56	6,69	8,51
CV	27,78	39,42	36,15	39,60

En esta tabla se analizan los ahorros que habría para interrupciones de una y de cuatro horas de duración, según lo reportado por los encuestados, tanto del sector Industrial como del sector Comercial. Los valores medios obtenidos para el sector Industrial, son sensiblemente superiores a los del sector Comercial. Los porcentajes

obtenidos, dan idea de que el aviso anticipado de ocurrencia de una interrupción, puede ser una variable de interés al momento de reducir el costo de falla, sin tener que recurrir siempre a soluciones onerosas. En esta tabla también se muestran los valores extremos, MIN y MAX, para cada sector estudiado.

3.6.8 Complementos del costo de la interrupción.

A los fines de comprender mejor el costo de la interrupción para el cliente individual, se realizaron una serie de preguntas dirigidas a conocer la empresa y saber cómo impacta la interrupción en las operaciones comerciales e industriales. A continuación se describen los principales datos obtenidos de los encuestados.

a) Número de empleados

Uno de los primeros datos para identificar el tamaño del negocio o empresa es la cantidad de empleados que utiliza, como ya fue mencionado, se caracterizó como empresas pequeñas, aquellas que contaban hasta 19 empleados, y medianas de más de 20 empleados. En la Tabla III-6, se muestra el detalle del número de empleados en la muestra manejada en este trabajo, observándose que la mayor parte de las empresas encuestadas poseen menos de 20 empleados, representando el 71% del total, tal como se puede ver en la Figura 3-8, representando un total de 62 empresas (Pequeñas). En este gráfico también se puede observar que solo el 2,3% supera los 100 empleados. Entre los encuestados no se encontraron empresas con menos de cinco, ni tampoco con más de doscientos empleados.

Tabla III-6. Número de empleados de las empresas encuestadas

N° de Empleados	Comercial	Industrial	Cantidad Empresas
4 ó menos	0	0	0
5 a 9	13	1	14
10 a 19	20	28	48
20 a 49	6	9	15
50 a 99	3	5	8
100 a 199	0	2	2
200 ó más	0	0	0
TOTAL	42	45	87

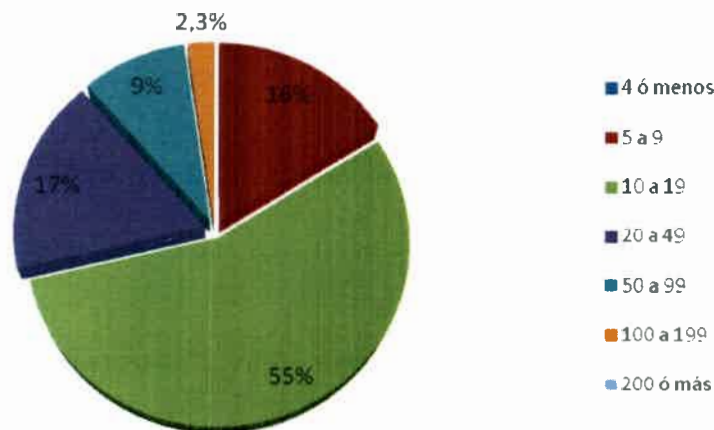


Figura 3-14. Distribución del número de empleados en las empresas encuestadas

b) Frecuencia y duración de la interrupción

Un valor medio de 12,95 interrupciones para un año típico fue reportado por los encuestados. De la misma manera que ocurrió con el costo de la interrupción, existe una amplia variación alrededor del valor medio. En la Figura 3-15, se muestran estas variaciones, donde se observa que el mayor porcentaje 47%, dice haber experimentado entre 6 a 10 interrupciones en un año representativo, el 13% reportó haber sufrido más de 20 interrupciones y en el otro extremo el 12% manifestó haber experimentado entre 1 a 5 interrupciones en un año típico. Ninguna respuesta indico no haber experimentado interrupciones.

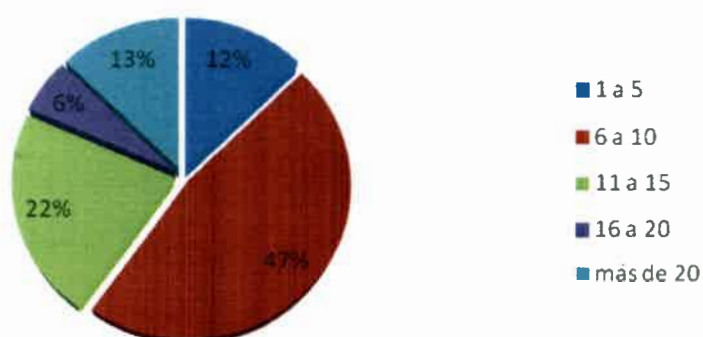


Figura 3-15. Porcentaje de clientes en función del número de interrupciones en un año típico (Valor medio 12,95)

Los resultados obtenidos de las encuestas también han mostrado que el mayor porcentaje experimentado, en cuanto a la duración de las interrupciones, lo representa el rango que va de los tres minutos a una hora con un 41%, e interrupciones de más de una hora de duración con aproximadamente el 30%, tal lo muestra la Figura 3-16. Un porcentaje poco menor al 30% informó haber experimentado interrupciones menores a los tres minutos. Esto último representa un punto importante, porque duraciones inferiores a los tres minutos no se cuentan estadísticamente como interrupciones, ni se penalizan en nuestro país (Argentina), de acuerdo a la ley de energía eléctrica, legislaciones complementarias y normas de los entes reguladores [8].

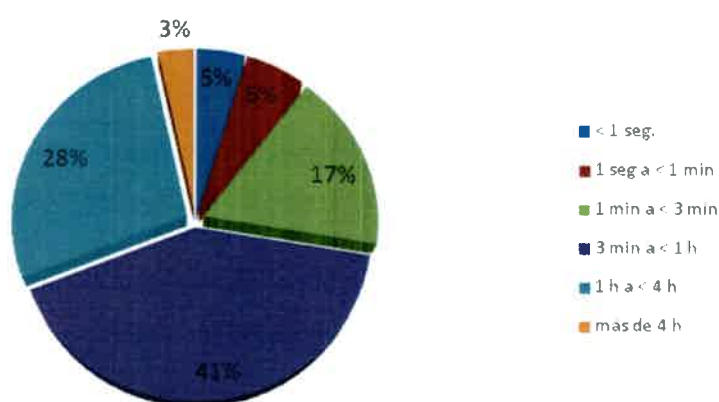


Figura 3-16. Duraciones medias en un año típico.

c) Impactos en la Actividad/Producción

La primera, segunda y tercera pregunta, para cada escenario de interrupción, se formuló con la intención de determinar cómo impacta cada interrupción en la producción o actividad del cliente. Para evaluar cuán perjudicial era la interrupción para el negocio/empresa se le planteó al encuestado una escala de niveles que iba del uno al siete, correspondiéndole uno a “Para nada perjudicial” y el nivel siete a “Sumamente perjudicial”. El análisis se realizó para los dos sectores (Industrial y Comercial), por separado.

La Figura 3-17, muestra los resultados para clientes del sector Industrial, en porcentaje del total de las respuestas para cada nivel, de acuerdo a la duración de la interrupción. Se puede observar en este gráfico que el 53% de los encuestados manifestó que la interrupción de un segundo de duración no le era perjudicial, mientras

que el 32% mostró que una interrupción de un segundo le ocasionaba algún grado de perjuicio (entre 2 y 4), y el 15% restante respondieron tener niveles de perjuicio importantes (entre 5 y 7), para este mismo evento. Para una duración de tres minutos, alrededor del 69% reporto niveles bajos de perjuicio, de los cuales sólo un 11% manifestó que la interrupción no le era para nada perjudicial, y para este mismo evento, alrededor de un 18% consideró tener niveles de perjuicio importantes (entre 5 y 7). Cerca del 67% de los encuestados dijeron tener niveles altos de perjuicio (entre cinco y siete) para interrupciones de una hora de duración, de los cuales un 35% manifestó que una interrupción de una hora le era sumamente perjudicial, en este caso ningún cliente respondió que no tenía ningún tipo de perjuicio, alcanzando a un 18% de ellos, niveles bajos de perjuicio (entre 2 y 3). Para el 75% de la muestra, su respuesta fue de sumamente perjudicial para sus actividades, sufrir una interrupción de cuatro horas de duración, concentrándose el resto de las respuestas en niveles altos de perjuicio (no se encontraron respuestas en los niveles más bajos, entre 1 y 4).

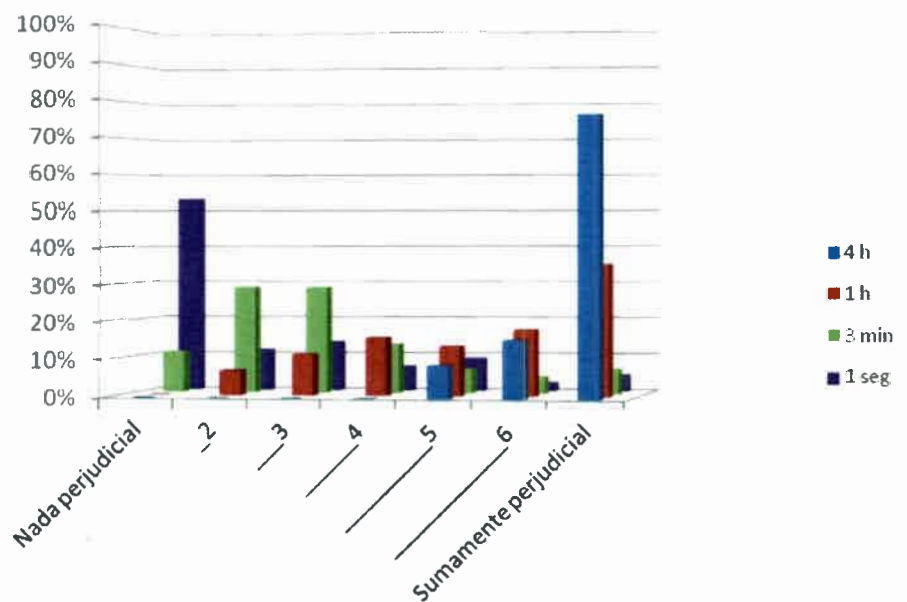


Figura 3-17. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Industriales

La Figura 3-18, muestra los resultados para clientes del sector Comercial, en porcentaje del total de las respuestas para cada nivel, de acuerdo a la duración de la interrupción. Observándose en este gráfico que el 86% de los encuestados de este sector, manifestó que la interrupción de un segundo de duración no le era perjudicial y

un 14% respondieron tener algún nivel de perjuicio para este mismo evento, y no se encontró ninguna respuesta para niveles de perjuicio alto.

Para una duración de tres minutos, alrededor del 89% reporto niveles bajos de perjuicio, de los cuales un 50% manifestó que la interrupción no le era para nada perjudicial. Aproximadamente el 90% de los encuestados de este sector dijeron tener niveles altos de perjuicio (entre 5 y 7) para interrupciones de una hora de duración, de los cuales un 40% manifestó que una interrupción de una hora le era sumamente perjudicial, en este caso ningún cliente respondió que no tenía ningún tipo de perjuicio, tampoco hubo respuestas para el nivel de perjuicio más bajo. Para el 90% de la muestra de este sector, su respuesta fue de sumamente perjudicial para sus actividades, sufrir una interrupción de cuatro horas de duración, concentrándose el resto de las respuestas en niveles altos de perjuicio (tampoco se encontraron respuestas en los niveles más bajos, entre 1 y 4).

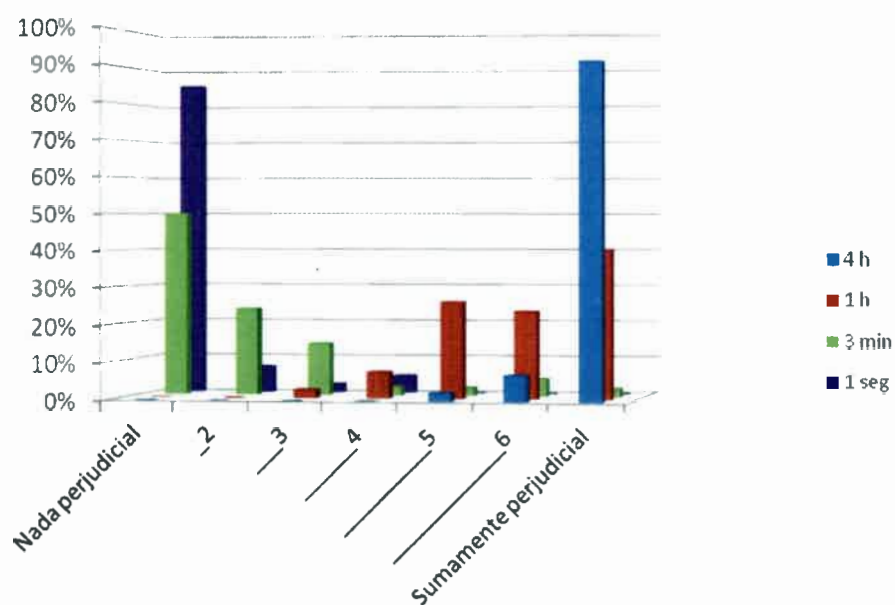


Figura 3-18. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Comerciales

Como era de esperar, si comparamos las Figuras 3-17 y 3-18, se puede observar que los clientes Industriales muestran un mayor porcentaje de perjuicio para las interrupciones de corta duración (un segundo y tres minutos), que los clientes del sector Comercial. esto tiene estrecha relación con la automatización de procesos del sector Industrial. Si analizamos el otro extremo, para interrupciones de larga duración (una hora y cuatro horas), ocurre la inversa, el sector Comercial mostró porcentajes mayores

para los niveles más altos de perjuicio, esto tiene que ver con que las ventas que no se producen durante la interrupción, son más difíciles de recuperar.

Un punto importante para determinar el impacto de la interrupción al cliente, es conocer en cuánto se paralizan sus actividades una vez acontecida la interrupción. La Figura 3-19, muestra los resultados de cuánto pierden de actividad o se reduce la producción de los clientes Industriales como consecuencia de la interrupción. Se observa en esta figura, que el 58% de las respuestas fueron que la actividad continuaba en forma normal ante una interrupción de un segundo de duración, el 24% respondió lo mismo para una duración de tres minutos, sólo el 4% manifestó que sus actividades continuaban normalmente ante una interrupción de una hora y no se encontraron respuestas para las tres primeras escalas, para una interrupción de cuatro horas de duración. Evidentemente la mayor caída de las actividades o reducción de la producción acontecen para duraciones más largas de la interrupción, mostrándose que una declinación del 76-99% la reportaron el 27% y el 36% de los encuestados del sector Industrial, para duraciones de una y cuatro horas respectivamente.

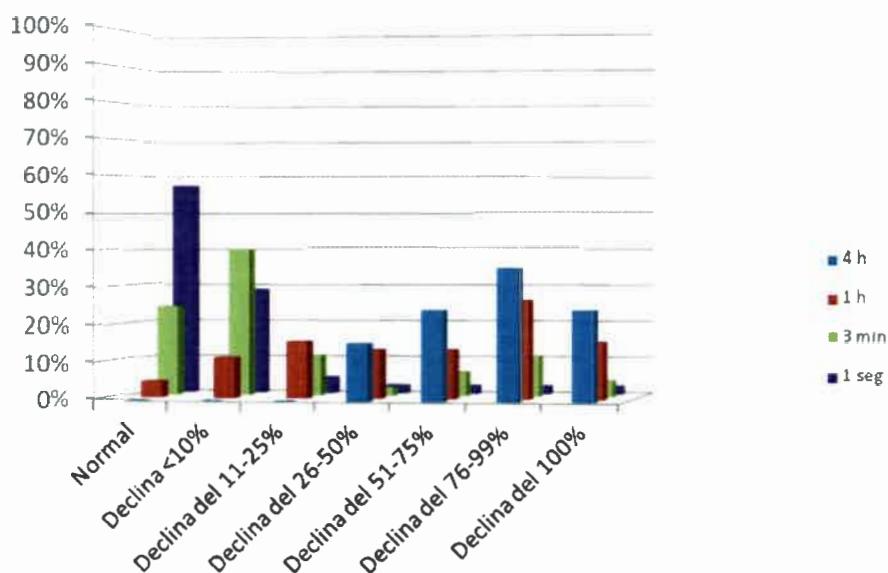


Figura 3-19. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción para clientes Industriales

En cuanto a los clientes del sector Comercial, los valores máximos están bien marcados en los extremos. La figura 3-20 muestra que, según las respuestas obtenidas, el 90% manifiesta que sus actividades se desarrollan normalmente ante una interrupción de 1 seg. de duración, y el 74% opina lo mismo para cortes de 3 min. de duración.

Mientras que el 43% y el 57% de los encuestados del sector Comercial, reportaron que sus actividades declinan entre el 76% y el 99%, para duraciones de una y cuatro horas respectivamente, de acuerdo a lo que se observa en la misma figura.

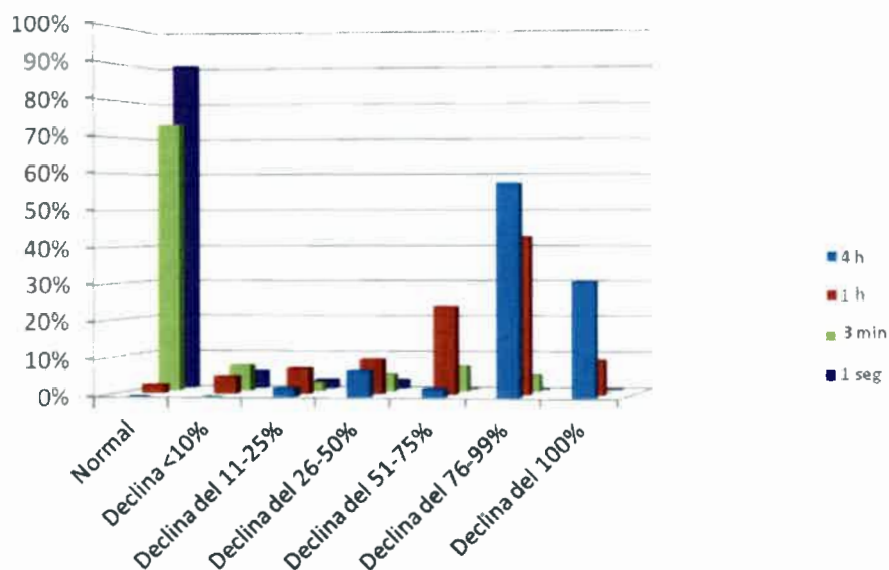


Figura 3-20. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción para clientes Comerciales

Una vez superada la interrupción y restablecido el servicio, hay actividades o procesos que necesitan un tiempo de reinicio, para medir este tiempo se consultó en las encuestas sobre cuánto tiempo total se pararían o reducirían las actividades como consecuencia de una interrupción particular. Haciendo la diferencia con la duración de la interrupción se obtuvo el tiempo para retornar a la normalidad las actividades después de sufrida la interrupción.

En la Tabla III-7, se representan los tiempos medios de reinicio para cada tipo de interrupción, así también se muestran los valores mínimos y máximos registrados.

Tabla III-7. Tiempo medio de reinicio

Duración de la interrupción	1 seg	3 min	1 hora	4 horas
Tiempo medio de reinicio [min]	4,00	8,18	18,44	28,45
MIN [min]	0,00	0,00	0,00	0,00
MAX [min]	45,00	45,00	120,00	240,00

d) Satisfacción del cliente

Con fines de determinar el nivel de satisfacción de los clientes con la compañía de servicio eléctrico, se indagó a los encuestados sobre cuán satisfecho se mostraba en general con la confiabilidad del servicio eléctrico de acuerdo a su experiencia y con el tipo de información que dicha compañía le brindaba acerca de una interrupción. Los resultados se muestran en las Figuras 3-21 y 3-22, en niveles que van de Muy insatisfecho a Muy satisfecho.

En la Figura 3-21 se pueden observar los niveles de satisfacción de los clientes del sector Industrial. De acuerdo a lo mostrado en éste gráfico, el 24% manifestó indiferencia, el 29% mostró algún grado de satisfacción y el 47% restante reportó algún nivel de insatisfacción, mostrando el 4% estar muy insatisfecho.

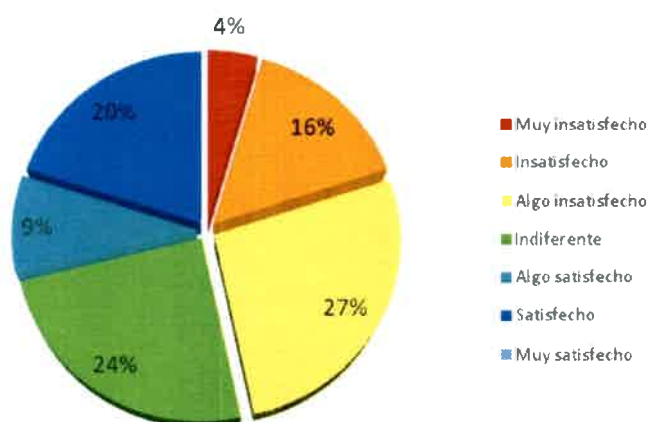


Figura 3-21. Nivel de satisfacción de los clientes Industriales con la compañía eléctrica

Por otro lado, de acuerdo a lo que se puede observar en la Figura 3-22, los clientes del sector Comercial mostraron un mayor grado de satisfacción, representado por el 43% del total, mientras que el 26% manifestó algún nivel de insatisfacción, ninguna respuesta marcó el nivel muy insatisfecho, y en este caso el 31% restante se mostró indiferente.

Ninguno de todos los encuestados, tanto para el sector Industrial como para el Comercial, manifestó un grado de satisfacción total con la compañía eléctrica, ya que no hubo ninguna respuesta en el nivel de muy satisfecho.

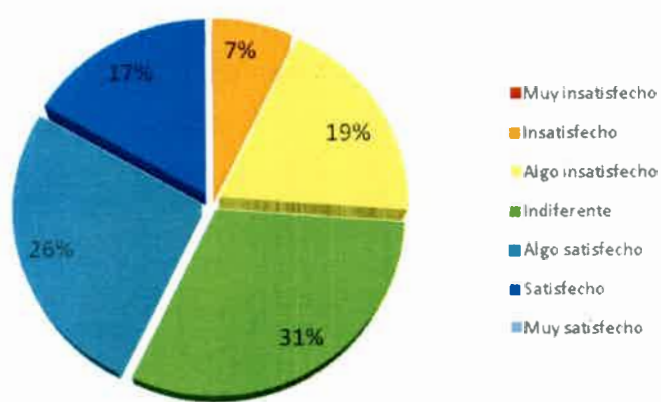


Figura 3-22. Nivel de satisfacción de los clientes Comerciales con la compañía eléctrica .

IV. ESTIMACION DEL COSTO DE LA INTERRUPCION

4.1 Análisis de un Modelo

El objetivo de la tarea de modelado es identificar los modelos que permiten la predicción razonablemente correcta, de los costos de la interrupción para los clientes que no se examinan directamente, obteniéndola desde la información que está disponible, de una muestra de clientes representativos de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

De acuerdo a lo presentado en la sección anterior, los resultados del valor medio de los costos de la interrupción están dados en función de los atributos de la interrupción, de la región, y de los tipos de clientes que contestaron a determinados escenarios propuestos. Se puede observar que, la combinación de clientes y de características de la interrupción puede variar substancialmente dependiendo de las variables que son examinadas. Para controlar adecuadamente la diversidad de influencias, se debe desarrollar un análisis multivariante del perjuicio del cliente. De este modo, la información sobre las situaciones propuestas y las características de las empresas son utilizadas para estimar una función general del perjuicio del cliente, que exprese los costos de la interrupción de los clientes, tanto comerciales como industriales, en función de la duración de la interrupción, tiempo de inicio, estación del año, y varias características propias del cliente tales como consumo anual, número de empleados y otras variables.

El marco conceptual ideal, dentro del cual analizar los datos detallados antes es la regresión estadística.

El estudio y la estimación de los costos de interrupción ha sido un campo atractivo y notorio de varias publicaciones en los años recientes. Sin embargo, aunque hay muchos estudios e investigaciones sobre análisis del costo de la fiabilidad, el problema es que, no hay ningún método rígido y exacto que estime perfectamente verdaderos resultados económicos de un corte de energía eléctrica.

4.2 Metodología propuesta

Para encontrar una solución y desarrollar una metodología para la estimación de los costos de interrupción, se debe responder a estas primeras preguntas;

"¿Cuáles son las consecuencias de un corte de energía eléctrica?"

"¿Cuál es el valor de la fiabilidad de la energía?"

En términos de punto de vista del cliente, la fiabilidad se entiende como la continuidad del servicio. A pesar de que hay ciertas normas para las compañías de suministro de energía eléctrica, la mayoría de los clientes sólo están interesados en la disponibilidad de la fuente. Un número relativamente menor de los clientes busca requisitos de calidad más estrictos, como los límites sobre huecos de tensión y variaciones de frecuencia. Así el valor de la continuidad del suministro, y por lo tanto el costo de una interrupción de energía, cambia de cliente a cliente en relación con las necesidades de ese cliente en particular.

Los costos de interrupción de los clientes aumentan casi linealmente durante las primeras ocho horas y luego disminuyen para los cortes de mayor duración, de acuerdo a un estudio llevado a cabo por el Departamento de Energía de EE.UU., tomado como un primer paso para abordar la falta de datos consistentes y necesarios para apoyar una mejor estimación del valor económico de la confiabilidad eléctrica [37]. Para ello, veinticuatro estudios, realizados por ocho compañías de electricidad entre 1989 y 2002, que representan grupos de clientes residenciales y comerciales/industriales (pequeños, medianos y grandes), fueron seleccionados para el análisis. En estos modelos, los datos obtenidos en las distintas encuestas, son incorporados a una base de metadatos en los que cada escenario de interrupción (por ejemplo, la pérdida del servicio eléctrico durante una hora en una tarde de verano de lunes a viernes) se trata como un caso independiente o registro, tanto para permitir comparaciones entre las características de interrupción, como para aumentar el poder estadístico de los resultados del análisis. Estos modelos no se pueden utilizar para estimar los daños para las compañías individuales.

Se adoptó un modelo matemático lineal para la evaluación del CIC (Costo de la Interrupción para el Cliente), puesto que el propósito de esta tesis es encontrar un modelo sencillo para el cálculo de los costos de interrupción de la alimentación en la región de Argentina. Considerando que en los sistemas de distribución de nuestro sector en estudio, la mayor parte de los cortes de energía tienen menos de ocho horas de duración (salvo casos excepcionales), y disponiendo de datos de costos para duraciones de la interrupción de la energía menores a 8 horas, por lo que se utilizaron para el análisis, sólo los datos obtenidos para duraciones de 3 minutos, una y cuatro horas.

En el estudio realizado de clientes comerciales e industriales, un número significativo de encuestados señaló los costos de las interrupciones igual a “0” (cero), para el escenario cuya duración era de un segundo. Consiguientemente, para evitar que las técnicas estándar de la regresión produzcan estimaciones parciales del parámetro, se dejaron de lado los datos obtenidos del costo para interrupciones de un segundo de duración.

4.3 Diseño del modelo

En el estudio se utilizaron como muestra los datos obtenidos y analizados en la sección 3. De la muestra final seleccionada con un total de 87 clientes, 45 usuarios industriales y 42 comerciales.

En lugar de utilizar los valores de promedio general, cada sector, industrial y comercial, debió ser analizado por separado [24]. Además, se dividió cada sector en sub-categorías, resultando:

i) Sub-categorías sector industrial: Alimentación, Metal, Cereal, Frigorífica, Construcción y Otras Industrias.

ii) Sub-categorías sector comercial: Alimentación, Supermercados, Combustibles, Artículos del Hogar, Construcción, Vestimenta y Otros Comercios.

El principal problema en las encuestas a los clientes, como se expresó en el punto 2.1.2 inciso b), es la subjetividad. Naturalmente, la gente y las empresas tienen la tendencia de exagerar sus pérdidas en caso de un incidente de interrupción. El análisis del sector comercial y la evaluación de los costos de interrupción de la alimentación son más difíciles que en el sector industrial. Esto se debe, a que en el sector comercial no se puede hablar de una producción continua, y por lo tanto de un valor de pérdidas proporcional a la producción. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, hay muchos factores que afectan los costos de interrupción de los clientes. La duración de la interrupción, el horario de ocurrencia, el carácter de interrupción (si es inesperada o prevista), el tamaño de la empresa, la temporada (verano o invierno), y finalmente el tipo de cliente (industrial, comercial, de servicios, residencial o agrícola) son los de mayor importancia entre todos los factores.

De acuerdo al análisis descriptivo realizado en el capítulo anterior, se puede observar, que las variables que influyen en mayor grado, la magnitud de costos de la

interrupción del cliente, aparte de la duración de la interrupción, son: el tamaño y el consumo de energía de la empresa.

Por todo esto, la media aritmética, no es el valor más representativo de los costos de interrupción. A los fines de obtener resultados más razonables y más precisos, algunos factores de peso se incluyeron, para tener en cuenta estas variables. La lógica de la búsqueda de factores de ponderación para el costo de las interrupciones proviene de los datos obtenidos en la encuesta.

Después de llegar a esta conclusión, para encontrar el "Costo Estimado", los datos del costo de la interrupción en [\$], fueron ponderados por los coeficientes de cada tipo de industria/comercio y posteriormente normalizados en [\$/kWh]. Finalmente, con la ayuda del análisis de regresión lineal, se encontraron las fórmulas lineales de cada serie de datos.

Los pasos seguidos son:

1) Con la ayuda de la encuesta, cada encuestado estimó su importe o costo del corte de energía en pesos, para diferentes períodos de tiempo (por 3 min, 1h y 4h). Entonces la CDF (Función de Daño al Cliente) se define como:

Costo Reportado por "x" hora = (estimación de costos para "x" período)

Si dividimos el resultado obtenido por la energía anual consumida por cada cliente obtenemos la CDF expresada en [\$/kWh], quedando:

Costo Reportado = (Costo Reportado por "x" hora) / (consumo anual de energía) en [\$/kWh]

Este resultado tiene una tendencia lineal y se puede aproximar bastante bien por una función del tipo:

$$y = a + Bx$$

2) Por otro lado el costo estimado es:

Costo Estimado por "x" hora = Costo Ponderado por "x" hora

Costo Estimado por "x" hora = [estimación de costos para "x" período] × [W_i]

Siendo [W_i], la matriz de peso (ponderación).

Si dividimos el resultado obtenido por la energía anual consumida por cada cliente obtenemos una nueva CDF expresada en [\$/kWh], quedando:

Costo Estimado = (Costo Ponderado por "x" hora) / (consumo anual de energía) en [\$/kWh]

Haciendo un análisis con un modelo de regresión lineal simple, se pueden expresar las variables de la forma:

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon$$

Donde:

x : Variable independiente (nivel de entrada)

Y : Variable dependiente (respuesta)

ε : Error aleatorio (con media 0)

α, β : Coeficientes de regresión

Esto implica encontrar los valores de α y β , tal que el valor de la variable "Y" (costo de la interrupción), pueda estimarse a partir de la realización de la variable independiente "x" (duración de la interrupción), a partir de una función lineal.

Con la ayuda de la herramienta de Análisis de Datos de Excel se obtuvo una compilación del resultado de la regresión para cada sub-categoría, además en una serie de tablas se muestran coeficientes estadísticos para describir cuán bien se ajusta cada conjunto de observaciones, los cuales se enuncian a continuación.

ADECUACIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL

Los principales supuestos que se hacen en el análisis de regresión lineal son los siguientes:

1. La relación entre las variables Y y x es lineal, o al menos bien aproximada por una línea recta.
2. El término de error ε tiene media cero.
3. El término de error ε tiene varianza constante σ^2 .
4. Los errores no están correlacionados.
5. Los errores están normalmente distribuidos.

Los supuestos 4 y 5 implican que los errores son variables aleatorias independientes y el supuesto 5 se requiere para pruebas de hipótesis y estimación de parámetros.

Análisis de Residuales:

Como los residuos son las diferencias entre las observaciones reales y las predichas o estimadas, son una medida de la variabilidad no explicada por el modelo de regresión, e es el valor observado de los errores. Así, cualquier desviación anormal de los supuestos acerca de los errores, será mostrada por los residuos. Su análisis es un método efectivo para descubrir varios tipos de deficiencias del modelo.

En nuestro caso, se decidió trabajar con *residuos estandarizados* e^* , que tienen media cero y varianza unitaria aproximada. Por otro lado son útiles para evaluar normalidad, es decir que habrá normalidad si el 68% de los mismos se encuentran entre -1 y $+1$ y el 95% entre -2 y $+2$, de otra forma habrá una violación de la normalidad. También su análisis, puede revelar *outliers* potenciales (observación extrema, donde el residuo es considerablemente grande, por decir con tres o cuatro desviaciones estándar de la media), si ocurren en los extremos, indican que la varianza no es constante o que no hay relación lineal entre variables.

En el Anexo D, se muestran los gráficos de residuos estandarizados con los datos de cada sub-categoría de cliente, y a partir de la recta de ajuste. En los casos que se observaron puntos extremos, se omitieron los puntos que indican Outliers y se comparó el nuevo modelo con el modelo anterior, y prácticamente no hubo efecto en la estimación de los coeficientes de la regresión. Por lo que se determinó, que no hay una razón de peso para eliminar dichos puntos.

Bondad del ajuste del modelo

Al ajustar un modelo de regresión a una nube de observaciones es importante disponer de alguna medida que permita medir la bondad del ajuste. Esto se consigue con los coeficientes que integran la tabla de estadísticas de la regresión.

Coefficiente de correlación: mide el grado de intensidad de la posible relación entre las variables. Este coeficiente se aplica cuando la relación que puede existir entre las variables es lineal (es decir, si representamos en un gráfico los pares de valores de las dos variables la nube de puntos se aproximaría a una recta). En todos los casos de análisis la correlación lineal es positiva (si sube el valor de una variable sube el de la otra). La correlación es tanto más fuerte cuanto más se aproxime a 1.

Coefficiente de determinación R^2 : mide la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo de regresión planteado, o la proporción del total que es debida a la regresión. Se espera que esta proporción sea alta y cerca del 100% (valor cercano a 1), y solo una pequeña parte sea debido al error

Coefficiente de determinación ajustado " R^2 ajustado": es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación por el tamaño de la muestra n , como el número de parámetros del modelo. R^2 ajustado siempre es menor que R^2 .

Teniendo en cuenta que tanto R^2 como R^2 ajustado son estadísticas de muestra, y que no debemos depender únicamente de sus valores para decidir si el modelo es útil

o no para predecir Y , se utilizó la prueba F para hacer inferencia sobre la idoneidad global del modelo de regresión

Análisis de varianza

Mediante este análisis, se trata de conocer cuanta de la variación en los datos ha sido explicada por la regresión, mostrándose los resultados en la tabla de análisis de varianza (ANOVA).

Las causas de variación en el Costo de la Interrupción al Cliente corresponden a:

- La variabilidad debida a la duración de la interrupción
- La variabilidad resultante del error experimental.

Por lo que, podemos decir que la variabilidad total, se descompone en la variabilidad atribuible a la asociación lineal entre x e Y , y la variación aleatoria. Deberá observarse, que la mayor parte de la variabilidad de Y se explica por la regresión más que por efecto aleatorio, para que el supuesto de regresión lineal sea razonable. El test del ANOVA, se fundamenta en el cálculo del estadístico F , que es la relación entre la suma de los cuadrados de la regresión y la de los residuos, el cual se contrasta con su valor crítico. El valor del estadístico F , debe ser significativo para que no sea debido solo al azar (F mayor que el F crítico).

Inferencia sobre los parámetros

Además de obtener estimados de los parámetros α y β , también se obtuvieron intervalos de confianza estimados para estos parámetros. Estos intervalos se quiere que sean: precisos y de alto grado de confianza. Lo anterior depende de la calidad del ajuste de la línea recta. En las tablas correspondientes se muestran los coeficientes de α (Intercepción), de β (Variable X_1) y los intervalos de confianza para una probabilidad del 95% (Inferior 95% y Superior 95%).

En los puntos siguientes, para todas las sub-categorías propuestas para los sectores industrial y comercial, se muestran los resultados del CIC, costo reportado y costo estimado, como así también las fórmulas lineales de cada serie de datos, que se han encontrado con la ayuda del análisis de regresión lineal.

En todas las figuras se muestran con puntos azules, los “valores medios” de los costos de la interrupción reportados en las encuestas, con una línea azul, la tendencia lineal de esos valores medios reportados, y con una línea roja los “valores estimados” del costo de la interrupción, obtenidos por la regresión lineal.

4.4 Estimación de los costos de interrupción para el sector industrial

4.4.1 Industria de la alimentación.

Tabla IV-1. Costos de la interrupción para la industria de la alimentación

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0292	0,1064	0,2089
Costo estimado [\$/kWh]	0,0277	0,0922	0,1839

Resumen de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,981806864
Coefficiente de determinación R ²	0,963944718
R ² ajustado	0,927889435
Error típico	0,021068596

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,011867368	0,011867368	26,73518708	0,121621273
Residuos	1	0,000443886	0,000443886		
Total	2	0,012311254			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	0,038381243	0,017202015	2,231206226	0,268237257	0,0180191079	0,058743377
Variable X 1	0,000622693	0,000120429	5,170607999	0,121621273	0,000407507	0,000837879

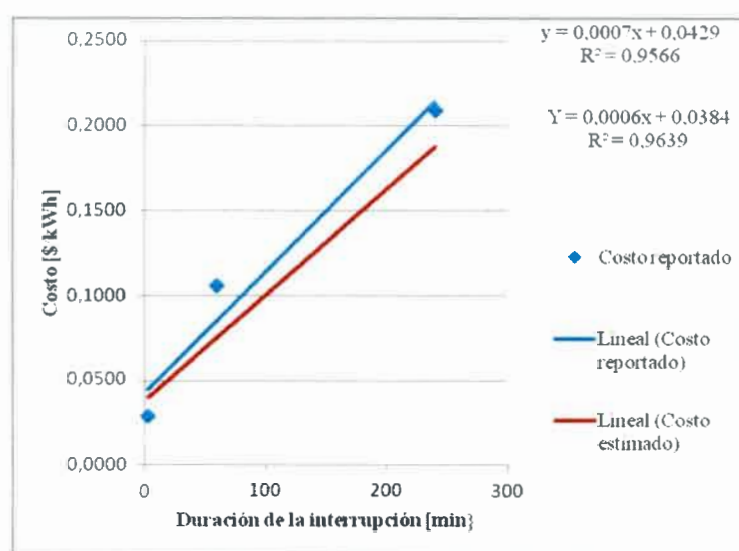


Figura 4-1. Costos de la interrupción para la industria de la alimentación en pesos por kWh de energía anual.

4.4.2 Industria metalúrgica.

Tabla IV-2. Costos de la interrupción para la industria metalúrgica.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0528	0,2089	0,5083
Costo estimado [\$/kWh]	0,0562	0,2255	0,5330

Resumen de la regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99214938
Coefficiente de determinación R ²	0,9843604
R ² ajustado	0,9687208
Error típico	0,0427497

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,11502561	0,11502561	62,9402507	0,07982364
Residuos	1	0,00182754	0,00182754		
Total	2	0,11685315			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,07576008	0,03490413	2,17051926	0,27484926
Variable X 1	0,00193863	0,00024436	7,93348919	0,07982364

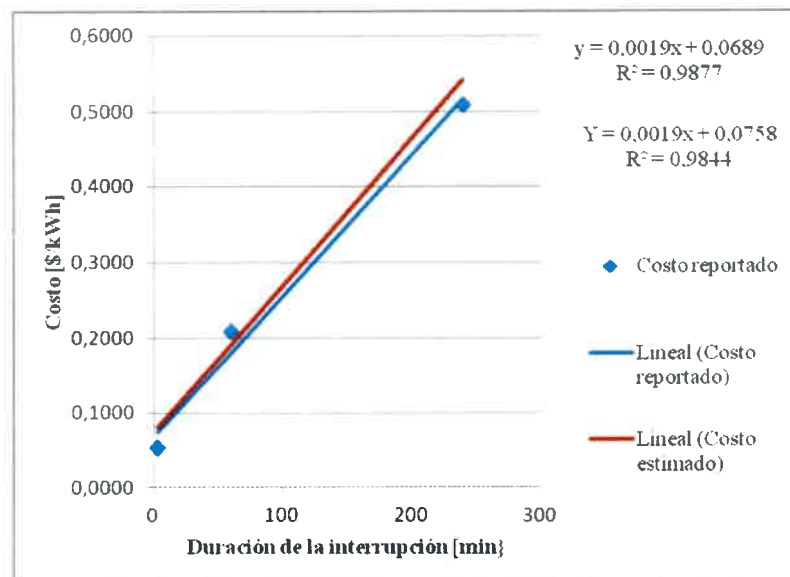


Figura 4-2. Costos de la interrupción para la industria metalúrgica en pesos por kWh de energía anual.

4.4.3 Industria cerealera.

Tabla IV-3. Costos de la interrupción para la industria cerealera.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0069	0,0186	0,0398
Costo estimado [\$/kWh]	0,0070	0,0167	0,0381

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,997007627
Coefficiente de determinación R ²	0,994024208
R ² ajustado	0,988048417
Error típico	0,00173871

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00050287	0,00050287	166,3418432	0,049261921
Residuos	1	3,02311E-06	3,02311E-06		
Total	2	0,000505893			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,00764049	0,00141962	5,38208237	0,11695139
Variable X 1	0,00012818	9,9386E-06	12,897358	0,04926192

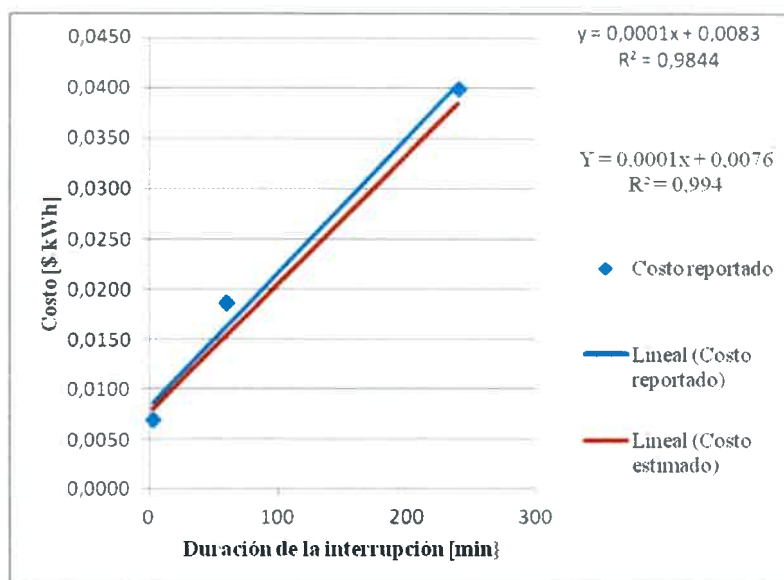


Figura 4-3. Costos de la interrupción para la industria cerealera en pesos por kWh de energía anual.

4.4.4 Industria frigorífica.

Tabla IV-4. Costos de la interrupción para la industria frigorífica.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0045	0,0130	0,0339
Costo estimado [\$/kWh]	0,0045	0,0114	0,0285

Resumen de la regresión:

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99866916
Coefficiente de determinación R ²	0,9973401
R ² ajustado	0,9946802
Error típico	0,00090242

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,00030535	0,00030535	374,953823	0,03284775
Residuos	1	8,1436E-07	8,1436E-07		
Total	2	0,00030616			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0,00472003	0,0007368	6,40609257	0,09858164
Variable X 1	9,9883E-05	5,1583E-06	19,3637244	0,03284775

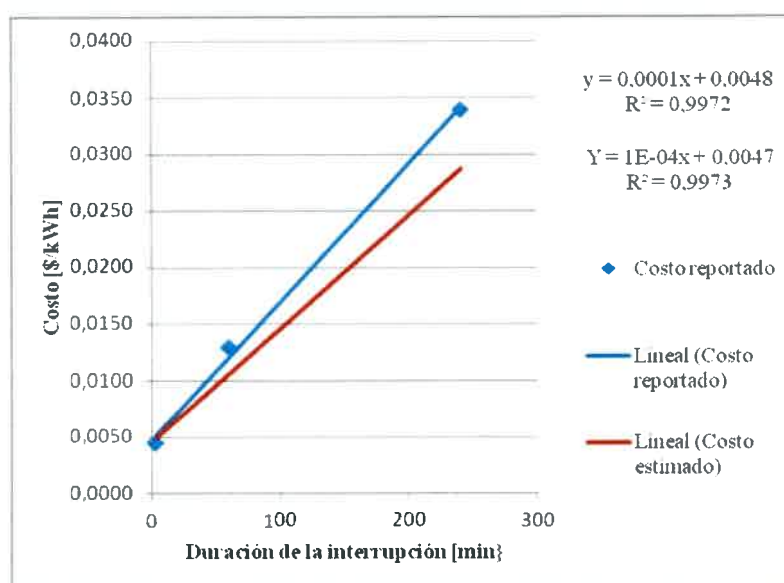


Figura 4-4. Costos de la interrupción para la industria frigorífica en pesos por kWh de energía anual.

4.4.5 Industria de la construcción.

Tabla IV-5. Costos de la interrupción para la industria de la construcción.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0534	0,2002	0,5187
Costo estimado [\$/kWh]	0,0416	0,1591	0,3977

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99527151
Coefficiente de determinación R ²	0,99056539
R ² ajustado	0,98113077
Error típico	0,02492406

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,06522236	0,06522236	104,992671	0,06193376
Residuos	1	0,00062121	0,00062121		
Total	2	0,06584357			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,05203772	0,02034991	2,55714746	0,23731686
Variable X 1	0,00145981	0,00014247	10,2465931	0,06193376

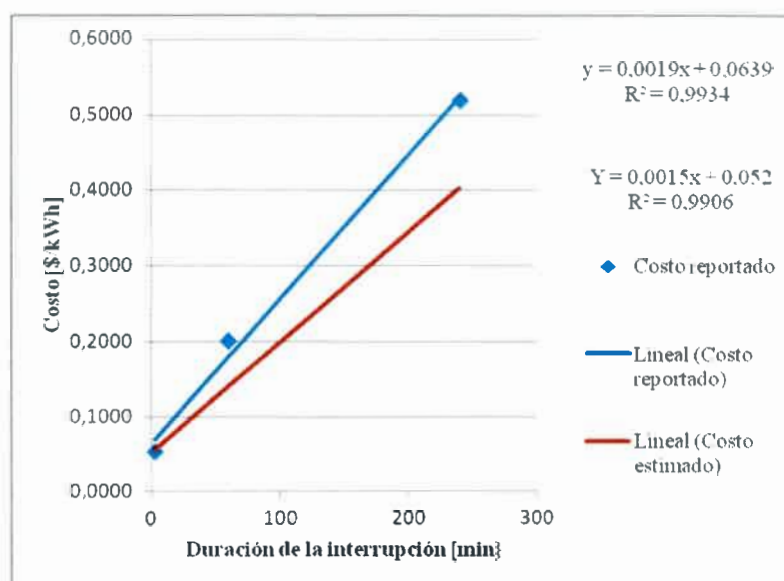


Figura 4-5. Costos de la interrupción para la industria de la construcción en pesos por kWh de energía anual.

4.4.6 Otras Industrias.

Tabla IV-6. Costos de la interrupción para otras industrias.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0089	0,0582	0,3740
Costo estimado [\$/kWh]	0,0086	0,0552	0,3527

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99424864
Coefficiente de determinación R ²	0,98853037
R ² ajustado	0,97706073
Error típico	0,028278

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,06891884	0,06891884	86,1867379	0,06831068
Residuos	1	0,00079965	0,00079965		
Total	2	0,06971849			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-0,01272427	0,02308833	-0,55111257	0,67933654
Variable X 1	0,0015006	0,00016164	9,28368127	0,06831068

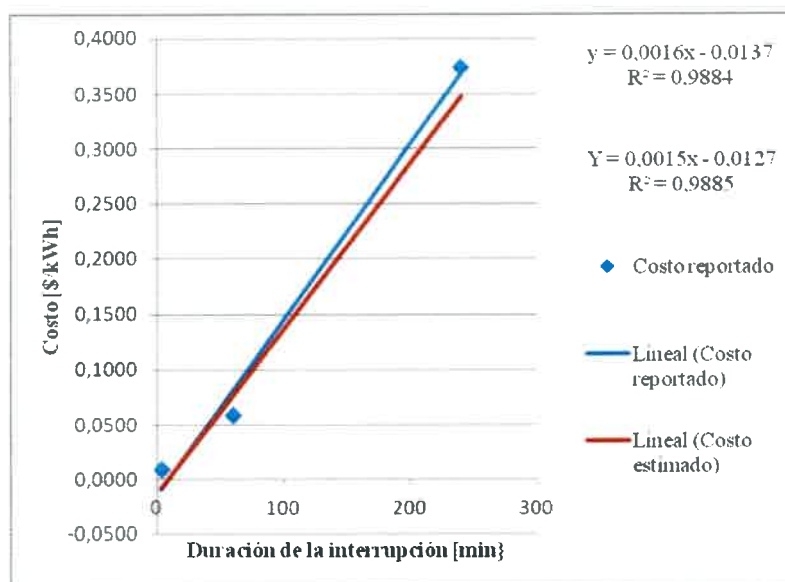


Figura 4-6. Costos de la interrupción para otras industrias en pesos por kWh de energía anual.

4.5 Ejemplo de estimación del costo de interrupción para el sector industrial

En un alimentador de la EPEC, en la zona “F”, se produce una interrupción de energía inesperada, que tiene una duración de una hora y media. Una planta de la industria frigorífica experimenta esta interrupción. La empresa distribuidora de la energía eléctrica de la región quiere hacer una estimación aproximada de este corte de forma rápida, sabiendo que el consumo anual de energía de esta empresa es de 2.489.990 kWh, Entonces, ¿cuál es el costo de interrupción al cliente de este servicio?

Los datos completos que se necesitan para estimar el costo interrupción son:

- ✓ Tipo de industria: Industria frigorífica
- ✓ Duración de la interrupción: 90 [min]
- ✓ Consumo anual de energía: 2.489.990 [kWh]

Ahora, a partir de los resultados del análisis de la industria frigorífica, el CIC será:

$$\text{Costo estimado: } Y = 0.0001x + 0,0047$$

Donde la función Y es el costo del corte de energía, y x es el tiempo de corte.

Por lo tanto:

$$\text{CIC} = 0,0001 \times 90 + 0,0047 = 0,0137 \text{ [\$ / kWh]}$$

Convertido a [\$], es:

$$\text{CIC} = 0,0137 \text{ [\$ / kWh]} \times 2.489.990 \text{ [kWh]} = \$ 34.113$$

Dado que la función del CIC es conocida, y que los datos anuales de consumo de energía son de fácil acceso, la empresa distribuidora de energía, alcanzará una idea acerca de la pérdida de ese cliente, muy rápidamente.

4.6 Estimación de los costos de interrupción para el sector comercial

4.6.1 Venta de alimentos.

Tabla IV-7. Costos de la interrupción para sector comercio-venta de alimentos.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0255	0,0666	0,2725
Costo estimado [\$/kWh]	0,0344	0,0669	0,2363

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99663033
Coefficiente de determinación R ²	0,993272
R ² ajustado	0,98654401
Error típico	0,01257488
Observaciones	3

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,02334481	0,02334481	147,632685	0,05227706
Residuos	1	0,00015813	0,00015813		
Total	2	0,02350294			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0,02435506	0,0102671	2,37214654	0,2539811
Variable X 1	0,00087336	7,1879E-05	12,1504191	0,05227706

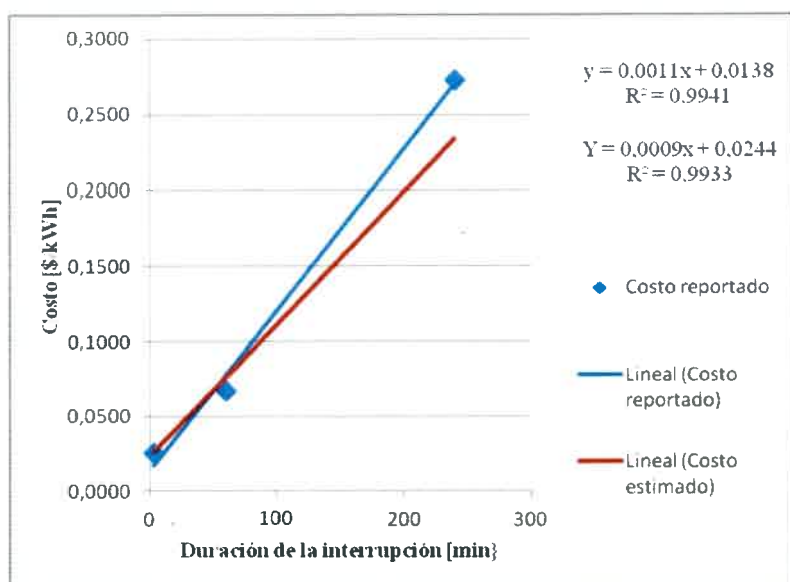


Figura 4-7. Costos de la interrupción para el sector comercio-venta de alimentos, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.2 Supermercados.

Tabla IV-8. Costos de la interrupción para sector comercio-supermercados.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0016	0,0087	0,0508
Costo estimado [\$/kWh]	0,0015	0,0082	0,0490

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99478944
Coefficiente de determinación R ²	0,98960603
R ² ajustado	0,97921207
Error típico	0,00370791

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,001309	0,001309	95,2096636	0,06501686
Residuos	1	1,3749E-05	1,3749E-05		
Total	2	0,00132275			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-0,00133018	0,00302742	-0,43937599	0,73644963
Variable X 1	0,00020681	2,1195E-05	9,75754393	0,06501686

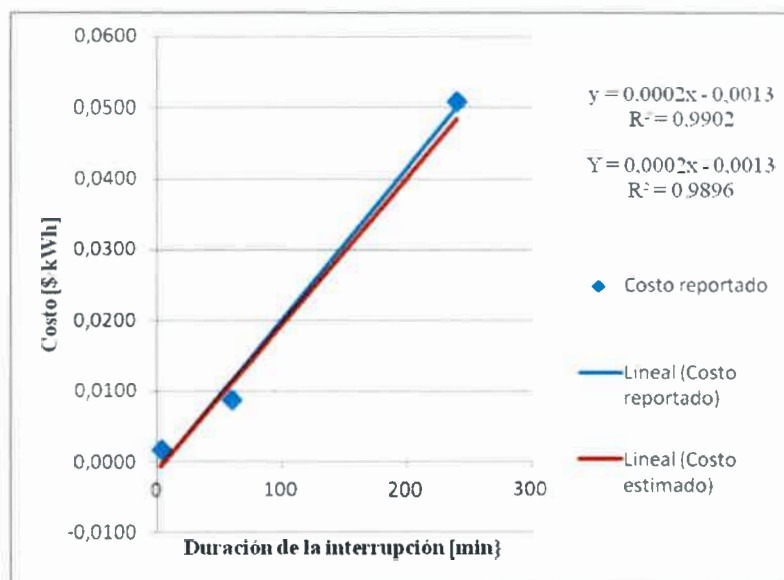


Figura 4-8. Costos de la interrupción para el sector comercio-supermercados, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.3 Combustibles.

Tabla IV-9. Costos de la interrupción para sector comercio-combustibles.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0024	0,0074	0,0311
Costo estimado [\$/kWh]	0,0025	0,0071	0,0302

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99701208
Coefficiente de determinación R ²	0,99403308
R ² ajustado	0,98806616
Error típico	0,00162467

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,00043973	0,00043973	166,590713	0,04922526
Residuos	1	2,6396E-06	2,6396E-06		
Total	2	0,00044237			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,00115898	0,00132651	0,87370995	0,54284405
Variable X 1	0,00011986	9,2867E-06	12,9070025	0,04922526

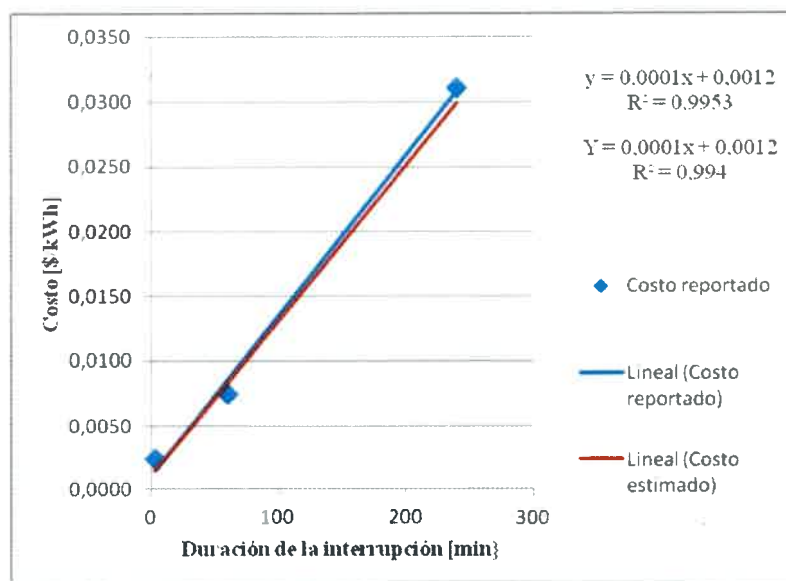


Figura 4-9. Costos de la interrupción para el sector comercio-combustibles, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.4 Artículos del hogar.

Tabla IV-10. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos del hogar.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0103	0,1199	0,6911
Costo estimado [\$/kWh]	0,0093	0,1212	0,7046

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99663062
Coefficiente de determinación R ²	0,99327259
R ² ajustado	0,98654517
Error típico	0,04330712

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,27691007	0,27691007	147,645509	0,0522748
Residuos	1	0,00187551	0,00187551		
Total	2	0,27878558			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-0,02544274	0,03535925	-0,71954986	0,60292336
Variable X 1	0,00300792	0,00024755	12,1509468	0,0522748

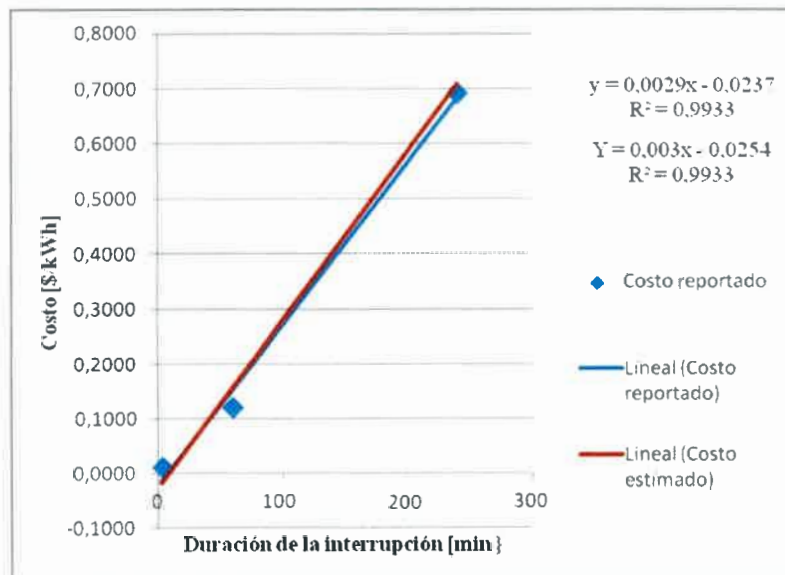


Figura 4-10. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos del hogar, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.5 Artículos de construcción.

Tabla IV-11. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos de construcción.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0276	0,2334	0,8244
Costo estimado [\$/kWh]	0,0308	0,2242	0,8083

Resumen de la regresión:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9999611
Coefficiente de determinación R ²	0,9999222
R ² ajustado	0,99984441
Error típico	0,00504931

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,32770024	0,32770024	12853,2173	0,00561517
Residuos	1	2,5496E-05	2,5496E-05		
Total	2	0,32772574			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0,02395617	0,00412265	5,81086995	0,108494
Variable X 1	0,00327216	2,8862E-05	113,37203	0,00561517

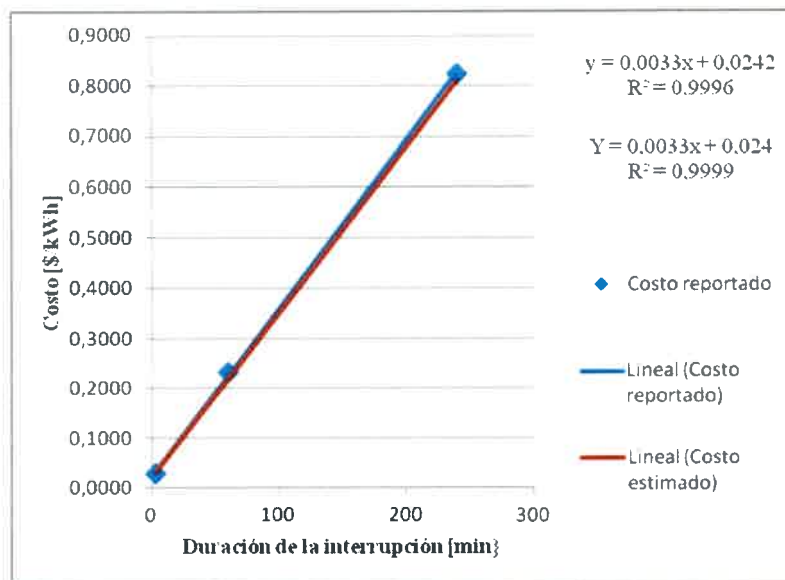


Figura 4-11. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos de construcción, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.6 Artículos de vestimenta.

Tabla IV-12. Costos de la interrupción para sector comercio-artículos de vestimenta.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0053	0,0661	0,2866
Costo estimado [\$/kWh]	0,0066	0,0607	0,2319

Resumen de la regresión:

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9999999
Coefficiente de determinación R ²	0,9999998
R ² ajustado	0,9999996
Error típico	7,4523E-05

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,02765862	0,02765862	4980272,28	0,00028527
Residuos	1	5,5536E-09	5,5536E-09		
Total	2	0,02765862			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0,00374156	6,0846E-05	61,4922384	0,01035194
Variable X 1	0,00095063	4,2598E-07	2231,65237	0,00028527

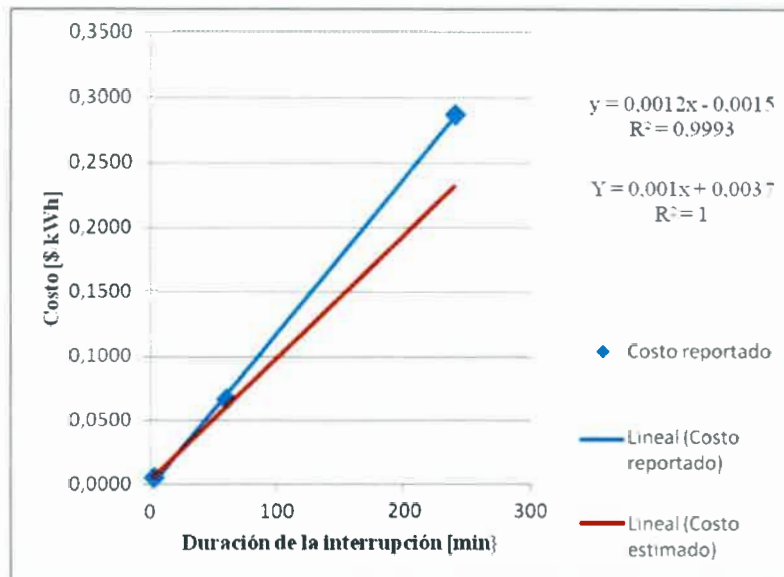


Figura 4-12. Costos de la interrupción para el sector comercio-artículos de vestimenta, en pesos por kWh de energía anual.

4.6.7 Otras ventas.

Tabla IV-13. Costos de la interrupción para sector comercio-otras ventas.

Duración de la interrupción [min]	3	60	240
Costo reportado [\$/kWh]	0,0506	0,2933	0,6753
Costo estimado [\$/kWh]	0,0403	0,2746	0,6516

Resumen de la regresión:

Estadísticas de la regresión	
Coficiente de correlación múltiple	0,98769153
Coficiente de determinación R ²	0,97553455
R ² ajustado	0,9510691
Error típico	0,06822018

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,18557315	0,18557315	39,8739665	0,09998704
Residuos	1	0,00465399	0,00465399		
Total	2	0,19022714			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	0,07347183	0,05570018	1,31905919	0,41295946
Variable X 1	0,00246238	0,00038995	6,31458363	0,09998704

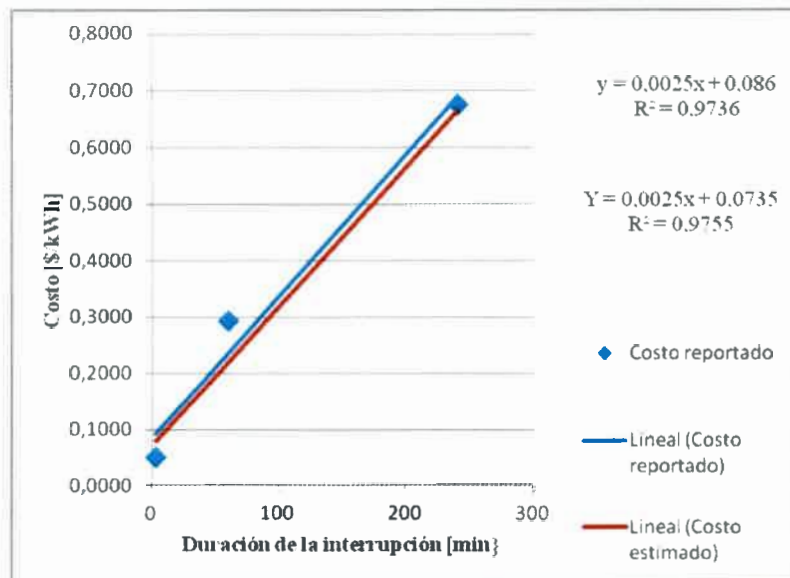


Figura 4-13. Costos de la interrupción para el sector comercio-otras ventas, en pesos por kWh de energía anual.

4.7 Ejemplo de estimación del costo de interrupción para el sector comercial

Un cliente del rubro venta de productos alimenticios, quiere estimar sus pérdidas ante la ocurrencia de un corte de energía inesperado, que tiene una duración de tres horas. Un análisis de la facturación del servicio brindado por la distribuidora (EPEC, en zona "F"), arroja un consumo anual de energía de esta empresa de 45.000 kWh

¿Cuál es el costo de interrupción para ese cliente?

Los datos completos que se necesitan para estimar el costo interrupción son:

- ✓ Tipo de comercio: venta de productos alimenticios
- ✓ Duración de la interrupción: 180 [min]
- ✓ Consumo anual de energía: 45.000 [kWh]

Ahora, a partir de los resultados del análisis de la industria frigorífica, el CIC será:

Costo estimado: $Y = 0.0009 x + 0,0244$

Donde la función Y es el costo del corte de energía, y x es el tiempo de corte.

Por lo tanto:

$$\text{CIC} = 0.0009 \times 180 + 0,0244 = 0,1864 \text{ [\$ / kWh]}$$

Convertido a [\$], es:

$$\text{CIC} = 0.1864 \text{ [\$ / kWh]} \times 45.000 \text{ [kWh]} = \$ 8.388$$

Dado que la función del CIC es conocida, y que los datos anuales de consumo de energía son de fácil acceso, el cliente puede tener una estimación rápida, de sus pérdidas ante un corte de energía eléctrica.

4.8 Comentarios

Cada sector, y en particular cada sub-categoría, como se esperaba, tienen sus propias y únicas características en caso de un evento de interrupción. Esto produce la necesidad de analizar y por lo tanto realizar la estimación de los costos de parada de estos sectores por separado. Además de este hecho, los parámetros que afectan a los costos de las interrupciones de los distintos tipos de clientes, y los efectos de estos parámetros sobre los costos, condiciones, cambian considerablemente. Como resultado, la estimación y el cálculo de dichos costos llegan a ser una tarea bastante difícil para los profesionales. Para facilitar este proceso, una metodología, que se basa en la encuesta a

los clientes, se ha desarrollado para convertir los cálculos de estimación de la interrupción con respecto a dichos parámetros.

Los resultados de este estudio son bastante sencillos y fáciles de entender. Cuando los profesionales que trabajan para una distribuidora de energía eléctrica quieren saber el costo de un corte de energía por un período de tiempo determinado, pueden hacer uso de las fórmulas presentadas en este estudio. También, como conocen cuántos y qué tipo de clientes están siendo alimentados por su sistema de energía, pueden utilizar resultados de los costos de las interrupciones: en la planificación de la entrega de potencia, para futuras inversiones, en el diseño de nuevas instalaciones, para la reconfiguración de las redes y programación de las actividades de mantenimiento.

Asimismo, desde el punto de vista de los clientes, tanto industriales como comerciales, pueden estimar fácilmente sus pérdidas económicas en caso de cortes inesperados, a través de este estudio, con sólo seguir los pasos explicados anteriormente.

Haciendo un análisis de los resultados mostrados gráficamente, se observa que la relación costo reportado / costo estimado, cambia sustancialmente con el tiempo dentro de cada sub-categoría. Mostrando la industria de la construcción la máxima desviación, con una relación de 1,3 para una duración de 4 horas. Para la industria metalúrgica se encontró una relación inferior a 1, en todas las duraciones estudiadas, mostrando esto una subvaluación del costo reportado. En el sector comercial, el rubro vestimenta representa la máxima relación con un valor de 1,24 para una duración de 4 horas.

V. CONCLUSIONES

La fiabilidad es uno de los factores más importante en la percepción de la calidad del servicio eléctrico. Para la empresa distribuidora de energía es necesario conocer las expectativas de confiabilidad de sus clientes. La evaluación del valor de la fiabilidad se percibe como un aspecto importante de los detalles adicionales en la justificación de las nuevas instalaciones del sistema, y para valorar los índices de Calidad del Servicio Técnico en la liberalización del mercado energético. Los Costos de Interrupción de clientes son un indicador clave de las expectativas del mismo y por lo tanto un índice muy importante, a tener en cuenta en planificaciones futuras.

Este estudio presenta los resultados de las encuestas realizadas a clientes de una distribuidora de electricidad de la zona central de Argentina, un país de desarrollo intermedio. Se muestra un resumen de la investigación realizada para determinar las estimaciones del costo percibido o pérdidas para los consumidores comerciales e industriales, pequeños y medianos, atribuibles a interrupciones del servicio eléctrico. Se exhiben los resultados obtenidos de este estudio junto con las funciones de daño de categorías específicas de estos clientes. Incluyendo, las funciones de daño de los clientes industriales y comerciales en la Zona F, de la distribuidora provincial E.P.E.C, las que fueron comparadas con los resultados obtenidos en estudios similares en Canadá, EE.UU y el Reino Unido

En este trabajo se muestra la reformulación de la metodología directa obteniendo resultados comparables de los costos de las interrupciones eléctricas, con los datos obtenidos de una muestra relativamente pequeña, confrontables con estudios internacionales de otros autores.

Una contribución importante de este esfuerzo es la atención puesta en el diseño de los cuestionarios de la encuesta, siendo preponderante para obtener resultados exitosos con la metodología expuesta, pero también para la comparación con otros estudios similares.

Los costos totales estimados para los clientes industriales, son mayores que para los comerciales en caso de interrupciones breves. En cambio, ocurre lo contrario cuando los cortes de larga duración tienen lugar.

Los resultados muestran que para interrupciones más largas hay una mayor variabilidad de los costos totales de la interrupción para todas las empresas encuestadas. Las pequeñas empresas mostraron una distribución más homogénea de los valores del

costo de la interrupción percibidos, para los cuatro escenarios propuestos: por el contrario los datos obtenidos de las empresas medianas reflejaron una mayor dispersión.

No se pudo determinar la influencia que sobre el costo de la interrupción tiene una fuente de alimentación de reserva, ya que la gran mayoría de los encuestados manifestó que solo disponía de equipos de respaldo para sus actividades administrativas. Un 4,5% de los clientes respondió que poseía grupos electrógenos para cubrir parcialmente su actividad productiva o comercial, como era de esperar para este pequeño porcentaje de clientes, la percepción general es reducir el costo de las interrupciones.

Los valores estandarizados de los costos de interrupción se pueden aplicar a los estudios de fiabilidad. Vale la pena señalar que los datos de costos de interrupción se pueden utilizar en la planificación de la entrega de potencia, el diseño de nuevas instalaciones, el funcionamiento de las redes y las actividades de mantenimiento

Desde las encuestas, además de poder analizar los costos o pérdidas de las interrupciones, también se obtuvieron datos complementarios que permitieron conocer las características propias de la empresa. Una conclusión de estos resultados es que si la distribuidora de energía desea mejorar su calificación de satisfacción del cliente, adoptar una política de advertencias anticipadas para sus clientes industriales y comerciales sobre la ocurrencia de interrupciones de energía eléctrica, cuando sea posible, es una variable de gran interés para disminuir los costos de la interrupción, con una muy baja inversión. Como así también, la notificación sobre la duración es aconsejable.

Finalmente, los resultados obtenidos proporcionaron información suficiente para desarrollar un modelo de predicción de los costos de las interrupciones de potencia. El principal factor de motivación era encontrar una metodología que basada en datos proporcionados por el cliente, que es quien realmente sufre los efectos de la interrupción de energía, y con información del tamaño de empresa, demanda máxima y el consumo de electricidad anual, que son claras, correctas, de fácil acceso y lo más importante objetivas.

Una fórmula lineal para cada sub-categoría de ambos sectores ha sido derivada para la estimación de los costos de corte de energía. Los resultados han sido comparados con los costos medios reportados por los clientes encuestados.

Como se ha visto en los ejemplos mostrados, la metodología que aquí se presenta para estimar los costos de interrupción de la energía, de los sectores comercial

e industrial (pequeñas y medianas empresas) de nuestra región, es bastante sencillo, fácil de entender y fácil de seguir. Ambos, distribuidora de energía y clientes del sector, pueden utilizar estos resultados para estimar los costos de interrupción, en cualquier situación posible, con sólo seguir los pasos explicados.

REFERENCIAS

- [1] Pandey M., Billinton R., "Reliability Worth Assessment in a Developing Country – Comercial and Industrial Results", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, N° 4, pp. 1226-1231, 1999.
- [2] Kariuki K., Allan R., "Applications of customer outage costs in system planning, design and operation", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, N° 4, pp. 305-312, July 1996.
- [3] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999.
- [4] IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE New York, USA, June 2009.
- [5] Quaia S., Tosato F., "A method for analytical voltage sags prediction", Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, Vol. 4, pp. 1-6, June 2003.
- [6] Quaia S., Tosato F., "Interruption costs caused by supply voltage dips and outages in small industrial plants: a case study and survey results", Eurocon 2003, Computer as Tool, IEEE Region 8, Vol. 2, pp. 258-262, September 2003.
- [7] Billinton R., Wangdee W., "Approximate Methods for Event-Based Customer Interruption Cost Evaluation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, N° 2, pp. 1103-1110, May 2005.
- [8] Ley N° 24065 de ENERGIA ELECTRICA, Argentina, Diciembre 1992.
- [9] Contratos de Concesión del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica con EDENOR S.A., EDESUR S.A. y EDELAP S.A., Argentina, 1992.
- [10] Resolución ENRE 1184/1999. (no publicada en B.O.), 5 p. Ente Nacional Regulador de la Electricidad, Argentina, 17 de noviembre de 1999.
- [11] Langset T., Trengereid F., Samdal K., Heggset J., "Quality dependent revenue caps – a model for quality of supply regulation", Electricity Distributions, Contributions CIRED 16th International Conference and Exhibition IEE, Conference Publication No. 482, pp 1-5, Jun 2001.
- [12] Venegas J., "Metodologías de evaluación del costo de falla en sistemas eléctricos". Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1994.
- [13] Wojczynski E., Billinton R., Wacker G., "Interruption Cost Methodology and Results – A Canadian Commercial and Small Industry Survey". IEEE

Transactions on Powers Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, N° 2, pp. 437-444, Feb 1984.

- [14] Ribier Abbad J., "Calidad del Servicio. Regulación y Optimización de Inversiones", Cap. 3 Revisión Internacional de las Regulaciones de Calidad. Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 1999.
- [15] Wacker G., Billinton R., "Customer Cost of Electric Service Interruptions". Proceedings of the IEEE, Vol. 77, N° 6, pp. 919-930, June 1989.
- [16] Subramanian R., Billinton R., Wacker G., "Understanding Industrial Losses Resulting from Electric Service Interruptions". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, N° 1, pp. 238-244, Jan/Feb 1993.
- [17] Billinton R., Chan E., Wacker G., "Probability distribution approach to describe customer costs due to electric supply interruptions". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, N° 6, pp. 594-598, Nov. 1994.
- [18] Ghajar R., Billinton R., Chan E., "Distributed nature of residential customer outage costs". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, N° 3, pp. 1236-1244, August 1995.
- [19] Kog P., Billinton R., Wacker G., "Costs of electric power interruptions in the agricultural sector – Stactical analysis". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, N° 4, pp. 1432-1438, Nov. 1991.
- [20] Tollefson G., Billinton R., Chan E. and Aweya J., "A Canadian Customer Survey to Assess Power System Reliability Worth". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, N° 1, pp. 443-450, Feb. 1994.
- [21] Kariuki K., Allan R., "Assessment of customer outage costs due to electric service interruptions: residential sector". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, N° 2, pp. 163-170, March 1996.
- [22] Kariuki K., Allan R., "Factors affecting customer outage costs due to electric service interruptions". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, N° 6, pp. 521-528, Nov. 1996.
- [23] Kariuki K., Allan R., "Evaluation of reliability worth and value of lost load". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, N° 2, pp. 171-180, Mar. 1996.
- [24] Sullivan M., Vardell T., Johnson M., "Power Interruption Costs to Industrial and Commercial Consumers of Electricity". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, N° 6, pp. 1448-1458, Nov/Dec 1997.
- [25] Sullivan M., Vardell T., Suddeth B., Vojdani A., "Interruption Costs. Customer Satisfaction and Expectation for Service Reliability". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, N° 2, pp. 989-995, May 1996.

-
- [26] Chowdhury A., Mielnik T., Lawton, L., Sullivan, M., Katz, A., Koval, D., "System reliability worth assessment using the customer survey approach". Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE. Vol. 4, pp. 2162 – 2167, Oct. 2004.
- [27] EPRI "The cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies". www.epri.com/ceids, 2001.
- [28] Panya S., Pattaraprakorn W., Detmote T., Teansri P., Bhasaputra P., "Economic impact of power outage in Thailand: Industry perspectives", IEEE Conference Publications, Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies (ESD), 2010 Proceedings of the International Conference on, pp 1-7, June 2010.
- [29] Teansri P., Bhasaputra P., Pattaraprakorn W., "Development composite customer damage function using the customer survey based method for power system reliability planning", IEEE Conference Publications, Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 8th International Conference on, 2011
- [30] Ketkaew, C. Noohawm, O. Klairuang, N. Rerkpreedapong, D., "Outage cost of industrial customers in distribution and subtransmission systems for reliability improvement", IEEE Conference Publications, Universities Power Engineering Conference (UPEC), 45th International, pp. 1-5, 31st Aug - 3rd Sept 2010
- [31] Karki N., Verma A., Mishra A., Shrestha J., Bhatkar M., "Industrial customers' survey for outage cost valuation in a developing country", IEEE Conference Publications, North American Power Symposium (NAPS), pp. 1-6, 2009.
- [32] Gómez J., "*Calidad de Potencia*", Editorial EDIGAR, 2005.
- [33] Gómez J., "El Costo de la Calidad y de la No-Calidad de Energía Eléctrica". Seminario: Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba, Capítulo Potencia IEEE Argentina. Río Cuarto, 2002.
- [34] Moeltner K., Layton D., "A Censored Random Coefficients Model for Pooled Survey Data With Application to the Estimation of Power Outage Costs", Review of Economics and Statistics, 84 (3), pp. 552-561, June 2002
- [35] Moeltner K., Layton D., "The Cost of Power Outages to Heterogeneous Households – An Application of the Mixed Gamma-Lognormal Distribution", *Applications of Simulation Methods in Environmental and Resource Economics*, Chapter 3, A. Alberini and R. Scarpa, eds., ISBN: 978-1-4020-3683-5, Volume 6, pp 35-54, 2005.
- [36] http://www.epec.com.ar/PaginaOficial2/institucional_estadisticos.html

-
- [37] Lawton L., Sullivan M., Van Liere K., Katz A. and Eto J.. "A Framework and Review of Customer Outage Costs: Integration and Analysis of Electric Utility Outage Cost Surveys", Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, LBNL -54365, November 2003.

ANEXO A: ENCUESTA - INTRODUCCION

COSTOS DE LAS INTERRUPCIONES DE ENERGIA ELECTRICA

INTRODUCCION

Estamos conduciendo un estudio de investigación basado en encuestas, destinado a determinar los Costos Industriales y Comerciales de las Interrupciones, dentro del marco de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, que se lleva a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto, sin fines lucrativos, pero los resultados obtenidos pueden ayudar a la organización de la compañía prestadora del servicio eléctrico para mejorar el mismo a sus usuarios.

Las preguntas para la estimación del costo de interrupción, abarcan un abanico adecuado de escenarios posibles de falla. Se varía la frecuencia y duración de la interrupción y otras de sus características. Si la encuesta es respondida con objetividad, se tendrá una estimación certera del costo de interrupción para los escenarios utilizados, ya que *el más indicado para estimar el costo monetario de una interrupción es el propio afectado*. No existe el riesgo que el valor del costo de una interrupción esté regulado por las decisiones de inversión de la empresa eléctrica.

Por este motivo nos gustaría que las respuestas fueran completadas por la/s persona/s que es/son responsable/s de las operaciones diariamente en esa empresa, y puede ser el más entendido acerca de cómo son afectadas sus operaciones por problemas eléctricos.

Reiteramos, que esta encuesta conduce a determinar las pérdidas económicas que los clientes experimentan en sus negocios como resultado de los cortes ó disturbios en el suministro de potencia eléctrica. Estamos solicitando solamente las opiniones de las personas que conocen el desarrollo de las operaciones, y toda respuesta individual será mantenida confidencialmente.

Si el encargado de responder requiere verificar la legitimidad del estudio lo puede hacer comunicándose con el Dr. Ing. Juan Carlos Gómez al Tel.: 4676171 ó con el Ing. José Daniel Carmona al Tel.: 4676494/4627216

Primeramente nos gustaría hacerle algunas preguntas acerca de su organización.

P1: ¿Las instalaciones de su empresa son propias o alquiler?

Propias..... 1

Alquiler..... 2

P2: ¿Cómo podría clasificar a su organización de acuerdo a las actividades que realiza?

Hospital u otro establecimiento de cuidado de la salud 1

Seguridad 2

Bancos u otro servicio financiero 3

Procesamiento de datos, almacenamiento de datos 4

Servicio de telecomunicaciones	5
Manufactura del papel o productos relacionados	6
Manufactura de químicos, farmacéuticos o productos relacionados	7
Manufactura de productos de goma o plásticos	8
Manufactura de productos de piedra, arcilla o vidrio	9
Manufactura de metales	10
Manufactura de productos alimenticios	11
Agua o tratamientos de agua	12
Otros (especifique) _____	13

P3. ¿Aproximadamente que cantidad de empleados de jornada completa (full-time) están trabajando para su compañía en ese lugar?

4 o menos	1	(Calificada como pequeña)
5 a 9	2	(Calificada como pequeña)
10 a 19	3	(Calificada como pequeña)
20 a 49	4	(Calificada como mediana)
50 a 99	5	(Calificada como mediana)
100 a 199	6	(Calificada como mediana)
200 a 249	7	(Calificada como mediana)
250 o más	8	(Calificada como grande)

P4. Ahora lea la siguiente lista de equipamiento e indique cuales usa su organización en esta ubicación. (CHEQUEE TODAS LAS MENCIONES)

Computadoras personales	1
Redes servidoras	2
Unidad central de procesamiento	3
Equipamiento de soporte (Ej. ventiladores)	4
Equipamiento médico de diagnóstico avanzado	5
Controles electrónicos para equipamientos industriales	6
Sistemas automatizados de producción por computadoras	7
Motores eléctricos o bombas	8
Variadores de velocidad electrónicos	9
Impresión gráfica (Prensa)	10
Sistemas de refrigeración comerciales o industriales	11

Procesos industriales de calentamiento por energía eléctrica 12

En la siguiente encuesta se presentarán una serie de situaciones donde apelamos a su capacidad crítica para cuantificar como los cortes de energía y otros disturbios de la red eléctrica afectan a los negocios de los clientes. El cuestionario es para estimar (en pesos) diversos tipos de cortes de energía que puede tener sobre sus operaciones en dichas instalaciones, y puede ser completado de acuerdo a su conveniencia.

No estamos tratando de venderte nada, solamente estamos tratando de comprender mejor como varios tipos de negocios son afectados por los disturbios de la energía eléctrica. Asegurándole que todas sus respuestas serán estrictamente confidenciales y su nombre no será relacionado ó pasado con ningún resultado, solamente lo mantendremos a los fines de una aclaración ó ampliación de algún tema específico.

NOMBRE _____
CARGO _____
COMPAÑÍA _____
DIRECCION _____
TEL. _____
e-mail _____

Desde ya un gran agradecimiento por el tiempo brindado para este emprendimiento de gran importancia para nosotros, esperando que los resultados se traduzcan en beneficios retribuidos por la empresa de energía hacia sus clientes.

*** NOTA: Es de gran utilidad para el tratamiento de la información que nos adjunte a la encuesta, una copia de las últimas facturas de la empresa de energía (E.P.E.C).**

ANEXO B: ENCUESTA PARA VALORAR LOS COSTOS DE LAS
INTERRUPCIONES DE ENERGIA ELECTRICA

INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR ESTA ENCUESTA

Cuando complete esta encuesta, por favor responda para el lugar o instalaciones donde Ud. está ubicado. No incluye otras oficinas, sucursales, plantas, depósitos ó subsidiarias.

Es muy importante que Ud. trate de contestar todas las preguntas. Si alguna pregunta es dificultosa para su respuesta, por favor bríndenos su mejor suposición.

Para todas las preguntas, por favor asuma que la interrupción de potencia está referida a una pérdida completa de electricidad en este sitio. Estas interrupciones pueden ser causadas por diversos factores tal como mal tiempo, accidentes, ó falla de equipamiento y pueden durar desde menos de un segundo hasta varias horas.

- 1) ¿Alrededor de cuantas Interrupciones ha experimentado su negocio/empresa en los últimos 12 meses? (Escriba en Números).

_____ interrupciones en los últimos 12 meses.

- 2) ¿Aproximadamente cuantas Interrupciones ha experimentado su negocio/empresa en un año más representativo? (Escriba en Números).

_____ interrupciones en un año más representativo.

- 3) Ahora nos gustaría que considere la duración de esas interrupciones del servicio eléctrico típicamente pasadas. ¿Qué porcentaje de las interrupciones que Ud. ha enunciado anteriormente puede incluir en cada una de las siguientes categorías?. (Escriba un porcentaje para cada categoría. La suma de los porcentajes deberá ser 100%).

Menor que 1 segundo	_____ %
1 segundo hasta menos de 60 segundos	_____ %
1 minuto hasta menos de 3 minutos	_____ %
3 minutos hasta menos de 5 minutos	_____ %
5 minutos hasta menos de 1 hora	_____ %
1 hora hasta menos de 4 horas	_____ %
4 horas ó más tiempo	_____ %

- 4) ¿Aproximadamente cuantas veces en un año más representativo ocurre la siguiente situación?. El servicio se corta por un segundo ó dos, retorna por algunos segundos, luego se corta nuevamente. (Escriba en Números – Si nunca ocurre, escriba un cero)

_____ interrupciones en un año más representativo.

- 5) ¿Cuán satisfecho está Ud. en general con la confiabilidad del servicio eléctrico de acuerdo a la experiencia de su negocio/empresa (incluyendo el número de interrupciones típicamente experimentado, la duración media de las interrupciones, y el tipo de

información que la compañía eléctrica provee cuando Ud. llama para averiguar acerca de una interrupción)?. (Redondee un número).

Muy Insatisfecho	Insatisfecho	Algo Insatisfecho	Indiferente	Algo Satisfecho	Satisfecho	Muy Satisfecho
1	2	3	4	5	6	7

- 6) En general, Cuan perjudicial es para su negocio/empresa que las interrupciones del servicio eléctrico, para cada una de las siguientes duraciones, ocurrieran **durante el horario normal de operación**. (Redondee un número para cada categoría).

	Para nada perjudicial						Sumamente perjudicial
1 segundo	1	2	3	4	5	6	7
3 minutos	1	2	3	4	5	6	7
1 hora	1	2	3	4	5	6	7
4 horas	1	2	3	4	5	6	7

- 7) En general, Cuan perjudicial es para su negocio/empresa que las interrupciones del servicio eléctrico, para cada una de las siguientes estaciones del año, ocurrieran **durante el horario normal de operación**. (Redondee un número para cada categoría).

	Para nada perjudicial						Sumamente perjudicial
Primavera	1	2	3	4	5	6	7
Verano	1	2	3	4	5	6	7
Otoño	1	2	3	4	5	6	7
Invierno	1	2	3	4	5	6	7

Las siguientes páginas describen cuatro “casos de estudio” diferentes de interrupción del servicio eléctrico. Cada caso describe una interrupción que su firma experimentará y provee varios detalles acerca de la interrupción (Ej.: cuando esta ocurre, su duración, si dispone de tiempo ó no tiene Ud. ningún aviso de advertencia de que esa interrupción ocurrirá).

Para cada caso, por favor imagine que la interrupción descrita actualmente ocurre en su instalación en la manera exactamente descrita, y piense acerca de cómo esa interrupción particular afectará sus operaciones. Varias de las preguntas le solicitan acerca de la cantidad en pesos que perderá (ó incluso salvará) como resultado de la interrupción particular. Reconocemos que no puede tener cifras precisas para muchas de las preguntas, pero le solicitamos que provea su mejor estimación en cada caso.

Caso 1: Asuma que la siguiente interrupción ocurre para ese lugar	
Duración de la interrupción:	1 segundo
Tiempo cuando ocurre la interrupción:	Día viernes de verano, comenzando a las 9.00 de la mañana
Aviso de advertencia ó previa notificación:	Ninguna

8) En general, ¿Cuán perjudicial para su negocio/empresa será esta interrupción? (Redondeé un número).

Para nada perjudicial							Sumamente perjudicial
1	2	3	4	5	6	7	

9) ¿Cuánto perderá de actividad ó reducirá su producción como resultado de ésta interrupción? (Redondeé un número).

- 1. **Ninguna, las actividades continuaran normalmente** → **SALTAR A LA PREGUNTA 15**
- 2. **Ninguna, usualmente no hay actividades en esa hora** → **SALTAR A LA PREGUNTA 15**
- 3. **Declina menos del 10%**
- 4. **Declina entre el 11 y 25%**
- 5. **Declina entre el 26 y 50%**
- 6. **Declina entre el 51 y 75%**
- 7. **Declina entre el 75 y 99%**
- 8. **Declina el 100%, todas las actividades pararan**

10) En general, ¿cuánto tiempo se pararían ó reducirían las actividades como resultado de esa interrupción de 1 segundo? (Complete un solo espacio)

Las actividades se pararían ó reducirían por:

_____ Segundos ó _____ Minutos ú _____ Horas

11) ¿Cuál es el valor de la producción, ventas, ó servicios que se perderá mientras las actividades están paradas ó reducidas para 1 segundo de interrupción? (Complete el espacio en blanco – Por favor estime si no tiene seguridad)

\$ _____ Valor de las pérdidas de producción, ventas ó servicios.

12) ¿Alguna parte de la pérdida de producción, ventas ó servicios podrá ser recuperada?
(Redondeé un número)

- 1 No → **SALTE A LA PREGUNTA 15**
2 Si. \$ _____

13) ¿Qué porcentaje de la pérdida de producción, ventas ó servicios probablemente se recuperará? (Complete el espacio en blanco – Por favor estime si no tiene seguridad)

_____ %

14) ¿Cómo recuperará probablemente la pérdida de producción, ventas ó servicios?
(Redondeé un número)

- 1 **Corriendo turno(s) extras ó extendiendo las horas de negocios**
2 **Trabajando más intensamente ó incrementando ventas durante el horario normal de negocios**
3 **Otros (Por favor especifique: _____)**

15) Por favor denos una estimación de los costos y economías que espera generalmente su negocio/empresa para una interrupción de 1 segundo. Si piensa que no tendrá costo ó economías para un ítem específico, por favor ponga un cero en el espacio en blanco. (Complete el espacio en blanco – Estímelo si no tiene seguridad)

Costos de Mano de Obra
Estimados

Costos

Sueldos y jornales pagados al personal sin trabajar \$ _____

Costos de Mano de Obra para recuperar la pérdida de producción,
Ventas ó servicios (tal como pago de hs. extras, cambio de turnos) \$ _____

Costos de Materiales

Materiales dañados ó deshecho, productos no terminados e
irrecuperables \$ _____

Costos Adicionales

Costos extras de reinicio de las operaciones \$ _____

Gastos generales actuales, incurridos durante la interrupción y el Período de reinicio	\$ _____
Daño a las instalaciones de su negocio/empresa ó a equipos	\$ _____
Costo de puesta en marcha y/ó alquiler de equipos de emergencia	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Economías

Economía de materiales no usados	\$ _____
Economía en su factura de energía	\$ _____
Economía en jornales que no son pagados	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Caso 2: Asuma que la siguiente interrupción ocurre para ese lugar

Duración de la interrupción:	3 minutos
Tiempo cuando ocurre la interrupción:	Día viernes de verano, comenzando a las 9.00 de la mañana
Aviso de advertencia ó previa notificación:	Ninguna

16) En general, ¿Cuán perjudicial para su negocio/empresa será esta interrupción? (Redondeé un número).

Para nada perjudicial							Sumamente perjudicial
1	2	3	4	5	6	7	

17) ¿Cuánto perderá de actividad ó reducirá su producción como resultado de ésta interrupción? (Redondeé un número).

- 1 Ninguna, las actividades continuaran normalmente → SALTAR A LA PREGUNTA 23
- 2 Ninguna, usualmente no hay actividades en esa hora → SALTAR A LA PREGUNTA 23
- 3 Declina menos del 10%
- 4 Declina entre el 11 y 25%
- 5 Declina entre el 26 y 50%
- 6 Declina entre el 51 y 75%
- 7 Declina entre el 75 y 99%
- 8 Declina el 100%, todas las actividades pararan

18) En general, ¿cuánto tiempo se pararían ó reducirían las actividades como resultado de esa interrupción de 3 minutos? (Complete un solo espacio)

Las actividades se pararían ó reducirían por:

_____ Segundos ó _____ Minutos ú _____ Horas

19) ¿Cuál es el valor de la producción, ventas, ó servicios que se perderá mientras las actividades están paradas ó reducidas para 3 minutos de interrupción? (Complete el espacio en blanco – Por favor estime si no tiene seguridad)

\$ _____ Valor de las pérdidas de producción, ventas ó servicios.

20) ¿Alguna parte de la pérdida de producción, ventas ó servicios podrá ser recuperada?
(Redondeé un número)

- 1 No → **SALTE A LA PREGUNTA 23**
2 Si \$ _____

21) ¿Qué porcentaje de la pérdida de producción, ventas ó servicios probablemente se recuperará? (Complete el espacio en blanco – Por favor estímelo si no tiene seguridad)

_____ %

22) ¿Cómo recuperará probablemente la pérdida de producción, ventas ó servicios?
(Redondeé un número)

- 1 **Corriendo turno(s) extras ó extendiendo las horas de negocios**
2 **Trabajando más intensamente ó incrementando ventas durante el horario normal de negocios**
3 **Otros (Por favor especifique: _____)**

23) Por favor dénos una estimación de los costos y economías que espera generalmente su negocio/empresa para una interrupción de 3 minutos. Si piensa que no tendrá costo ó economías para un ítem específico, por favor ponga un cero en el espacio en blanco. (Complete el espacio en blanco – Estímelo si no tiene seguridad)

Costos de Mano de Obra
Estimados

Costos

Sueldos y jornales pagados al personal sin trabajar \$ _____

Costos de Mano de Obra para recuperar la pérdida de producción, Ventas ó servicios (tal como pago de hs. extras, cambio de turnos) \$ _____

Costos de Materiales

Materiales dañados ó deshecho, productos no terminados e irrecuperables \$ _____

Costos Adicionales

Costos extras de reinicio de las operaciones \$ _____

Gastos generales actuales, incurridos durante la interrupción y el Período de reinicio	\$ _____
Daño a las instalaciones de su negocio/empresa ó a equipos	\$ _____
Costo de puesta en marcha y/ó alquiler de equipos de emergencia	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Economías

Economía de materiales no usados	\$ _____
Economía en su factura de energía	\$ _____
Economía en jornales que no son pagados	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Caso 3: Asuma que la siguiente interrupción ocurre para ese lugar

Duración de la interrupción:	1 hora
Tiempo cuando ocurre la interrupción:	Día viernes de verano, comenzando a las 9.00 de la mañana
Aviso de advertencia ó previa notificación:	24 horas antes de la interrupción, será notificado de una posible interrupción

24) En general, ¿Cuán perjudicial para su negocio/empresa será esta interrupción? (Redondeé un número).

Para nada perjudicial							Sumamente perjudicial
1	2	3	4	5	6	7	

25) ¿Cuánto perderá de actividad ó reducirá su producción como resultado de ésta interrupción? (Redondeé un número).

- 1 Ninguna, las actividades continuaran normalmente → **SALTAR A LA PREGUNTA 31**
- 2 Ninguna, usualmente no hay actividades en esa hora → **SALTAR A LA PREGUNTA 31**
- 3 Declina menos del 10%
- 4 Declina entre el 11 y 25%
- 5 Declina entre el 26 y 50%
- 6 Declina entre el 51 y 75%
- 7 Declina entre el 75 y 99%
- 8 Declina el 100%, todas las actividades pararan

26) En general, ¿cuánto tiempo se pararían ó reducirían las actividades como resultado de esa interrupción de 1 hora? (Complete un solo espacio)

Las actividades se pararían ó reducirían por:

_____ Segundos ó _____ Minutos ú _____ Horas

27) ¿Cuál es el valor de la producción, ventas, ó servicios que se perderá mientras las actividades están paradas ó reducidas para 1 hora de interrupción? (Complete el espacio en blanco – Por favor estime si no tiene seguridad)

\$ _____ Valor de las pérdidas de producción, ventas ó servicios.

28) ¿Alguna parte de la pérdida de producción, ventas ó servicios podrá ser recuperada?
(Redondeé un número)

1 No → **SALTE A LA PREGUNTA 31**
2 Si \$ _____

29) ¿Qué porcentaje de la pérdida de producción, ventas ó servicios probablemente se recuperará? (Complete el espacio en blanco – Por favor estímelo si no tiene seguridad)

_____ %

30) ¿Cómo recuperará probablemente la pérdida de producción, ventas ó servicios?
(Redondeé un número)

1 **Corriendo turno(s) extras ó extendiendo las horas de negocios**
2 **Trabajando más intensamente ó incrementando ventas durante el horario normal de negocios**
3 **Otros (Por favor especifique: _____)**

31) Por favor dénos una estimación de los costos y economías que espera generalmente su negocio/empresa para una interrupción de 1 hora. Si piensa que no tendrá costo ó economías para un ítem específico, por favor ponga un cero en el espacio en blanco. (Complete el espacio en blanco – Estímelo si no tiene seguridad)

Costos de Mano de Obra
Estimados

Costos

Sueldos y jornales pagados al personal sin trabajar \$ _____

Costos de Mano de Obra para recuperar la pérdida de producción,
Ventas ó servicios (tal como pago de hs. extras, cambio de turnos) \$ _____

Costos de Materiales

Materiales dañados ó deshecho, productos no terminados e
irrecuperables \$ _____

Costos Adicionales

Costos extras de reinicio de las operaciones	\$ _____
Gastos generales actuales, incurridos durante la interrupción y el Período de reinicio	\$ _____
Daño a las instalaciones de su negocio/empresa ó a equipos	\$ _____
Costo de puesta en marcha y/ó alquiler de equipos de emergencia	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Economías

Economía de materiales no usados	\$ _____
Economía en su factura de energía	\$ _____
Economía en jornales que no son pagados	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

- **Si hubiera un aviso previo de la interrupción, con una anticipación de 24 horas, ¿en que porcentaje disminuirían las pérdidas en su negocio/empresa para una interrupción de 1 hora? _____ %**

Caso 4: Asuma que la siguiente interrupción ocurre para ese lugar

Duración de la interrupción: **4 horas**
Tiempo cuando ocurre la interrupción: **Día viernes de verano, comenzando a las 9.00 de la mañana**
Aviso de advertencia ó previa notificación: **Ninguno**

32) En general, ¿Cuán perjudicial para su negocio/empresa será esta interrupción? (Redondeé un número).

Para nada perjudicial							Sumamente perjudicial
1	2	3	4	5	6	7	

33) ¿Cuánto perderá de actividad ó reducirá su producción como resultado de ésta interrupción? (Redondeé un número).

1 Ninguna, las actividades continuaran normalmente → SALTAR A LA PREGUNTA 39

2 Ninguna, usualmente no hay actividades en esa hora → SALTAR A LA PREGUNTA 39

3 Declina menos del 10%

4 Declina entre el 11 y 25%

5 Declina entre el 26 y 50%

6 Declina entre el 51 y 75%

7 Declina entre el 75 y 99%

8 Declina el 100%, todas las actividades pararan

34) En general, ¿cuánto tiempo se pararían ó reducirían las actividades como resultado de esa interrupción de 4 horas? (Complete un solo espacio)

Las actividades se pararían ó reducirían por:

_____ Segundos ó _____ Minutos ú _____ Horas

35) ¿Cuál es el valor de la producción, ventas, ó servicios que se perderá mientras las actividades están paradas ó reducidas para 4 horas de interrupción? (Complete el espacio en blanco – Por favor estime si no tiene seguridad)

\$ _____ Valor de las pérdidas de producción, ventas ó servicios.

36) ¿Alguna parte de la pérdida de producción, ventas ó servicios podrá ser recuperada?
(Redondeé un número)

1 No → **SALTE A LA PREGUNTA 39**
2 Si \$ _____

37) ¿Qué porcentaje de la pérdida de producción, ventas ó servicios probablemente se recuperará? (Complete el espacio en blanco – Por favor estímelo si no tiene seguridad)

_____ %

38) ¿Cómo recuperará probablemente la pérdida de producción, ventas ó servicios?
(Redondeé un número)

1 **Corriendo turno(s) extras ó extendiendo las horas de negocios**
2 **Trabajando más intensamente ó incrementando ventas durante el horario normal de negocios**
3 **Otros (Por favor especifique: _____)**

39) Por favor denos una estimación de los costos y economías que espera generalmente su negocio/empresa para una interrupción de 4 horas. Si piensa que no tendrá costo ó economías para un ítem específico, por favor ponga un cero en el espacio en blanco. (Complete el espacio en blanco – Estímelo si no tiene seguridad)

Costos de Mano de Obra
Estimados

Costos

Sueldos y jornales pagados al personal sin trabajar \$ _____

Costos de Mano de Obra para recuperar la pérdida de producción, Ventas ó servicios (tal como pago de hs. extras, cambio de turnos) \$ _____

Costos de Materiales

Materiales dañados ó deshecho, productos no terminados e irrecuperables \$ _____

Costos Adicionales

Costos extras de reinicio de las operaciones	\$ _____
Gastos generales actuales, incurridos durante la interrupción y el Período de reinicio	\$ _____
Daño a las instalaciones de su negocio/empresa ó a equipos	\$ _____
Costo de puesta en marcha y/ó alquiler de equipos de emergencia	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

Economías

Economía de materiales no usados	\$ _____
Economía en su factura de energía	\$ _____
Economía en jornales que no son pagados	\$ _____
Otros (Por favor especifique _____)	\$ _____

- Si hubiera un aviso previo de la interrupción, con una anticipación de 24 horas, ¿en que porcentaje disminuirían las pérdidas en su negocio/empresa para una interrupción de 4 horas? _____ %

Alguna información de fondo acerca de su empresa nos ayudará a entender como las interrupciones del servicio eléctrico afecta su negocio. **Todas sus respuestas son estrictamente confidenciales.** La información será usada solamente para elaborar un informe de comparación entre diferentes tipos de negocios, con las distintas características de las interrupciones. Nunca se identificará individualmente ó negocios con sus respuestas.

- 40) ¿Aproximadamente cuánto dinero su negocio/empresa pierde anualmente en total, como resultado de todas las interrupciones del servicio eléctrico en sus instalaciones? (Por favor, estímelo – Considere todas las interrupciones que ocurren en un año representativo, sin tener en cuenta la duración).

\$ _____

- 41) ¿Cual fue aproximadamente el ingreso anual de su empresa el año pasado? (Si en éste sitio no genera ingresos, use el presupuesto anual como una aproximación)

\$ _____

- 42) ¿Cuáles fueron para su empresa los gastos anuales totales de operación, durante el año pasado? (Incluyendo mano de obra, alquileres, materiales, energía y otros gastos generales).

\$ _____

- 43) ¿Cuál de los siguientes horarios de operación corresponde más estrechamente con su empresa? Esto será cuando la mayoría de los empleados u otros ocupantes están presentes. No incluya el horario donde solamente está presente personal de seguridad ó portería. (Redondeé un número)

- 1 8 horas por día, 5 días por semana
- 2 12 horas por día, 5 días por semana
- 3 8 horas por día, 7 días por semana
- 4 12 horas por día, 7 días por semana
- 5 24 horas por día, 7 días por semana

- 44) ¿Aproximadamente cuánto es el monto de su factura de electricidad para su ubicación, en verano y en invierno. (Escriba su mejor estimación para cada línea)

Factura eléctrica en verano: \$ _____ por mes
Factura eléctrica en invierno: \$ _____ por mes

45) ¿Cuál de lo siguiente tiene instalado su empresa para tratar la calidad de energía ó confiabilidad? (Redondeé que aplicación)

- 1 **Protectores momentáneos sobre los equipos**
- 2 **UPS – Fuente de potencia ininterrumpible**
- 3 **Filtros acondicionadores de línea**
- 4 **Grupo Generador Back-up**
- 5 **Otros (Por favor especifique _____)**
- 6 **Ninguno de lo de arriba → SALTE A LA PREGUNTA 48**

46) ¿Aproximadamente cuánto dinero invierte su empresa en adquirir e instalar el equipamiento descrito en la pregunta 45 para ésta actividad? (Escriba en Números)

\$ _____

47) ¿Aproximadamente que porcentaje de sus cargas eléctricas totales es corrientemente cubierta por ? (Escriba un porcentaje para cada ítem)

	Porcentaje de carga cubierta
Generador standby ó backup	_____ %
Equipos UPS, u otros	_____ %

48) En adición con las interrupciones de potencia eléctrica, hay una variedad de disturbios ó alteraciones del servicio eléctrico que un usuario puede experimentar. Puede incluirse fluctuaciones de tensión, huecos de tensión, armónicos, sobrecarga momentánea, pérdida de fase y fallas a tierra. Para los propósitos de ésta encuesta, supondremos a todos estos eventos como Calidad de Potencia. ¿Aproximadamente cuantos de estos eventos experimenta su empresa en sus actividades, en un año representativo. (Redondeé un Número).

- 1 **Ninguno → SALTE A LA PREGUNTA 53**
- 2 **1 a 4**
- 3 **5 a 9**
- 4 **10 a 19**
- 5 **20 a 29**

- 6 30 a 39
- 7 40 a 49
- 8 50 a 99
- 9 100 ó más

49) ¿Cuál de lo siguiente típicamente ocurre en sus actividades cuando un evento de Calidad de Potencia acontece? (Redondeé que aplicaciones)

- 1 Parpadeo ó atenuación de luces
- 2 Cortocircuitos
- 3 Bloqueo de computadoras ó rebuteo
- 4 Motores u otros equipos de proceso arrancan ó paran solos
- 5 Motores u otros equipos de proceso pierden velocidad inexplicablemente
- 6 Motores u otros equipos de proceso son dañados
- 7 Computadoras u otros equipos electrónicos son dañados
- 8 Empleados reciben shocks eléctricos cuando tocan el equipamiento
- 9 Otros (especifique: _____)
- 10 Ninguno de los de arriba

50) ¿Sus procesos primarios ó actividades de su empresa se ven significativamente disminuidos ó parados cuando un evento de calidad de potencia ocurre? (Redondeé un Número)

- 1 No → SALTE A LA PREGUNTA 52
- 2 Si \$ _____

51) En general, ¿cuánto tiempo estas actividades se ven paradas ó disminuidas cuando un evento de calidad de potencia ocurre? (Complete solamente un espacio en blanco)

Actividades paradas ó disminuidas por:

_____ Segundos _____ Minutos _____ Horas

52) ¿Aproximadamente cuánto dinero pierde su empresa anualmente como resultado de los tipos de eventos de calidad de potencia descritos a través de las preguntas 48 a 51? (Estímelo sin incluir las pérdidas resultantes de las interrupciones).

\$ _____

53) Tiene alguna de las pérdidas que ha experimentado su empresa en ese lugar – desde eventos de calidad de potencia ó interrupciones – ha sido reembolsada bajo una póliza de seguro? (Redondeé un Número).

1 No → SALTE A LA PREGUNTA 55

2 Si \$ _____

54) Históricamente, que porcentaje de las pérdidas monetarias experimentadas por su empresa desde eventos de calidad de potencia ó interrupciones, han sido reembolsadas por seguros? (Escriba en porcentaje estimándolo)

_____ % del total de pérdidas de calidad de potencia/interrupciones

55) Su empresa corrientemente ha participado en programas para restringir ó interrumpir cargas con su compañía de electricidad? (Redondeé un Número)

1 No

2 Si \$ _____

ANEXO C: TABLAS DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

Tabla C-1. Número de encuestados de la muestra por Sub-categoría del Sector Industrial.....	107
Tabla C-2. Número de encuestados de la muestra por Sub-categoría del Sector Comercial	107
Tabla C-3. Costos medio, mínimo y máximo de la interrupción (Figura 3-1) .	107
Tabla C-4. Distribución de costos de la interrupción en función de la duración (Figura 3-2).....	108
Tabla C-5. Escala de costos de la interrupción en función de la duración (Figura 3-3).....	108
Tabla C-6. Costo medio de la interrupción por sector (Figura 3-4).....	108
Tabla C-7. Distribución del costo total de la interrupción por sector (Figura 3-5).....	109
Tabla C-8. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Pequeñas (Figura 3-6).....	109
Tabla C-9. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Medianas (Figura 3-7)	110
Tabla C-10. Costos de la interrupción estimados en [\$/kW] (Figura 3-8).....	110
Tabla C-11. Costos de la interrupción estimados en [\$/kWh] anuales (Figura 3-9).....	110
Tabla C-12. Distribución del costo total de la interrupción en [\$/kW] (Figura 3-10).....	111
Tabla C-13. Distribución del costo total de la interrupción en [\$/kWh] (Figura 3-11)	111
Tabla C-14. Comparación de funciones de daño de clientes industriales en [USD/kW] (Figura 3-12)	112
Tabla C-15. Comparación de funciones de daño de clientes comerciales en [USD/kW] (Figura 3-13)	112

Tabla C-16. Distribución del número de empleados en las empresas encuestadas (Figura 3-14)	112
Tabla C-17. Porcentaje de clientes en función del número de interrupciones en un año típico (Figura 3-15)	113
Tabla C-18. Duraciones medias de las interrupciones en un año típico (Figura 3-16).....	113
Tabla C-19. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Industriales (Figura 3-17)	113
Tabla C-20. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Comerciales (Figura 3-18).....	114
Tabla C-21. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción, para clientes Industriales (Figura 3-19)	114
Tabla C-22. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción, para clientes Comerciales (Figura 3-20).....	114
Tabla C-23. Nivel de satisfacción de los clientes Industriales con la compañía eléctrica (Figura 3-21).....	115
Tabla C-24. Nivel de satisfacción de los clientes Comerciales con la compañía eléctrica (Figura 3-22).....	115

Tabla C-1. Número de encuestados de la muestra por Sub-categoría del Sector Industrial

SUB-CATEGORIA SECTOR INDUSTRIAL	NUMERO DE ENCUESTADOS
ALIMENTACION	11
METAL	10
CEREALERA	10
FRIGORIFICA	5
CONSTRUCCION	4
GRAFICA	2
OTRAS	3
TOTAL	45

Tabla C-2. Número de encuestados de la muestra por Sub-categoría del Sector Comercial

SECTOR COMERCIAL	NUMERO DE ENCUESTADOS
ALIMENTACION	4
SUPERMERCADOS	9
COMBUSTIBLES	7
ARTICULOS DEL HOGAR	3
CONSTRUCCION	9
VESTIMENTA	2
OTRAS VENTAS	8
TOTAL	42

Tabla C-3. Costos medio, mínimo y máximo de la interrupción (Figura 3-1)

Duración	1 seg.	3 min.	1 hora	4 horas
Costo medio [\$]	1.322	2.300	6.674	16.242
MIN [\$]	0	0	0	2.222
MAX [\$]	16.160	26.563	60.903	78.376
SD	3.154,285	4.775,448	10.045,316	14.883,350
CV	238,599	207,628	150,514	91,635

Tabla C-4. Distribución de costos de la interrupción en función de la duración (Figura 3-2)

Duración	1seg	3min	1h	4h
Cantidad	87	87	87	87
Media	1321,68	2299,97	6673,74	16241,76
SD	3154,29	4775,45	10045,32	14883,35
Min	0,00	0,00	0,00	2222,00
Q1	0,00	105,00	2040,00	7898,50
Mediana	0,00	606,00	3272,00	11918,00
Q3	1010,00	1878,50	5151,00	16180,00
Max	16160,00	26563,00	60903,00	78376,00
Fondo	0,00	105,00	2040,00	7898,50
2Q Caja	0,00	501,00	1232,00	4019,50
3Q Caja	1010,00	1272,50	1879,00	4262,00
Bigote (-)	0,00	105,00	2040,00	5676,50
Bigote (+)	15150,00	24684,50	55752,00	62196,00

Tabla C-5. Escala de costos de la interrupción en función de la duración (Figura 3-3)

Costo de la interrupción	4 h [%]	1 h [%]	3 min [%]	1 seg [%]
\$ 0	0,00	1,15	18,39	62,07
\$1 - \$999	0,00	4,60	40,23	9,20
\$1000 - \$4.999	12,64	67,82	28,74	19,54
\$5.000 - \$19.999	66,67	13,79	9,20	9,20
\$20.000 +	20,69	12,64	3,45	0,00

Tabla C-6. Costo medio de la interrupción por sector (Figura 3-4).

Duración de la interrupción	1 seg	3 min	1 h	4 h
Sector Industrial	\$ 2.232	\$ 3.256	\$ 9.229	\$ 17.946
Sector Comercial	\$ 346	\$ 1.275	\$ 3.936	\$ 14.416

Tabla C-7. Distribución del costo total de la interrupción por sector (Figura 3-5)

Duración	1s [C]	3min [C]	1h [C]	4h [C]	1s [I]	3min [I]	1h [I]	4h [I]
Cantidad	42	42	42	42	45	45	45	45
Media	346,29	1275,19	3935,50	14416,24	2232,04	3256,42	9229,42	17945,58
SD	923,03	4105,25	4596,41	10854,51	4110,61	5189,53	12794,78	17805,12
Min	0,00	0,00	1155,00	3006,00	0,00	0,00	0,00	2222,00
Q1	0,00	0,00	2136,50	8292,00	0,00	132,00	1820,25	7305,25
Mediana	0,00	404,00	3154,00	11882,00	109,00	1010,00	3891,00	12180,00
Q3	0,00	1010,00	3696,75	15503,50	1919,00	3232,00	8080,00	16200,00
Max	5050,00	26563,00	25856,00	53328,00	14140,00	22220,00	60903,00	78376,00
Fondo	0,00	0,00	2136,50	8292,00	0,00	132,00	1820,25	7305,25
2Q Caja	0,00	404,00	1017,50	3590,00	109,00	878,00	2070,75	4874,75
3Q Caja	0,00	606,00	542,75	3621,50	1810,00	2222,00	4189,00	4020,00
Bigote (-)	0,00	0,00	981,50	5286,00	0,00	132,00	1820,25	5083,25
Bigote (+)	5050,00	25553,00	22159,25	37824,50	12221,00	18988,00	52823,00	62176,00

Tabla C-8. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas

Pequeñas (Figura 3-6)

Duración	1seg	3min	1h	4h
Cantidad	62	62	62	62
Media	341,08	744,40	4676,74	11246,76
SD	750,88	980,34	8595,00	8968,67
Min	0,00	0,00	0,00	2222,00
Q1	0,00	17,75	1950,00	6605,25
Mediana	0,00	323,00	2928,00	9090,00
Q3	107,00	1010,00	4065,50	12473,50
Max	3232,00	3636,00	60903,00	61812,00
Fondo	0,00	17,75	1950,00	6605,25
2Q Caja	0,00	305,25	978,00	2484,75
3Q Caja	107,00	687,00	1137,50	3383,50
Bigote (-)	0,00	17,75	1950,00	4383,25
Bigote (+)	3125,00	2626,00	56837,50	49338,50

Tabla C-9. Distribución del Costo Total de la interrupción por tamaño. Empresas Medianas (Figura 3-7)

Duración	1seg	3min	1h	4h
Cantidad	25	25	25	25
Media	3753,56	6157,76	11626,28	28629,36
SD	5057,16	7584,26	11746,21	19105,34
Min	0,00	101,00	202,00	7381,00
Q1	0,00	606,00	3272,00	14423,00
Mediana	1414,00	3030,00	4525,00	18180,00
Q3	5050,00	10504,00	21008,00	39390,00
Max	16160,00	26563,00	37754,00	78376,00
Fondo	0,00	606,00	3272,00	14423,00
2Q Caja	1414,00	2424,00	1253,00	3757,00
3Q Caja	3636,00	7474,00	16483,00	21210,00
Bigote (-)	0,00	505,00	3070,00	7042,00
Bigote (+)	11110,00	16059,00	16746,00	38986,00

Tabla C-10. Costos de la interrupción estimados en [\$/kW] (Figura 3-8)

Duración de la interrupción		1 seg	3 min	1h	4h
SECTOR INDUSTRIAL	MEDIO [\$/kW]	21	35	138	327
	MIN [\$/kW]	0	0	0	20
	MAX [\$/kW]	152	170	725	1317
SECTOR COMERCIAL	MEDIO [\$/kW]	12	31	193	625
	MIN [\$/kW]	0	0	4	61
	MAX [\$/kW]	202	222	798	2618

Tabla C-11. Costos de la interrupción estimados en [\$/kWh] anuales (Figura 3-9)

Duración de la interrupción		1 seg	3 min	1h	4h
SECTOR INDUSTRIAL	MEDIO [\$/kWh]	0,0142	0,0267	0,1023	0,2643
	MIN [\$/kWh]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0073
	MAX [\$/kWh]	0,2180	0,2453	0,5330	1,6075
SECTOR COMERCIAL	MEDIO [\$/kWh]	0,0099	0,0197	0,1270	0,4103
	MIN [\$/kWh]	0,0000	0,0000	0,0012	0,0141
	MAX [\$/kWh]	0,1639	0,1639	0,5647	2,2592

Tabla C-12. Distribución del costo total de la interrupción en [\$/kW] (Figura 3-10)

Duración	1s [C]	3min [C]	1h [C]	4h [C]	1s [I]	3min [I]	1h [I]	4h [I]
Cantidad	42	42	42	42	45	45	45	45
Media	12,08	30,87	192,59	624,90	20,69	35,27	137,92	327,07
SD	40,13	53,12	203,43	632,21	35,85	42,24	147,53	302,59
Min	0,00	0,00	4,39	61,01	0,00	0,00	0,00	20,40
Q1	0,00	0,00	29,56	124,69	0,00	6,41	30,99	86,05
Mediana	0,00	6,21	109,06	418,93	1,44	20,12	105,25	195,42
Q3	0,00	37,36	314,93	906,44	26,52	60,60	174,25	484,80
Max	202,00	222,20	797,80	2618,00	151,50	170,44	725,04	1317,00
Fondo	0,00	0,00	29,56	124,69	0,00	6,41	30,99	86,05
2Q Caja	0,00	6,21	79,50	294,24	1,44	13,71	74,26	109,36
3Q Caja	0,00	31,15	205,87	487,51	25,08	40,48	69,00	289,38
Bigote (-)	0,00	0,00	25,17	63,68	0,00	6,41	30,99	65,65
Bigote (+)	202,00	184,84	482,88	1711,56	124,98	109,84	550,79	832,20

Tabla C-13. Distribución del costo total de la interrupción en [\$/kWh] (Figura 3-11)

Duración	1s [C]	3min [C]	1h [C]	4h [C]	1s [I]	3min [I]	1h [I]	4h [I]
Cantidad	42	42	42	42	45	45	45	45
Media	0,0099	0,0197	0,1270	0,4103	0,0142	0,0267	0,1023	0,2643
SD	0,0346	0,0389	0,1503	0,4716	0,0356	0,0468	0,1309	0,3381
Min	0,0000	0,0000	0,0012	0,0141	0,0000	0,0000	0,0000	0,0073
Q1	0,0000	0,0000	0,0093	0,0419	0,0000	0,0025	0,0101	0,0278
Mediana	0,0000	0,0020	0,0780	0,3131	0,0008	0,0100	0,0505	0,1369
Q3	0,0000	0,0201	0,1900	0,6445	0,0096	0,0252	0,1274	0,4179
Max	0,1639	0,1639	0,5647	2,2592	0,2180	0,2453	0,5330	1,6075
Fondo	0,0000	0,0000	0,0093	0,0419	0,0000	0,0025	0,0101	0,0278
2Q Caja	0,0000	0,0020	0,0686	0,2712	0,0008	0,0076	0,0404	0,1091
3Q Caja	0,0000	0,0181	0,1121	0,3314	0,0088	0,0152	0,0769	0,2810
Bigote (-)	0,0000	0,0000	0,0081	0,0278	0,0000	0,0025	0,0101	0,0205
Bigote (+)	0,1639	0,1438	0,3747	1,6147	0,2084	0,2200	0,4056	1,1897

Tabla C-14. Comparación de funciones de daño de clientes industriales en [USD/kW]

(Figura 3-12)

Duración de la interrupción	1 seg	3 min	1 hora	4 horas
RIO CUARTO	4,55	7,75	30,31	71,88
CANADA	1,12	1,75	8,10	29,55
REINO UNIDO	13,27	21,30	54,52	155,88
EE. UU.	10,24	12,80	29,96	51,44

Tabla C-15. Comparación de funciones de daño de clientes comerciales en [USD/kW]

(Figura 3-13)

Duración de la interrupción	1 seg	3 min	1 hora	4 horas
RIO CUARTO	2,65	6,78	42,33	137,34
CANADA	0,33	1,75	18,70	94,20
REINO UNIDO	2,14	2,70	22,99	84,26
EE. UU	8,96	14,08	48,03	155,07

Tabla C-16. Distribución del número de empleados en las empresas encuestadas

(Figura 3-14)

	Nº de Empleados	Comercial	Industrial	Cant. de Empresas
Pequeña	4 ó menos	0	0	0
	5 a 9	13	1	14
	10 a 19	20	28	48
Mediana	20 a 49	6	9	15
	50 a 99	3	5	8
	100 a 199	0	2	2
	200 ó más	0	0	0
	TOTAL	42	45	87

Tabla C-17. Porcentaje de clientes en función del número de interrupciones en un año típico (Figura 3-15)

Nº Interrup. por año	Cant. Empresas
1 a 5	11
6 a 10	41
11 a 15	19
16 a 20	5
más de 20	11
Total	87

Promedio	12,95
-----------------	--------------

Tabla C-18. Duraciones medias de las interrupciones en un año típico (Figura 3-16)

Duración de la interrupción	Cant. Empresas
< 1 seg.	4
1 seg a < 1 min	5
1 min a < 3 min	15
3 min a < 1 h	36
1 h a < 4 h	24
más de 4 h	3

Tabla C-19. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Industriales (Figura 3-17)

Nivel de Perjuicio	4 h [%]	1 h [%]	3 min [%]	1 seg [%]
Nada perjudicial	0,00	0,00	11,11	53,33
2	0,00	6,67	28,89	11,11
3	0,00	11,11	28,89	13,33
4	0,00	15,56	13,33	6,67
5	8,89	13,33	6,67	8,89
6	15,56	17,78	4,44	2,22
Sumamente perjudicial	75,56	35,56	6,67	4,44

Tabla C-20. Nivel de perjuicio de acuerdo a la duración de la interrupción, para clientes Comerciales (Figura 3-18)

Nivel de Perjuicio	4 h [%]	1 h [%]	3 min [%]	1 seg [%]
Nada perjudicial	0,00	0,00	50,00	85,71
2	0,00	0,00	23,81	7,14
3	0,00	2,38	14,29	2,38
4	0,00	7,14	2,38	4,76
5	2,38	26,19	2,38	0,00
6	7,14	23,81	4,76	0,00
Sumamente perjudicial	90,48	40,48	2,38	0,00

Tabla C-21. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción, para clientes Industriales (Figura 3-19)

Nivel de Perjuicio	4 h [%]	1 h [%]	3 min [%]	1 seg [%]
Normal	0,00	4,44	24,44	57,78
Declina <10%	0,00	11,11	40,00	28,89
Declina del 11-25%	0,00	15,56	11,11	4,44
Declina del 26-50%	15,56	13,33	2,22	2,22
Declina del 51-75%	24,44	13,33	6,67	2,22
Declina del 76-99%	35,56	26,67	11,11	2,22
Declina del 100%	24,44	15,56	4,44	2,22

Tabla C-22. Niveles de declinación de actividad/producción ante una interrupción, para clientes Comerciales (Figura 3-20)

Nivel de Perjuicio	4 h [%]	1 h [%]	3 min [%]	1 seg [%]
Normal	0,00	2,38	73,81	90,48
Declina <10%	0,00	4,76	7,14	4,76
Declina del 11-25%	2,38	7,14	2,38	2,38
Declina del 26-50%	7,14	9,52	4,76	2,38
Declina del 51-75%	2,38	23,81	7,14	0,00
Declina del 76-99%	57,14	42,86	4,76	0,00
Declina del 100%	30,95	9,52	0,00	0,00

Tabla C-23. Nivel de satisfacción de los clientes Industriales con la compañía eléctrica
(Figura 3-21)

Nivel de Satisfacción	Cant. de Empresas
Muy insatisfecho	2
Insatisfecho	7
Algo insatisfecho	12
Indiferente	11
Algo satisfecho	4
Satisfecho	9
Muy satisfecho	0

Tabla C-24. Nivel de satisfacción de los clientes Comerciales con la compañía eléctrica
(Figura 3-22)

Nivel de Satisfacción	Cant. Empresas
Muy insatisfecho	0
Insatisfecho	3
Algo insatisfecho	8
Indiferente	13
Algo satisfecho	11
Satisfecho	7
Muy satisfecho	0

ANEXO D: ANALISIS DE RESIDUALES

INDICE DE FIGURAS

Figura D-1. Grafica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria de la alimentación.....	121
Figura D-2. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria de la alimentación.....	121
Figura D-3. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la alimentación.....	121
Figura D-4. Grafica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria metalúrgica.....	122
Figura D-5. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria metalúrgica.....	122
Figura D-6. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria metalúrgica.....	122
Figura D-7. Grafica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria cerealera.....	123
Figura D-8. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria cerealera.....	123
Figura D-9. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria cerealera.....	123
Figura D-10. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para la industria frigorífica.....	124
Figura D-11. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria frigorífica.....	124
Figura D-12. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria frigorífica.....	124
Figura D-13. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.....	125

Figura D-14. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.	125
Figura D-15. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.	125
Figura D-16. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para otras industrias.	126
Figura D-17. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para otras industrias.	126
Figura D-18. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para otras industrias.	126
Figura D-19. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de alimentos.	127
Figura D-20. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios venta de alimentos.	127
Figura D-21. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios venta de alimentos.	127
Figura D-22. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – supermercados.	128
Figura D-23. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – supermercados.	128
Figura D-24. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – supermercados.	128
Figura D-25. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de combustibles.	129
Figura D-26. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – venta de combustibles.	129
Figura D-27. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – venta de combustibles.	129
Figura D-28. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.	130

Figura D-29. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.	130
Figura D-30. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.	130
Figura D-31. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de artículos de construcción.	131
Figura D-32. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios venta de artículos de construcción.	131
Figura D-33. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios venta de artículos de construcción.	131
Figura D-34. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para otros comercios.	132
Figura D-35. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para otros comercios.	132
Figura D-36. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para otros comercios.	132

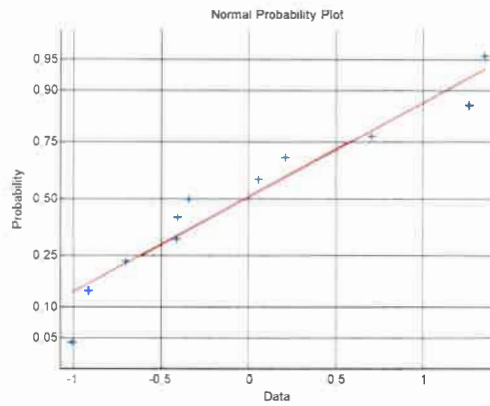


Figura D-1. Gráfica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria de la alimentación.

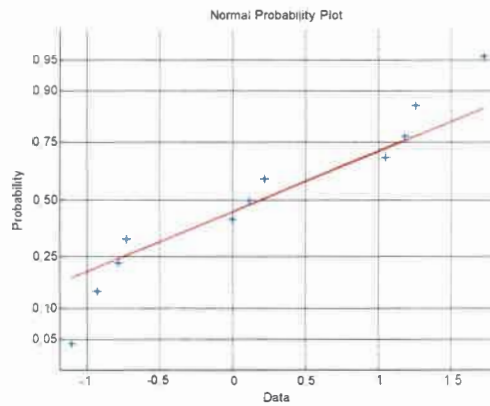


Figura D-2. Gráfica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria de la alimentación.

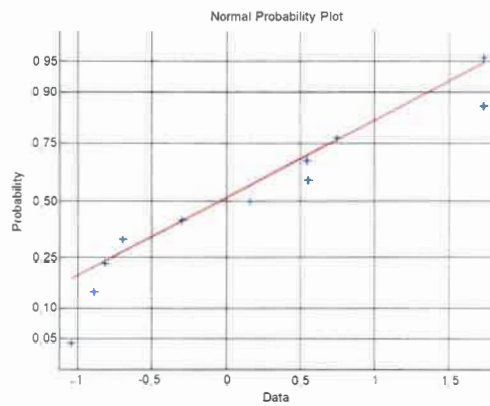


Figura D-3. Gráfica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la alimentación.

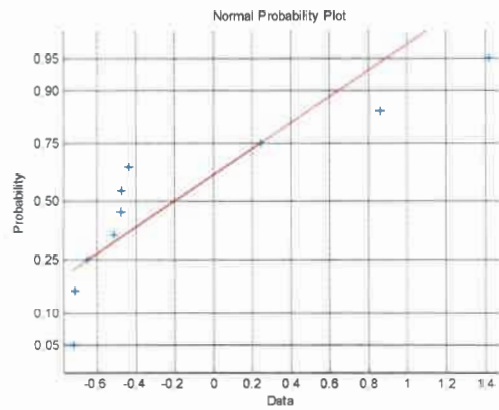


Figura D-4. Gráfica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria metalúrgica.

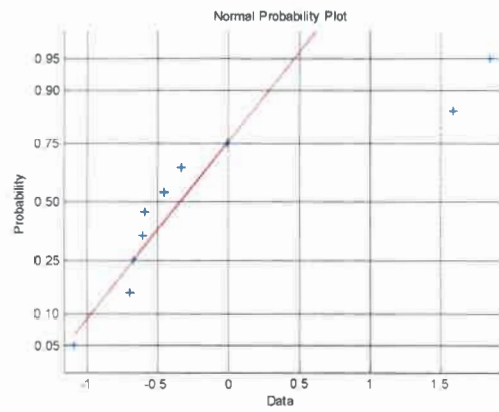


Figura D-5. Gráfica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria metalúrgica.

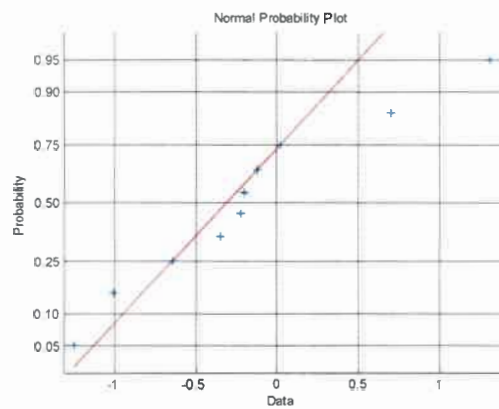


Figura D-6. Gráfica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria metalúrgica.

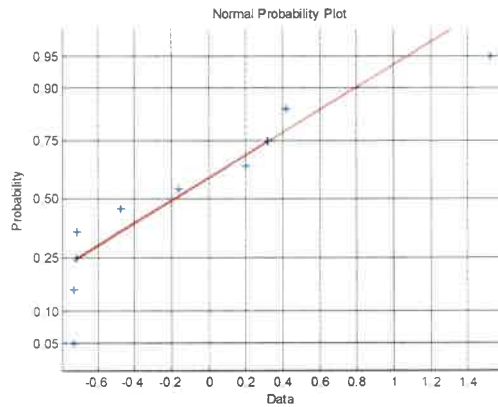


Figura D-7. Grafica de residuales, interrupción de 3 min de duración, para la industria cerealera.

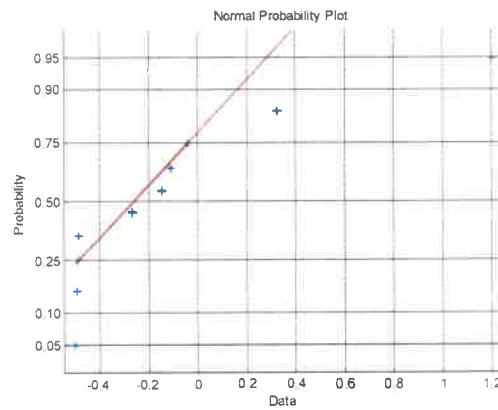


Figura D-8. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria cerealera.

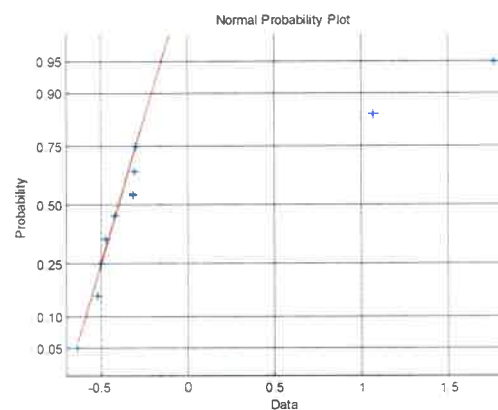


Figura D-9. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria cerealera.

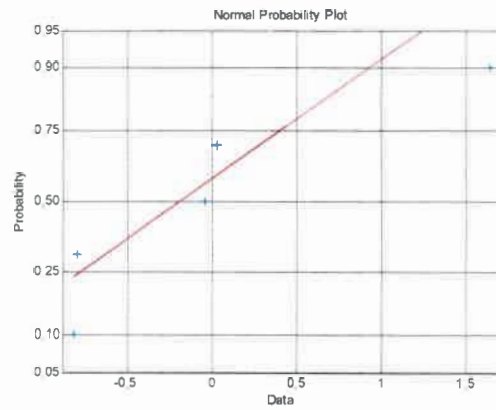


Figura D-10. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para la industria frigorífica.

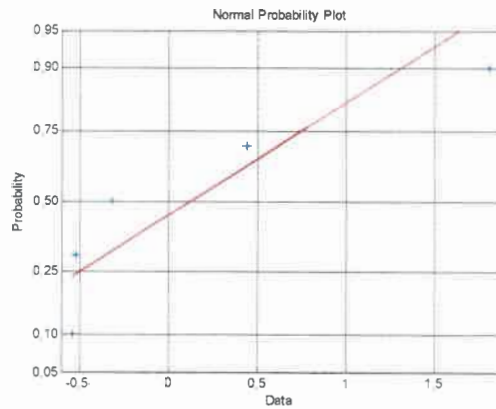


Figura D-11. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para la industria frigorífica.

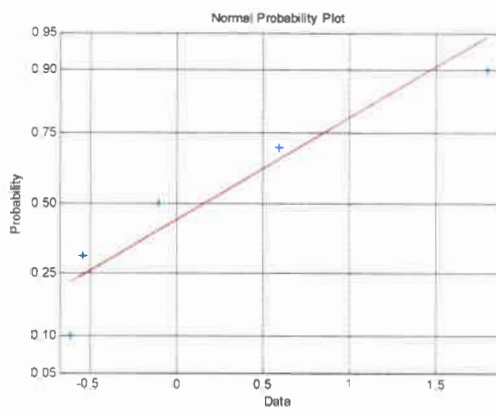


Figura D-12. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria frigorífica.

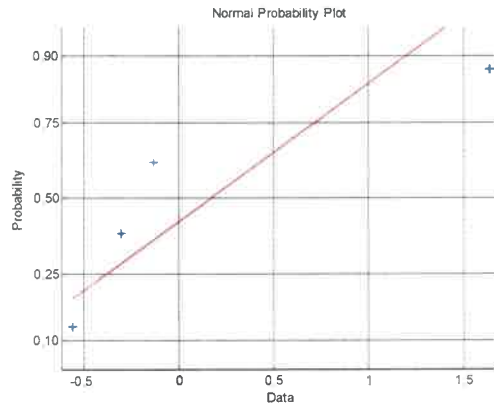


Figura D-13. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.

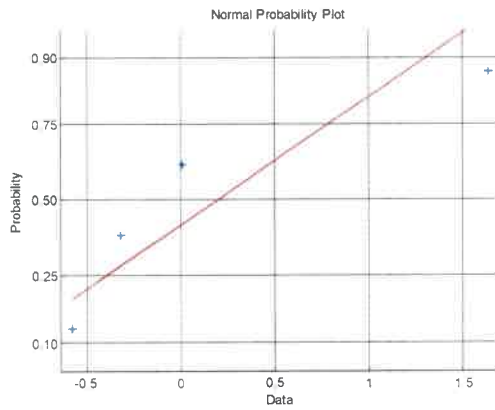


Figura D-14. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.

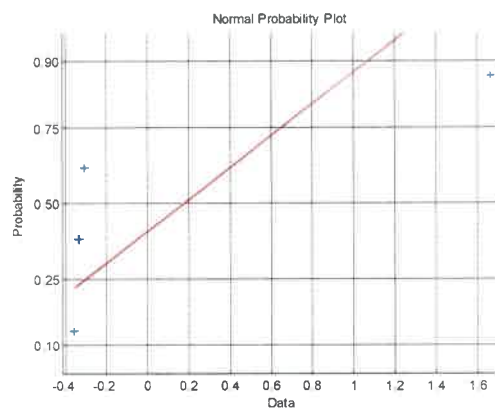


Figura D-15. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para la industria de la construcción.

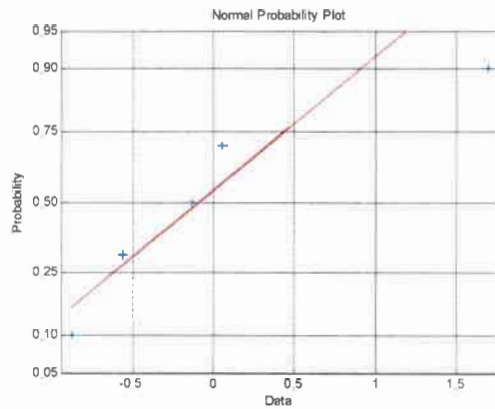


Figura D-16. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para otras industrias.

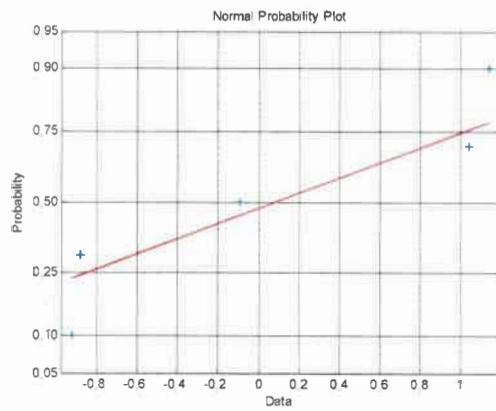


Figura D-17. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para otras industrias.

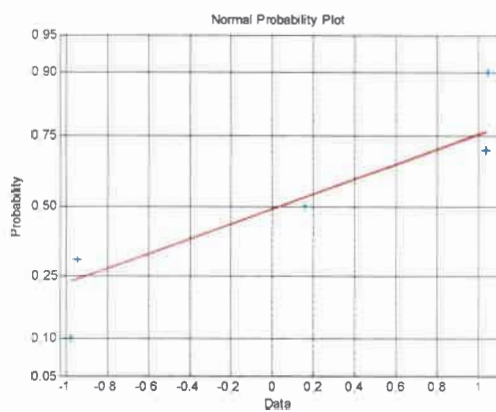


Figura D-18. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para otras industrias.

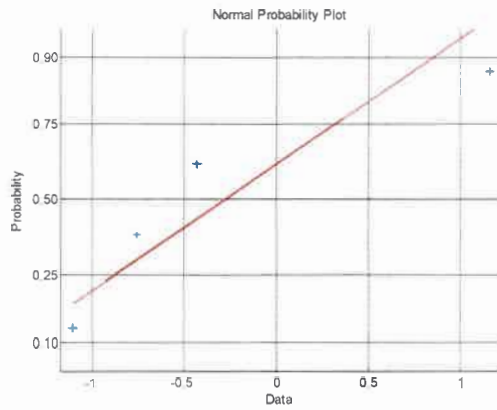


Figura D-19. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de alimentos.

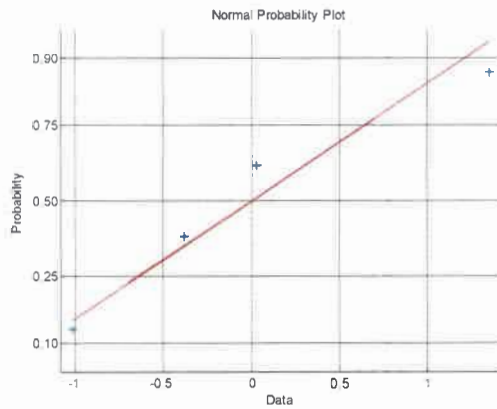


Figura D-20. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios venta de alimentos.

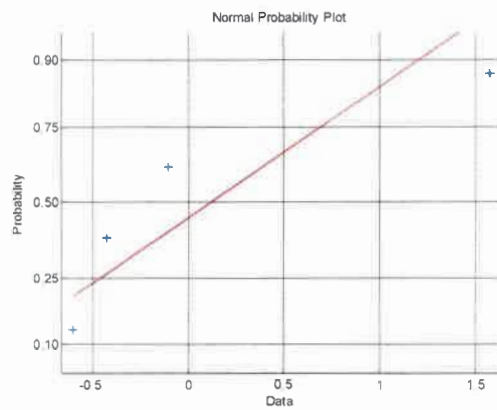


Figura D-21. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios venta de alimentos.

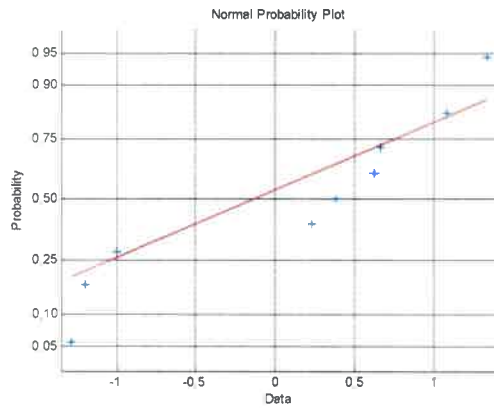


Figura D-22. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – supermercados.

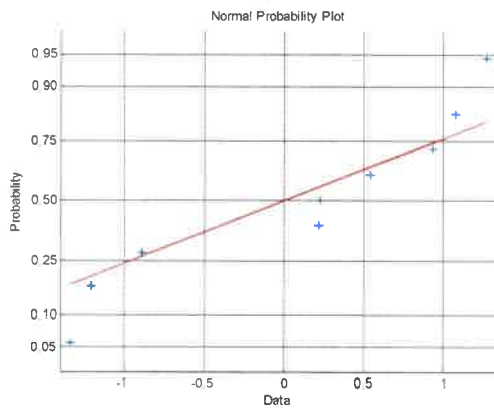


Figura D-23. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – supermercados.

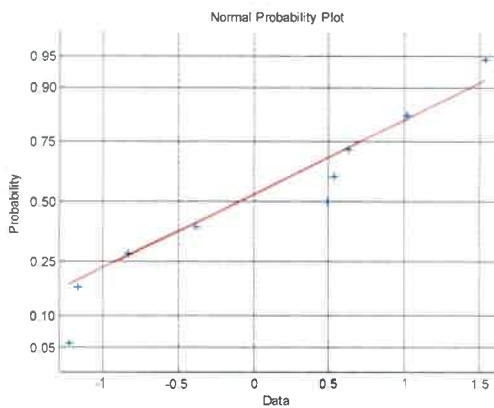


Figura D-24. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – supermercados.

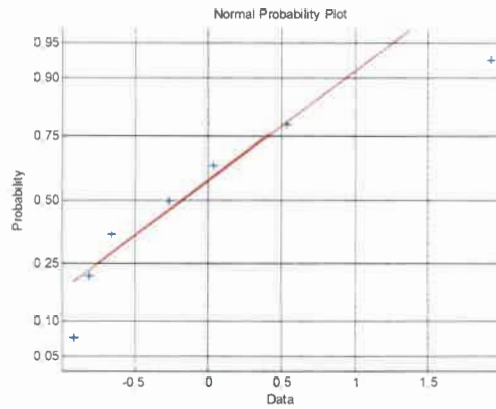


Figura D-25. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de combustibles

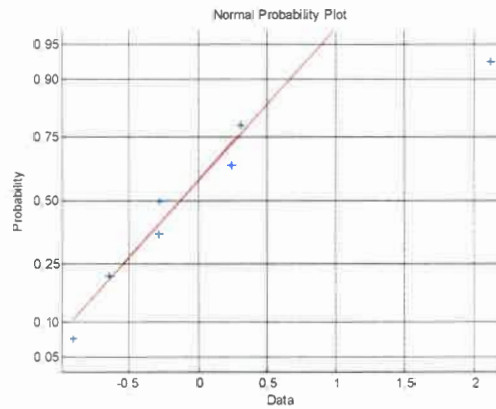


Figura D-26. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – venta de combustibles.

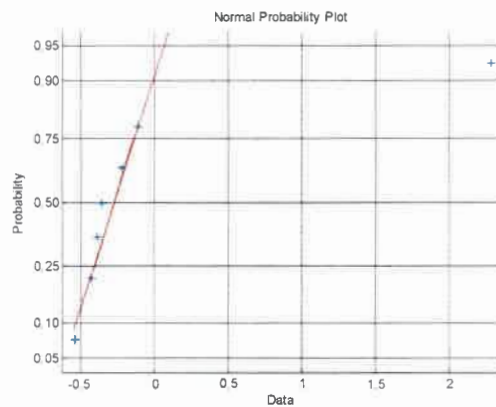


Figura D-27. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – venta de combustibles.

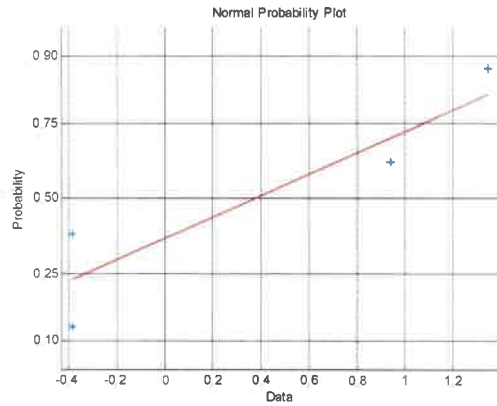


Figura D-28. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.

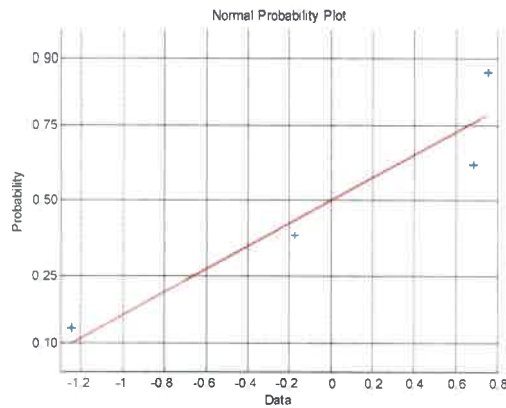


Figura D-29. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.

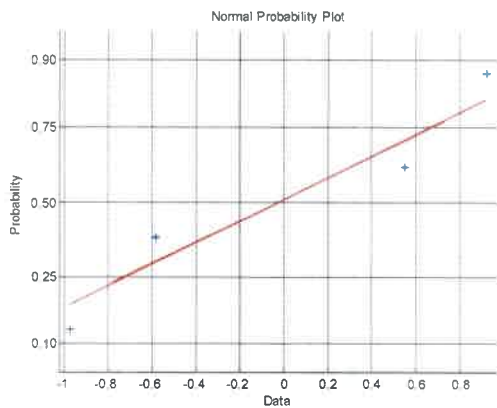


Figura D-30. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios – venta de artículos del hogar.

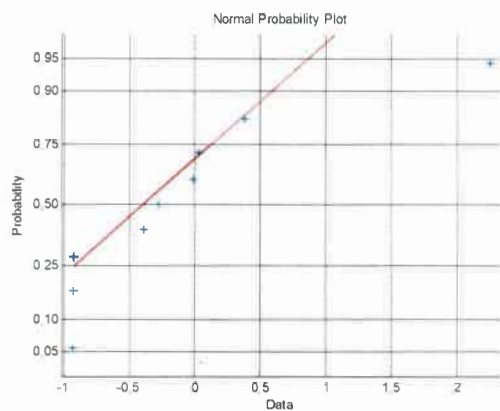


Figura D-31. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para comercios – venta de artículos de construcción.

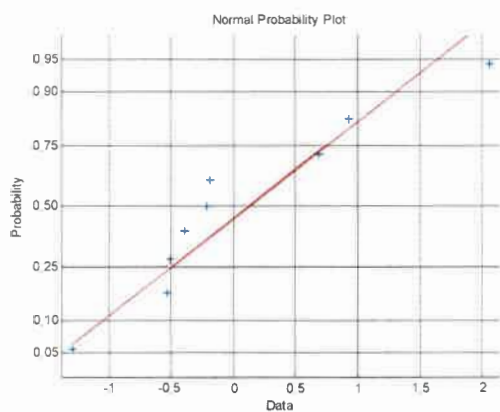


Figura D-32. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para comercios venta de artículos de construcción.

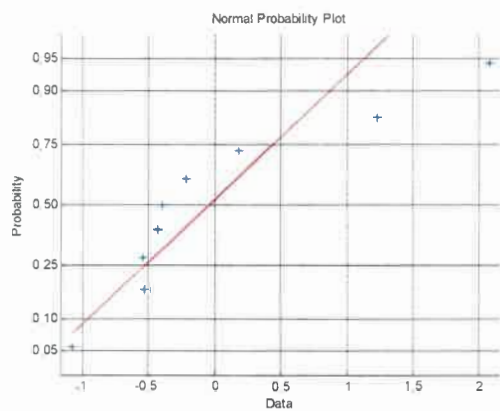


Figura D-33. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para comercios venta de artículos de construcción.

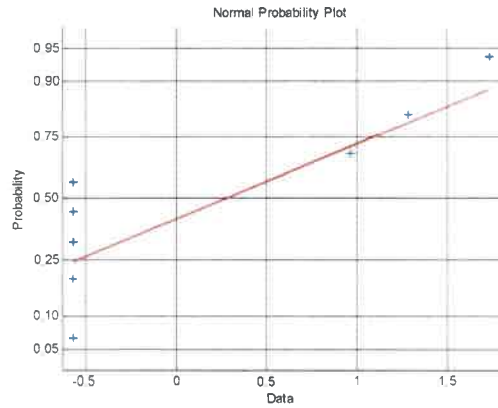


Figura D-34. Grafica de residuales, interrupción de 3min de duración, para otros comercios.

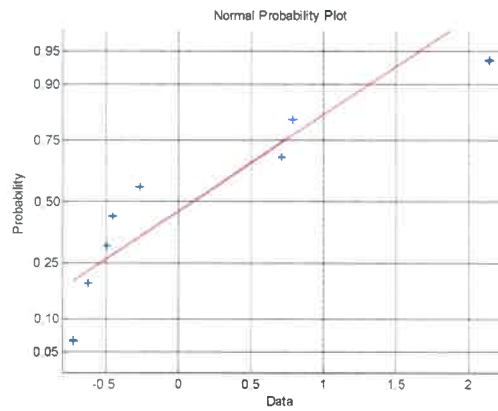


Figura D-35. Grafica de residuales, interrupción de 1h de duración, para otros comercios.

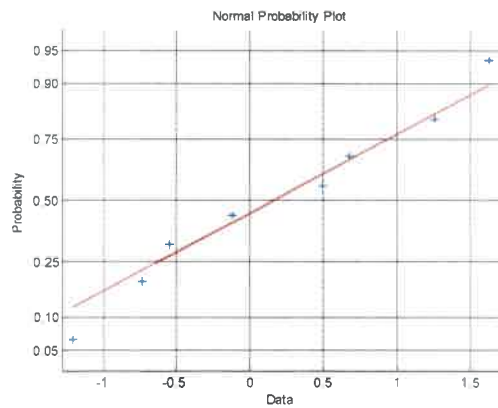


Figura D-36. Grafica de residuales, interrupción de 4h de duración, para otros comercios.

ANEXO E: PUBLICACIONES

ANEXO E-1: EVALUATION OF POWER INTERRUPTION COSTS

Evento: Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica – SICEL 2011

Título de la Publicación: "**Evaluation of Power Interruption Costs**"

Año de Publicación: 2011

Lugar de edición: Asunción - Paraguay

Nombre de la Revista/Journal: SICEL 2011, ISBN 978-958-761-047-5

Idioma de publicación: Ingles

Evaluation of Power Interruption Costs

J. D. Carmona, J. C. Gómez
National University of Rio Cuarto, Argentina.

Abstract-- Day by day the use of electricity is more important to human activity, in commercial, industrial and residential applications. Hence, problems of Power Quality are increasingly significant. Their existence leads to the creation of a regulatory framework for the purpose of monitoring and improving this aspect. In our country, Argentina, this action of power quality control is carried out by penalties and rewards for those who are the cause or who suffer its effects, respectively. It is necessary to have appropriate means and methods to identify the different types of problems in electrical systems and also to quantify them in monetary values, that is the cost of losses due to power quality issues. This work aims to determinate the cost of power outages by a direct assessment to who actually suffers the effects of energy lacking, which is the customer. The value of this work, roots in its contribution to the investigations which determine money losses suffered by customers, due to the poor quality of the received energy. Such costs, and hence the contribution obtained from this research, could be taken into account in future regulations and/or in investment plans of utilities and companies that use sensitive equipment. Through this research a methodology for estimating the cost of power outages to customers in several types of industries is presented. The model is applied and validated in a particular case: for the customers of Cordoba Provincial Power Company (EPEC) located in the Zone Delegation "F" of Rio Cuarto.

Keywords: Interruption Costs, Commercial and Industrial Customers.

I. INTRODUCTION

A modern power system must satisfy load and energy requirements, not only from an economic standpoint, but also provide certain levels of quality and safety. It is usual to measure the quality of the service, in terms of acceptable values of frequency and voltage, and security, according to the ability to provide an uninterrupted power supply under certain levels of reliability [1].

The companies involved in the generation and distribution of electricity, especially those that provide distribution services (utilities), are obliged to respect certain minimum standards of quality and service. Maintaining these levels in a certain range involves high investments. In general, it must be achieved an optimum balance between investment and security, which corresponds in theory to minimize the overall cost of investment and operation and failure cost [2].

A continuous power supply is an aspect of quality of the electricity service, which is described by literature as reliability of supply. When the continuity of supply fails, that is, when the supply voltage disappears at the point of connection, it is said that there is an "interruption". The definition given in EN 50160 [3] is that there is a power supply interruption when the voltage is below 1% of the

nominal voltage at any stage. Each interruption is characterized by its duration. EN standard 50160 considers that long interruptions are those which duration exceeds three minutes, short interruptions are those below three minutes also considered rather as an issue of wave quality.

On the other hand, IEEE standard 1159 [4], defines as short interruptions those who are momentary and temporary. Considering momentary interruptions to those where there is a total loss of voltage (<0.1 pu) for one or more phases with durations between half a cycle and three seconds, and temporary to those where there is a total loss of voltage (<0.1 pu) for one or more phases which duration is between three seconds and one minute. Meanwhile, it defines long or sustained interruptions to those where there is a total loss of voltage (<0.1 pu) for one or more phases which duration exceeds one minute.

In the definitions given by EN 50160 and IEEE 1159, there is no unanimity in either the magnitude or the duration of interruptions.

An interruption of power supply can be a big economic loss for those consumers affected by the interruption.

The cost of power supply interruption is the extent of the economical and/or social damage in monetary values which are suffered by consumers, when energy is not supplied.

An unsatisfactory supply of electricity to the user represents a much bigger value than the price of the energy not supplied, because of the negative social and economic costs of supply restriction.

The interruption cost is difficult to be valued because of several factors that influence in it [5]. The value of the interruption cost can vary significantly depending on different factors such as the magnitude of the failure, duration of the interruption, type of affected user, frequency of interruptions, voltage level of the affected, time, day and season of failure occurrence.

In Argentina, the quality of electricity began to be regulated after the enactment of the 24065 Law of Electric Power, in 1992 [6]. Looking specifically at the concession contracts of the electrical distribution service, such as those established in Gran Buenos Aires and Gran La Plata, regulated by the National Electricity Regulator (ENRE) [7]. The National or Provincial government is who assumes the task of enforcing the contract between the distributors with their own customers.

In concession contracts it is provided the application of fines and penalties against failure of the utilities in order to provide a service with quality levels that were previously defined as satisfactory (or minimum acceptable). So, there are fines and penalties for deficiencies in the service to individual

customers, which aim at least to compensate them for economical damages.

The purpose of economic fines is to direct the investments of the distribution to the benefit of customers, in terms of improving the quality of public service delivery of electricity.

However:

Are the penalties representative of the actual damages suffered by the customer?

Obviously not, since the compensation is calculated in proportion to the Not Supplied Energy (NSE), which in most cases is not representative of the actual losses suffered by the customer [8].

From this, arises the further question:

How much does each power outage actually cost to the customer?

A quantitative answer to this question is the main objective of this research. So, it will be developed a methodological model to qualify and quantify the cost of a power failure to the user, *as closer to the reality of our country as possible*.

The current state of the methods for estimating the cost of power outages in the world and the few developments made in our country, indicate the need for a comprehensive survey of existing tools for estimating the cost. An analysis of the literature shows that among the methods used to value the costs of interruptions are mainly used the following principles: 1) Methods based on theoretical economic models, which estimate certain ratios included in the model, 2) Direct Methods where the primary tools are surveys of the customers, making a further analysis of the obtained information, and 3) Particular Methods of some utilities, where the cost of not supplied energy comes from a joint analysis with the costs and the expansion plan for the company.

II. EVALUATION METHODOLOGY

Selection of the methodology to be used

From the literature it is possible to establish the advantages and disadvantages of different methodologies. In this research the Direct Methodology is selected, because in a preliminary basic analysis it was concluded that the application of surveys is the most appropriate way to obtain a correct estimation of the cost of power outage, in addition to providing relevant information.

Direct method

It lies primarily in conducting surveys to the customer in order to find out the interruption cost. It also generates additional information which gives solidity to their evaluation. So, it is possible to create, with proper preparation of the survey, a comprehensive database of the cost of failure for different types of customers, for several durations of interruptions, for different types of interruption, and so on.

The development of this tool dates back to 1969, when a Swedish committee on cost of power outage, conducted the first survey. Since that, there has been a strong impetus to the

use of this methodology. Between 1964 and 1984 major developments have taken place in the following countries: Canada (1979/1984), Finland (1979), Denmark (1981), Sweden (1982), and England (1979) [9]. In addition important efforts have been done in Brazil, Egypt, France, Saudi Arabia and the U.S. Without any doubt, Canada is among the leaders in the development of direct methods [10], [11], [12], [13], [14]. A study published by the members of the Group of Power Systems Research, at the University of Saskatchewan presented the results of a series of surveyed customers in different sectors [15]. This study was jointly developed by seven Canadian utilities.

A good estimation of the interruption cost consist in know how the client would afford electricity supply interruptions, considering different failure situations (frequency and duration, season and time, etc.), if the customer has backup equipment systems (stand-by systems), and costs associated with the interruption [10], [13].

Kariuki made a study covering the northwest of England, including four customer segments: residential, commercial, industrial and large industrial. The structure of the survey is based on a comprehensive set of tools developed by the University of Saskatchewan under the patronage of the CEA (Canadian Electrical Association) [16], [17]. The same author in conjunction with Allan, presented results of a study conducted by UMIST (University of Manchester). This research was conducted in 1992 with the support of three utilities. The authors prepared a set of generic data that can be used in a reliability evaluation [18].

A large study made by Sullivan, to the Duke Power Company in the U.S. is one of the works which shows the results for both, interruptions of various lengths and short interruptions and voltage sags, carried out for industrial and large commercial customers [19]. The same author showed the decline in costs as a result of a previous warning [20]. A study in the MidAmerican Energy Company, a distributor of the Midwestern U.S. shows the results of the cost of interruption to customers in several industries, respondents in 2002 [21]. The authors show that the results indicate clearly that the values and types of costs incurred by industrial and commercial customers due to interruptions can be used in planning studies of the power company.

Another study analyzed, was carried out by for the CEIDS (Consortium for Electric Infrastructure to Support a Digital Society) to EPRI (Electric Power Research Institute) aimed to obtain a final estimation of the direct costs caused by power disturbances in the trade of the U.S., in relation to the digital economy, continuous manufacturing processes and essential services [22].

III. EVALUATION OF THE DIRECT METHOD BASED ON A SAMPLE

The selected methodology, as it was previously signaled, obtains information directly from the sectors affected by the application of surveys and subsequent analysis of the data.

Then, it is obtained the value of the interruption cost.

The cost of the interruption is closely related to the different customer activities, which depend on the power supply continuity. This dependence is a function of the particular customer and interruption characteristics, such as customer type, discontinued operations, size of client operations, demand and energy requirements, energy dependence according to the time of occurrence, day of week and season, duration, frequency of interruptions, if a previous warning is given or not, the nature of the warning, if the interruption is localized or widespread. For each scenario, the responses of skilled people provide information about the expected costs for lost production or sales, damage to equipment, labor costs etc.

The customer surveys can be carried out in several ways: via mail, telephone, internet or personal interviews. Finally, the format and content of the questionnaire can easily be assembled to focus on relevant issues and get the needed information.

In the developing of this tool is a huge boost to the methodology, being Canada among the leaders in the development of the direct methodology. Part of the reported works in many countries is listed in the bibliography.

This work relies heavily on referring to these publications, mainly to the work of Billinton, in order to obtain a surveys structure to provide comparable results.

A. Analyzed sectors

A review of the literature reveals that the research on the cost of power outages have led covering four consumers sectors: residential, commercial, industrial and large industrial (Although there are studies that show results for other sectors, such as agriculture).

Surveying these four sectors in our country is completely valid, and the utilities discriminate the customers in those sectors.

Due to the magnitude of energy use and increasing dependence on electrical and electronic equipment, commercial and industrial customers are increasingly affected by the reliability and power quality provided by the utilities. They experience losses as result of power outages and problems of power quality which are literally in higher orders of magnitude than those of smaller customers [20]. Therefore, it is important to consider their requirements directly in engineering design and in the evaluation of operational alternatives that affect their service.

For these reasons this work was carried out analyzing the small-medium commercial and industrial sectors. Customers are in the Area "F" of EPEC, within the Large Customers category (Fee No. 3 high demands), as well as General Services (Fee No. 2). In subsequent works, residential and large industrial customers will be studied, because they are not found in the analyzed area.

B. Making the surveys

The task of formulating the survey was reduced primarily to a process of analysis of the literature, interpretation of the basis of the results shown, an adaptation and complementation, for setting the questions that were part of the surveys for commercial and industrial sectors as was mentioned.

After a first arrangement of the surveys, adapting them to the reality of our country and especially in the area of application, an assessment was made on a small sample, which allowed a final adjustment of the content of the questions.

The content of the surveys was developed in two parts. The first was aimed at obtaining general information, being composed of an introduction that allowed the respondent to know the purpose of the study, how it was developed and the confidentiality of data provided by them. Then, it was established a series of questions for the purpose of obtaining data to characterize the company.

The second part was aimed at valuing the costs of power outages. It started with a set of instructions to complete the survey and seven questions to determine how the customer is affected by power outages: number of experienced interruptions in a year, how affects the interruption durations, how damaging is the outage depending on the season and a qualitative question about the satisfaction provided by the utility. Subsequently, a series of questions were made in the following scenarios:

- 1st Case: An interruption of 1 second, starting at 9.00am on a Friday summer without a previous warning.
- 2nd Case: An interruption of 3 minutes, starting at 9.00am on a Friday summer without a previous warning.
- 3rd Case: An interruption of 1 hour, starting at 9.00am on a Friday summer without a previous warning.
- 4th Case: An interruption of 4 hours, starting at 9.00am on a Friday summer without a previous warning.

For 3rd and 4th cases it was added a question at the end of each event, asking the respondent in what percentage losses decrease if there is a previous warning of the interruption, with an advance of 24 hours.

For each scenario, with specific questions, several measures of the impact of the interruption were accounted:

- ✓ Percentage and time period in activities reduction
- ✓ Production losses
- ✓ Costs
- ✓ Saving

Then, it was searched: number of hours and days of the week in which activities are developed, amount of electricity bills paid in different seasons, use of standby equipment.

C. Data Harvest

From a list of customers provided by the delegation Zone "F" of the Provincial Power Company of Cordoba (EPEC) it

was selected a representative sample, according to consumption levels of each client. To carry out the surveys it was decided to make a personal visit to each company and/or business, contact the more skilled person to answer the questionnaire, which was informed of the scope of the study and the way of doing it. At the same time it was obtained preliminary data on the operation of the installation and problems with electricity supply. Surveys of interruption costs for industrial and commercial customers were conducted in 2007 and there were distributed a total of 107 surveys.

D. Data Classification

The sample was stratified by the type of business (commercial or industrial) and the supply voltage (Low or Medium Voltage).

Some of the customers surveyed were unwilling to provide detailed costs for the interruption by its category, preferring to provide total estimated costs of interruption for each scenario. Others, perhaps due to problems of energy supply, provided too high values which were far from the reality and the type of company. Then, nine surveys were discarded, leaving a usable sample of 87 surveys (91% of the initial sample). Table I shows the distribution of customers with the number of surveys received.

TABLE I
RESPONDENTS USER DISTRIBUTION

CUSTOMERS	NO. OF SURVEYS		
	DISTRIBUTED	REJECTED	FINAL SAMPLE
INDUSTRIAL	49	47	45
COMMERCIAL	58	49	42
TOTAL	107	96	87

The costs of interruptions were obtained using the following formula [19]:

Interruption costs = net value of lost production by the interruption + costs associated with the interruption - interruption related savings.

The value of lost production is equal to expected customer revenue without interruption minus the revenue due to interruption. In simple terms, this amount is the decrease in revenue from the company that would occur as a result of the interruption. Normally, this amount is the cost of the product (sales or service) that could not be produced due to the interruption minus the value of some production that would be done through extra time (overtime) or additional rotations.

Costs associated with the interruption, are those costs incurred directly due to the interruption. These include the following:

- ✓ Costs of salaries and days paid without working
- ✓ Labor costs to restart production (cleaning, maintenance etc.)
- ✓ General costs to make up the production
- ✓ Costs of damaged materials
- ✓ Cost of physical damage to facilities or equipment of the plant
- ✓ Cost of reprocessing material

- ✓ Operating cost of reserve generation equipment

The savings associated with the interruption are all the costs avoided as a result of the interruption. The savings that can occur as a result of a power outage include:

- ✓ Cost of raw materials not used due to the interruption
- ✓ Cost of unused electric energy and fuel
- ✓ Cost of unpaid salaries to workers during the interruption
- ✓ Scrap value of damaged materials.

In addition to information regarding the estimated costs that customers would experience as a result of interruptions described above, it was obtained detailed information concerning the activities, products, processes, and critical or sensitive equipment in each company. On the other hand, it was identified the existence of backup systems and in what percentage it was able to satisfy the electrical charges during an interruption, with its operating costs (when it was known).

IV. RESULTS

Using data obtained, a detailed analysis of the several cost components was carried out to determine the customer's total cost for many types of interruptions. Costs vary by the characteristics of the interruption (duration, time, season etc). Depending on the size of establishment, type of industry or business processes involved or type of used technology, the cost for a particular breakdown also varies greatly from one client to another. It was praised the impact of these factors on the cost of interruption for the client, using data from the surveys. For the purpose of displaying a present interruption cost value, the reported ones were affected by the Price Index Producer Basic (IPP) and Power Manufactures item reported by the INDEC (National Institute of Statistics and Censuses of Argentina). For all the values calculated in this work it was assumed a exchange rate of **1.00USD = ARS 4.10**.

The most outstanding results can be found below.

Cost of interruption in terms of duration.

The net cost to each customer against an interruption, was obtained from the estimates made by respondents to incur specific costs (lost production/sales, idle labor, etc) in some percentage of their production losses/sales which could be recovered later and some possible savings, such as unused materials, energy or fuels not consumed.

TABLE II
MEDIUM, MINIMUM AND MAXIMUM COSTS OF THE INTERRUPTION

DURATION	1 SEC.	3 MIN.	1 HOUR	4 HOURS
MEDIUM COST [USD]	288	463	1,215	2,844
MIN [USD]	0	0	0	378
MAX [USD]	5,674	5,846	17,247	17,401

In Table II, besides the mean value, it has been included the minimum and maximum values for each duration, showing for example that for an interruption of one hour where the

average interruption cost value was USD 1,215, the minimum individual cost was USD 0, while the maximum cost for the same duration was USD 17,247.

Figure 1 shows different percentage levels of costs for dissimilar interruption durations of all surveyed customers. The most striking detail which can be seen in this figure is that 62% of the customers does not experienced any interruption costs for a second, while about 18% does not have costs for a three minutes interruption. Only a percentage close to 2% said that they did not suffer interruption costs for one hour and all respondents reported experiencing costs for a four hours interruption.

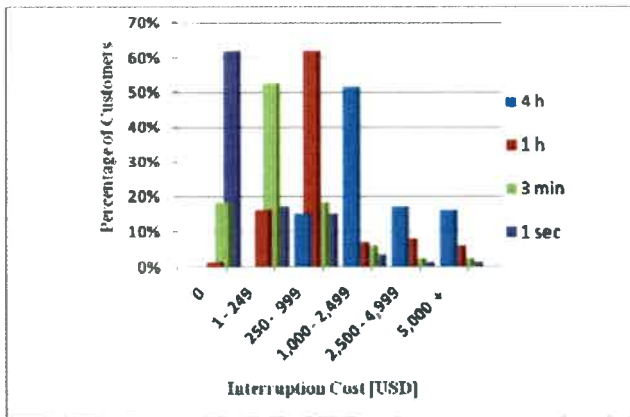


Figure 1. Distribution of costs of interruptions depending on the duration

The distribution of Figure 1 shows that about 70% of customers experienced costs less than USD 250 for three minutes, while for one hour a percentage of about 83% experiences costs below USD 1,000. Regarding to interruptions for four hours, about 18% of customers experienced costs over USD 5,000 and a small percentage of about 2% showed values above USD 15,000, producing on these cases, equipments damage.

Standardization of the cost of interruption

A standard procedure for understanding the impact of costs to compare with others obtained from different utilities and regions, is to create a measure referred to the maximum demand (kW peak) and another referring to the annual energy consumption (kWh per year). The costs estimated for each respondent were normalized by the annual energy consumption of each user [$\$/kWh$] and respecting to annual peak demand [$\$/kW$]. For both data groups, commercial and industrial, the primary dependent variable is the total net cost of interruption based on the event. In most cases, information was available on demand and consumption for each customer, through copies of the electricity bill (requested in the survey) and the rest of the information was requested to the utility. Dividing the cost of interruption event by kW or kWh value, the errors tend to be smoothed and there is less variability between one value and another.

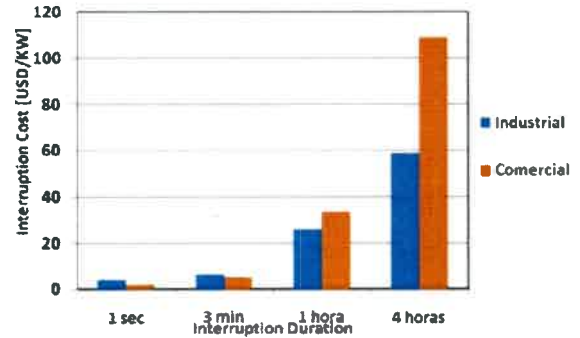


Figure 2. Interruption average costs estimated in [USD/kW] vs. interruption duration

Figure 2 represents the values of the costs of interruptions against their duration expressed in [USD/kW] and in the same way, Figure 3 shows it in [USD/kWh]. As it was expected, in both figures it can be seen that for short durations (1 sec. and 3 min.) ratings obtained for the industrial sector are higher than those for commercial sector. Meanwhile, for 1 to 4 hours the situation is completely the opposite, becoming significantly higher the estimated values of the cost of interruption referred to the demand or consumption, for the commercial sector. For explaining this, it is necessary to analyze individual components of costs and savings which were asked for respondents against an interruption. Savings are relatively lower than the costs values for the four proposed scenarios. Against interruptions between 1 sec. and 3 min., the main contribution to total cost is provided by damaged equipment and processes recovery losses (damaged materials, reset time and processes stabilization), especially for industrial customers. Instead, commercial customers are not affected by those interruptions, because their processes are highly recovered.

For long interruptions, between 1 to 4 hours, the most important component of the total cost of interruption is represented by production, sales or services losses. Commercial processes are difficultly reset against this kind of interruptions and sometimes they are postponed or cancelled, increasing significantly the costs with outage duration.

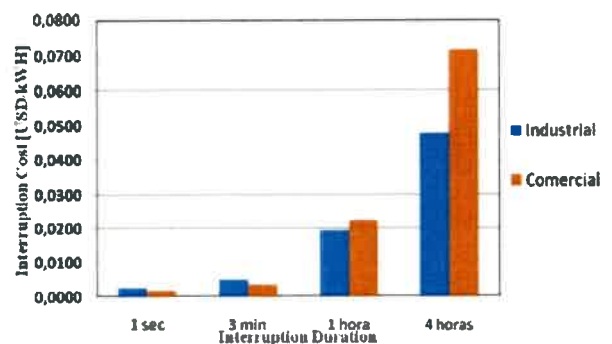


Figure 3. Interruption average costs in [USD/kWh] vs. interruption duration

Comparison of interruption cost.

Very few published studies in other parts of the world contain details of the data obtained from the cost of

interruption. Studies made at the University of Saskatchewan [15], at the University of Manchester (UMIST) [18] and the report of the company MidAmerican [21] presented by Sullivan and others, are the most comprehensive and detailed publications of the cost of interruption for customers from Canada, U.K. and U.S. respectively. Figure 4 provides a comparison of the estimated costs of the interruption between the three studies mentioned above and the work done for customers of EPEC in Río Cuarto, which are represented by the respective functions of damage to the industrial customer.

The standard cost of interruption, is presented in USD / kW (peak-demand U.S. Dollars), and the curves originated from the data of the respective publications, updated by inflation rates in each country (Statistics Canada, Bureau of Labor Statistics U.S., and U.K. Office for National Statistics).

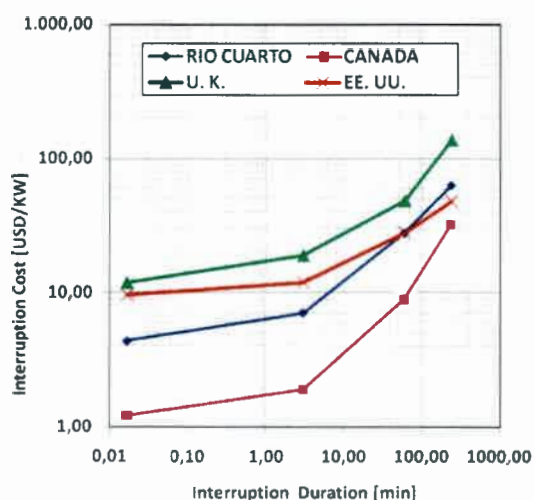


Figure 4. Comparison of the functions of damages for industrial customers.

The curves in Figure 4 show relatively lower levels of estimated costs of interruption for the study of Canada, for each duration of the interruption under analysis. The curve obtained in this work done for customers of EPEC Río Cuarto, represents intermediate estimations between the values estimated in studies of U.S. and Canada, for durations less than one hour. Values are almost equal with obtained in the study in the U.S. at the point of an hour (about 27 [USD / kW]) and then the curve has a higher slope, reaching values above 25% for four hours. Meanwhile, for all durations of the interruption a higher definite trend for the curve is shown in the estimated costs of interruption, obtained by UMIST.

Likewise, a similar comparison is shown in Figure 5 for the damage functions of commercial customers. In this case, the estimated values for the cost of interruption, in USD/kW, show a higher tendency for all durations of the interruption in the U.S. study. Meanwhile, the lowest levels were noted for the research in Canada and the United Kingdom.

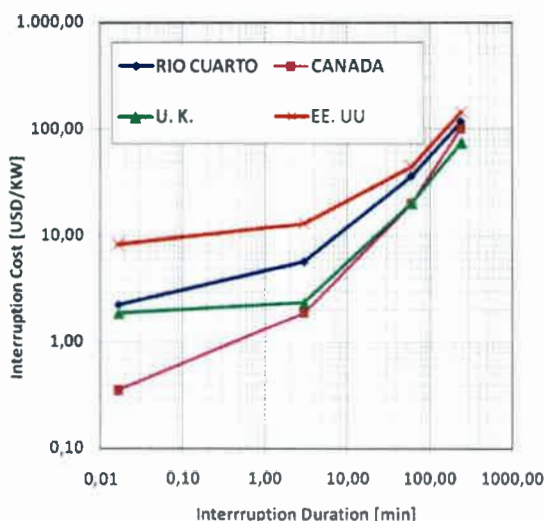


Figure 5. Comparison of the functions of damage for commercial customers

Other Results

For the purpose of a better understanding of the cost of interruptions for the individual client, there were a series of questions to know the company and to know how the interruption impacts in the commercial and industrial operations. Main data from respondents is shown below.

a. Number of employees

It is observed that most of the companies surveyed have less than 20 employees, representing 71% of the total, as can be seen in Figure 6. In that figure it can also be seen that only 3% are over 100 employees. Among the respondents were not companies with less than five and no more than two hundred employees.

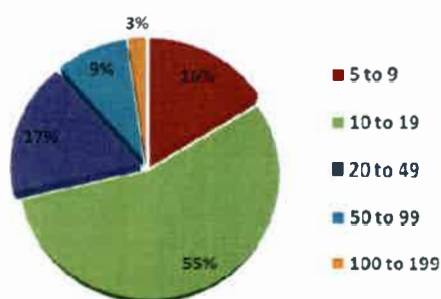


Figure 6. Distribution of employees in the surveyed companies

b. Frequency and duration of the interruption

An average value of 12.95 interruptions for a typical year was reported by respondents. Figure 7 shows these variations and it can be seen that the higher percentage say they have experienced between 6 and 10 outages in a representative year. 13% reported having suffered more than 20 interruptions

and the other 12% have experienced between 1 and 5 outages in a typical year. No response was zero interruptions.

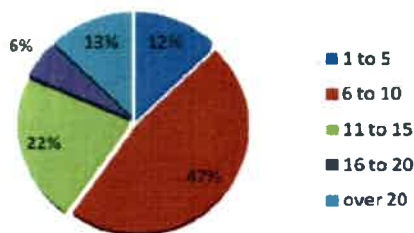


Fig. 7 Percentage of customers in function of the number of interruptions experienced in a typical year (Average value = 12.95)

The results of the surveys have also shown that the most common durations of interruptions experienced were those which represent the ranges that go from three minutes to one hour with 41%, and interruptions of more than one hour with approximately 30%, as it is shown in Figure 8. A slightly smaller percentage than 30% has experienced interruptions less than three minutes of duration. This represents an important point, because for durations of less than three minutes are not considered statistically as interruptions in our country, according to the local regulations [6].

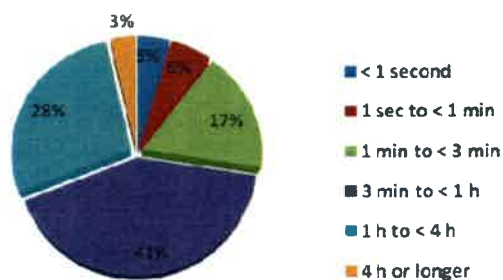


Figure 8. Mean durations in a typical year.

c. Impacts on Activity/Production

The first, second and third questions for each stage of interruption, were formulated with the intention of determining how each interruption impacts on the production or customer activity. To assess how damaging was the interruption to the business/company it was posed to the respondent a scale of levels that ranged from 1 to 7, corresponding to one "Not damaging" and seven to "highly damaging". Figure 9 shows the results as a percentage of total responses for each level, according to the duration of the interruption. We can see in this graph that 67% of respondents said that the interruption of a second in duration was not damaging, and smaller percentages respondents had some level of damage with this event. For a duration of three minutes, about 80% reported low levels of damage, where about 30% said that the interruption was not damaging. About 78% of respondents reported having high levels damage (between five and seven) to interruptions of one hour and

about 85% of the sample responded that the interruption was highly prejudicial to their activities when suffering an interruption of four hours.

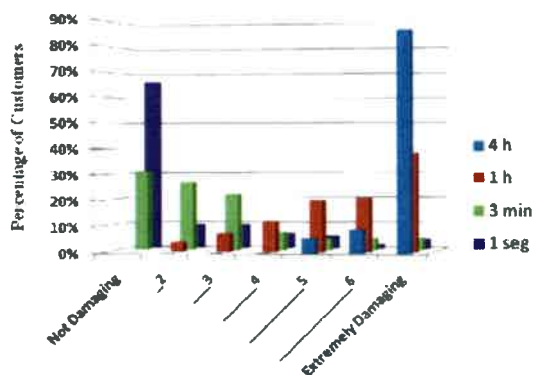


Figure 9. Level of damage in function of interruption duration

An important point to determine the impact of interruption to the customer is to know how much are their activities stopped after the interruption. Figure 10 shows the results of how much they lose of activity or production reducing as a result of the interruption. Seen this figure, 74% of responses were that the activity continued normally with an interruption of one second, 48% said the same for a duration of three minutes and only 4% said that their activities continued normally with an interruption of one hour.

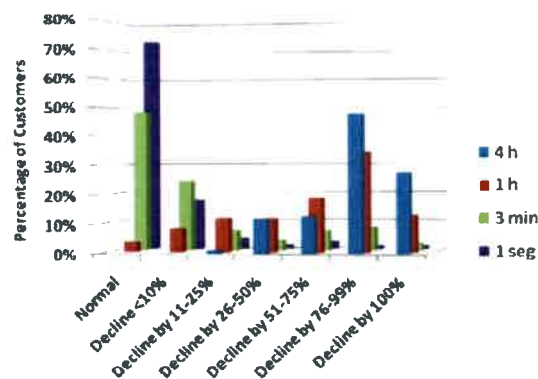


Figure 10. Levels of declination of activity/production when occurs an interruption

Obviously, the biggest drop in activity or production reduction occur for longer durations of the interruption, showing that a declination of 76-99% was reported on 35% and 47% of respondents, for durations of one to four hours respectively.

d. Customer satisfaction

For purposes of determining the level of customer satisfaction with electric company, they were inquired about how they were generally satisfied with the reliability of electric service according to their experience and the type of

information that the company gave them about an outage. The results are shown in Figure 11.

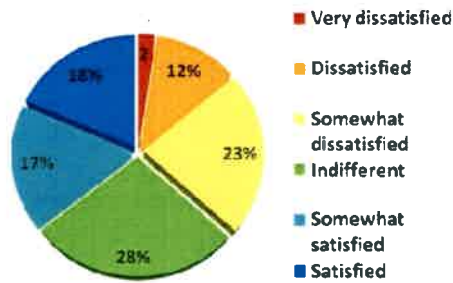


Figure 11. Level of customer satisfactions with the electrical company

Levels range from very dissatisfied to very satisfied. According to that, 28% were indifferent, 35% showed some degree of satisfaction and 37% reported some level of dissatisfaction, showing only 2% being very dissatisfied.

V. CONCLUSIONS

This study presented the results of surveys of customers of an utility in central Argentina.

This paper showed the reformulation of the direct method. Comparable costs of power outages results were obtained, with data from a relatively small sample and the results are broadly encouraging.

One important contribution of this effort is that attention to methodology in the design of the survey questionnaires is necessary for success results, but also for comparison to other similar studies.

Outages total costs obtained are higher for industrial costumers than for commercial ones in case of short interruptions. Instead, occurs the opposite when long duration outages take place.

Standardized values of interruption costs can be applied to reliability studies.

Finally, the results provide sufficient information in the future to develop a predictive model of the costs of power interruptions.

VI. ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the cooperation provided by EPEC customers who participated in the surveys and used their valuable time to complete them.

VII. REFERENCES

- [1] Pandey M., Billinton R., "Reliability Worth Assessment in a Developing Country – Commercial and Industrial Results". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, Nº 4, November 1999
- [2] Kariuki K. K., Allan R. N., "Applications of customer outage costs in system planning, design and operation". IEEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, Nº 4, pp. 305-312, July 1996
- [3] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999

- [4] IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE New York, USA, June 2009.
- [5] Billinton R., Wangdee W., "Approximate Methods for Event-Based Customer Interruption Cost Evaluation". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, Nº 2, pp. 1103-1110, May 2005
- [6] Ley Nº 24065 de ENERGIA ELECTRICA, Argentina, Diciembre 1992.
- [7] Contratos de Concesión del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica con EDENOR S.A., EDESUR S.A. y EDELAP S.A., Argentina, 1992.
- [8] Langset T., Trengereid F., Samdal K., Heggset J., "Quality dependent revenue caps – a model for quality of supply regulation". Electricity Distributions, Contributions CIRED 16th International Conference and Exhibition IEE, Vol. 6, Jun 2001
- [9] Ribier Abbad J., "Calidad del Servicio. Regulación y Optimización de Inversiones", Cap 3 Revisión Internacional de las Regulaciones de Calidad, Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 1999.
- [10] Wacker G., Billinton R., "Customer Cost of Electric Service Interruptions". Proceedings of the IEEE, Vol. 77, Nº 6, pp. 919-930, June 1989.
- [11] Subramanian R. K., Billinton R., Wacker G., "Understanding Industrial Losses Resulting from Electric Service Interruptions". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, Nº 1, pp. 238-244, Jan/Feb 1993.
- [12] Billinton R., Chan E., Wacker G., "Probability distribution approach to describe customer costs due to electric supply interruptions". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, Nº 6, pp. 594-598, Nov 1994
- [13] Ghajar R., Billinton R., Chan E., "Distributed nature of residential customer outage costs". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, Nº 3, August 1995.
- [14] Kog P., Billinton R., Wacker G., "Costs of electric power interruptions in the agricultural sector – Stactical analysis". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, Nº 4, pp. 1432-1438, Nov. 1991.
- [15] Tollefson G., Billinton R., Chan E. and Aweya J., "A Canadian Customer Survey to Assess Power System Reliability Worth". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, Nº 1, pp. 443-450, Feb. 1994.
- [16] Kariuki K. K., Allan R. N., "Assessment of customer outage costs due to electric service interruptions residential sector". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, Nº 2, pp. 163-170, March 1996
- [17] Kariuki K. K., Allan R. N., "Factors affecting customer outage costs due to electric service interruptions". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, Nº 6, pp. 521-528, Nov. 1996.
- [18] Kariuki K. K., Allan R. N., "Evaluation of reliability worth and value of lost load". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, Nº 2, pp. 171-180, Mar 1996.
- [19] Sullivan M. J., Vardell T., Johnson M., "Power Interruption Costs to Industrial and Commercial Consumers of Electricity". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, Nº 6, pp. 1448-1458, Nov/Dec 1997.
- [20] Sullivan M. J., Vardell T., Suddeth B. N., Vojdani A., "Interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectation for Service Reliability". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, Nº 2, pp. 989-995, May 1996.
- [21] Chowdhury A.A., Mielnik T.C., Lawton, L.E., Sullivan, M.J., Katz, A., Koval, D.O., "System reliability worth assessment using the customer survey approach". Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE, Vol. 4, pp. 2162 – 2167, Oct. 2004.
- [22] EPRI "The cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies". www.epri.com/ceids, 2001.

**ANEXO E-2: EVALUATION OF POWER INTERRUPTION COSTS FOR
INDUSTRIAL AND COMMERCIAL SECTORS IN ARGENTINA**

Evento: Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica – SICEL 2013

Título de la Publicación: **"Evaluation of Power Interruption Costs for Industrial and
Commercial Sectors in Argentina"**

Año de Publicación: 2013

Lugar de edición: Medellín - Colombia

Nombre de la Revista/Journal: SICEL 2013, ISBN 978-958-761-047-5

Idioma de publicación: Ingles

Evaluation of Power Interruption Costs for Industrial and Commercial Sectors in Argentina

J. D. Carmona, J. C. Gómez
National University of Rio Cuarto, Argentina.

Abstract-- Day by day the use of electricity is more important to human activity, in commercial, industrial and residential applications. Electrical Power Business has significantly changed in the last 30 years. A considerable change in the structure and electric power system operation can be seen throughout the world. In spite of an unbundled and competitive electric market, problems of power quality are increasingly significant. Their existence has led to the creation of a regulatory framework for the purpose of monitoring and improving this aspect. In Argentina, power quality control is carried out by penalties for those who break the laws and with rewards for those who respect the normative. Regardless of its psychological effects, preventing power outages presents a vital importance due to its severe effects on economy. Therefore, since it has so many motivating factors, studying and estimating the outage costs has been an attractive and popular field of study in the recent years.

It is necessary to have appropriate means and methods to identify the different types of problems in electrical systems and also to quantify them in monetary values, that is the cost of losses due to power quality issues. The main purpose of this work is to develop a proper mathematical model to be able to reach a conclusion and to make estimations about customer's outage costs and also to give large power consuming customers an idea about these losses. At this point, it is described a way to find out an almost linear model for this problem. The value of this work is based on its contribution to the investigations which determine money losses suffered by customers due to the poor quality of the received energy. Such costs, and hence the contribution obtained from this research, could be taken into account in future regulations and/or in investment plans of utilities and by companies that use sensitive equipment. Through this research it is presented a methodology for estimating the cost of power outages to customers in several subcategories of industrial and commercial sectors. The model is applied and validated in a particular case: for the customers of Cordoba Provincial Power Company (EPEC) located in the Zone "Delegation F" of Rio Cuarto.

Keywords: Interruption Costs, Commercial and Industrial Customers, Customer Interruption Cost (CIC).

I. INTRODUCTION

A modern power system must satisfy load and energy requirements, not only from an economic standpoint, but also provide certain levels of quality and safety. It is usual to measure the quality of the service in terms of acceptable values of frequency, voltage and security, according to the ability to provide an uninterrupted power supply under certain levels of reliability [1].

The companies involved in the generation and distribution of electricity, especially those that provide distribution services (utilities), are obliged to respect certain minimum standards of quality and service. Maintaining these levels in a certain range involves high investments. In general, it must be

achieved an optimum balance between investment and security, which corresponds in theory to minimize the overall cost of investment and operation and failure cost [2].

A continuous power supply is an aspect of quality of the electricity service, which is described by literature as reliability of supply. When the continuity of supply fails, that is, when the supply voltage disappears at the point of connection, it is said that there is an "interruption".

An interruption of power supply can be a big economic loss for those affected consumers.

The cost of power supply interruption is a sum of economical and/or social damages (in monetary values) that consumers have to afford when energy is not supplied. It is important to highlight that an unsatisfactory supply of electricity to the user represents a much bigger value than the price of the energy not delivered, because of the negative social and economic costs of supply restriction.

The interruption cost is difficult to be valued because of several factors that influence on it [3]. The value of the interruption cost can vary significantly depending on different factors such as the magnitude of the failure, duration of the interruption, type of affected user, frequency of interruptions, voltage level of the affected user, time, day and season of failure occurrence.

While assessing the cost of power outages, there are two main challenges. The first one is the method of collecting the required data that has to be chosen, and the second one is the way of evaluating these data.

Current state of methods for estimating the cost of power outages in the world and the few developments made in our country, indicate the need for a comprehensive survey of existing tools for estimating costs.

II. EVALUATION METHODOLOGY

The most common method that is widely used is customer surveys. Although it is quite expensive, difficult to handle and it requires too much time and effort to collect data, customer surveys are considered to bring the most accurate results [4]. The power outage cost information was collected by a previous study conducted at the National University of Rio Cuarto [5]. In that study, surveyors visited each company and/or business and contacted the more skilled persons to answer the questionnaire. The whole data used in this work is based on the mentioned study. There are two main sectors that are of interest in this work, industrial and commercial areas.

III. APPROACH TO MODELING

Modeling this phenomenon needs to lead to an accurate prediction in order to obtain representative results, that is to

represent even those customers that were not surveyed.

Data of production/sales were weighted by the coefficients of each type of industry/commerce. After that, estimated cost results were plotted. Finally, the formulas of each data series were obtained by means of regression analysis.

Graph characteristics, coefficients and formulas were evaluated and discussed.

A. Modeling analysis

Modeling aims to identify the models that reasonably allow predicting accurately interruption costs for customers who are not directly examined. They are obtained from the information available, through the analysis of a representative sample of customers brought by the company of electricity distribution.

A good estimation of the interruption cost consists in knowing how the client would afford electricity supply interruptions, considering different failure situations (frequency and duration, season and time, etc.), if the customer has backup equipment systems (stand-by systems), and the costs associated with the interruption [6], [7].

According to what it was presented in past works [5], [8], the results of the average value of interruption cost are a function of the interruption nature, the region, and the types of customers who answered certain proposed scenarios. It can be seen that, the combination of customers and interruption characteristics, may substantially vary depending on the variables that are being examined. To adequately manage the diversity of influences, it must be developed a multivariable analysis of customer prejudice. In this way, information of proposed situations and companies' characteristics are used to estimate a general function of the customer prejudice. This function expresses the cost of disruption that customers suffer, both in commercial and industrial areas, depending on the duration of the interruption, starting time, season, and several customer characteristics such as annual consumption, number of employees and other variables.

The ideal conceptual framework to a prior data detailed analysis is statistical regression [8].

Studying and estimating costs of electrical interruptions have been an attractive field of several notorious publications in the last years. However, although there are many studies on reliability cost analysis, the main problem is the inexistence of an accurate and rigid method to estimate the economic performance of a power outage.

B. Proposed Methodology

In order to find a solution and to develop a methodology for estimating power outages cost, it was necessary to answer the following questions:

- What are the consequences of a power outage?
- What is the reliability of energy?

From customers' perspective, reliability is defined as the continuity of the service. Although there are some standards for electrical companies, most customers are interested only in the availability of the service. A relatively small number of customers look for more stringent quality requirements, such as limits on voltage dips and frequency variations. Thus the value of the service continuity, and therefore the cost of a

power interruption, changes from client to client in relation to the needs of every particular one.

Power outage costs increase almost linearly during the first eight hours, and then decrease for longer interruptions, according to a study conducted by the U.S. Energy Department, taken as a first step in the lack of consistent data needed to support a better estimate of the economic value of electricity reliability [9]. In this context, twenty studies were conducted by eight electricity companies between 1989 and 2002, studying representative residential and commercial/industrial groups (small, medium and large ones). In those models, data obtained in the different surveys are incorporated into a meta-database in which each interruption scenario (e.g., power outage for one hour on a summer afternoon from Monday to Friday) is treated as an independent case. In this sense, it is possible to make comparisons between the characteristics of the interruption and to increase the statistical power of the test results, and it cannot be used to estimate the damage to individual companies.

A linear mathematical model for the evaluation of CIC (Customer Interruption Cost) was assumed, since the purpose of this work is to find a simple model for calculating the costs of power outages in Argentina. Taking into account that in distribution systems in our study most of the power outages are less than eight hours (except in exceptional cases), and having cost data for power interruption durations of less than 8 hours, it was only employed the data obtained for 3 minutes, one and four hours durations.

In commercial and industrial branches a significant number of respondents said that the costs of interruptions were equal to zero for one second interruption duration. Consequently, to prevent standard regression techniques produce partial parameter estimates, the cost data obtained for outages of a second in duration were discarded.

C. Modeling design

In this study the data used were based on the paper of reference [5]. In the selected sample there were a total of 87 customers, where 45 were commercial users and 42 were industrial.

Instead of using overall average values, each sector, industrial and commercial, was separately analyzed [8]. In addition, each sector was divided into sub-categories, as follows:

- i) Industrial sub-categories: Food, Metallurgy, Grains, Meat, Construction and other industries.
- ii) Commercial sub-categories: Food, Supermarkets, Fuels, Houseware, Construction, Clothing and other companies.

The main problem in customer surveys, as it was stated in paragraph 2.1.2 b) [5], is subjectivity. Naturally, people and companies tend to exaggerate their losses in case of an interruption event. The Commercial sector analysis and evaluation of the costs of power interruption in Food industries are more difficult than in the Industrial sector. This is due to that the commercial sector does not have a continuous production, and therefore, it is impossible to determine a cost value proportional to production losses.

Moreover, as it was mentioned above, there are many factors that affect the cost of the interruption, like its duration, time of occurrence, character (if unexpected or planned), the size of the company, the season (summer or winter) and, finally, the type of customer (industrial, commercial, residential or agricultural).

According to the analysis in the previous work, it can be seen that the most incident variables, besides the duration of the interruption, are the size of the company and its energy consumption.

For all this, the arithmetic mean is not the most representative value of the cost of the interruption. For the purposes of obtaining more accurate and reasonable results, weight factors were included to consider these variables effects. Logic of weighting factors for the cost of interruptions comes from the data obtained in the survey.

After reaching this conclusion, in order to find the "Estimated Cost", data disruption cost in [USD] were weighted by the coefficients of each type of industry/trade and then normalized to [USD/kWh]. Finally, with the aid of linear regression analysis, it was possible to find the linear formulas for each data series.

The followed steps were:

1) Through the survey, each respondent estimated the outage cost in Pesos, for different periods of time (3 min, 1h and 4h). Then the CDF (Customer Damage Function) is defined as:

Cost reported per hour "x" = (cost estimate for "x" period)

If the expression above is divided by the annual energy consumed by each customer, the result is CDF in [\$/kWh], that is to say:

Reported Cost in [USD/kWh] = (Cost reported per hour "x") / (annual consumption of energy)

This result has a linear trend and can be approximated by the expression:

$$y = a + Bx$$

2) On the other hand, cost estimate is:

Cost estimate for the "x" hour = Weighted Cost for the "x" hour

Cost estimate for the "x" hour = [cost estimate for "x" period] × [W_i]

where [W_i] is the weight matrix.

If the expression above is divided by the annual energy consumed by each customer, the result is another CDF in [USD/kWh], that is to say:

Estimated Cost in [USD /kWh] = (Weighted Cost for the "x" hour) / (annual consumption of energy)

If the linear expression above is analyzed by a simple linear regression model, the variables can be expressed in the form:

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon$$

were:

x: Independent variable (input level)

Y: Dependant variable (output)

ε: Random error (zero mean)

α, β: Regression Coefficients

This means finding $\alpha y \beta$, such that Y can be estimated from the realization of the variable x, through a linear function.

In following sections, for all the sub-categories proposed for the industrial and commercial sectors, it is presented the results of the CIC, reported cost and estimated cost, as well as linear formulas for each data series which have been found with the help of linear regression analysis.

IV. RESULTS

Using the obtained data, a detailed analysis of the several cost components was carried out to determine estimations about customer outage costs, for different subcategories by type of industry or business. For all the values calculated in this work it was assumed an exchange rate of **1.00USD = ARS 4.55**.

The most outstanding results can be found below.

A. Interruption costs estimate for Industrial sector

A.1 Food industry.

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0111	0.0234	0.0459
Estimated cost [USD/kWh]	0.0121	0.0203	0.0404

Table 1. Interruption Costs for a Food Industry

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.98180686
Determination coefficient R ²	0.96394472
R ² Adjusted	0.92788944
Typical error	0.00463046

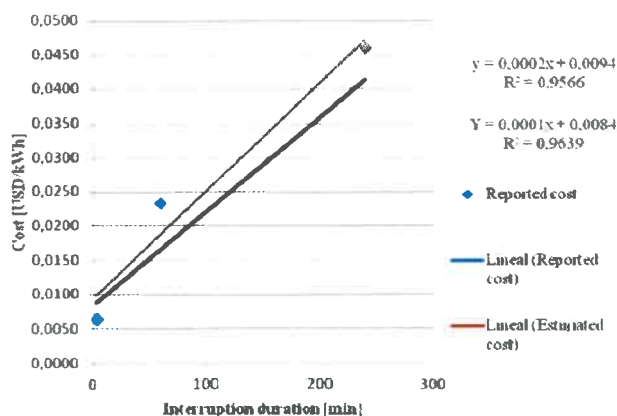


Figure 1. Interruption Costs for Food Industry in USD/kWh of annual energy.

A.2 Metallurgy Industry

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0116	0.0459	0.1117
Estimated cost [USD/kWh]	0.0123	0.0496	0.1171

Table 2. Interruption Costs for a Metallurgy Industry

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99214938
Determination coefficient R ²	0.9843604
R ² Adjusted	0.9687208
Typical error	0.00939554

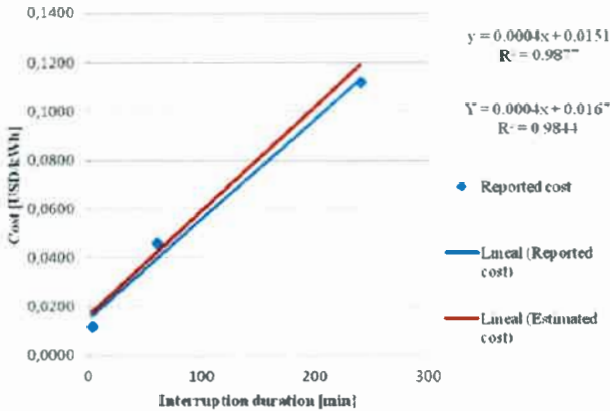


Figure 2. Interruption Costs for Metallurgy Industry in USD/kWh of annual energy.

A.3 Grain Industry.

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0015	0.0041	0.0088
Estimated cost [USD/kWh]	0.0015	0.0037	0.0084

Table 3. Interruption Costs for a Grain Industry

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99700763
Determination coefficient R ²	0.99402421
R ² Adjusted	0.98804842
Typical error	0.00038213

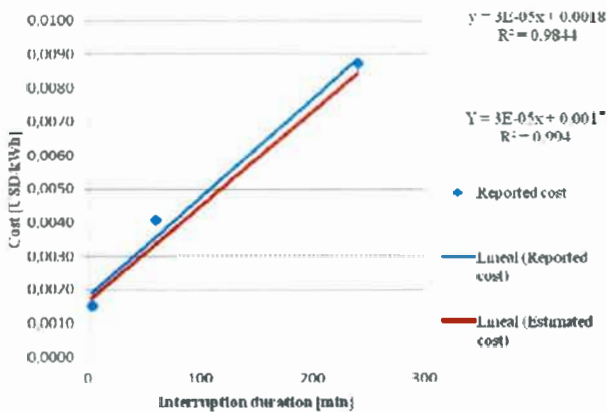


Figure 3. Interruption Costs for Grain Industry in USD/kWh of annual energy.

A.4 Meat Industry.

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0010	0.0029	0.0075
Estimated cost [USD/kWh]	0.0010	0.0025	0.0063

Table 4. Interruption Costs for a Meat Industry

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99866916
Determination coefficient R ²	0.9973401
R ² Adjusted	0.9946802
Typical error	0.00019833

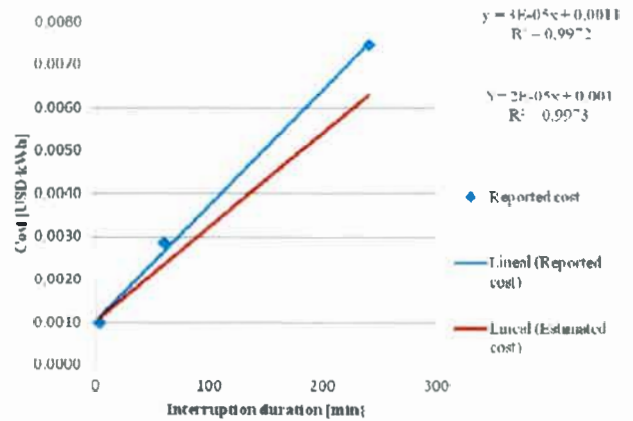


Figure 4. Interruption Costs for Meat Industry in USD/kWh of annual energy.

A.5 Construction Industry.

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0117	0.0440	0.1140
Estimated cost [USD/kWh]	0.0091	0.0350	0.0874

Table 5. Interruption Costs for a Construction Industry

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99527151
Determination coefficient R ²	0.99056539
R ² Adjusted	0.98113077
Typical error	0.00547782

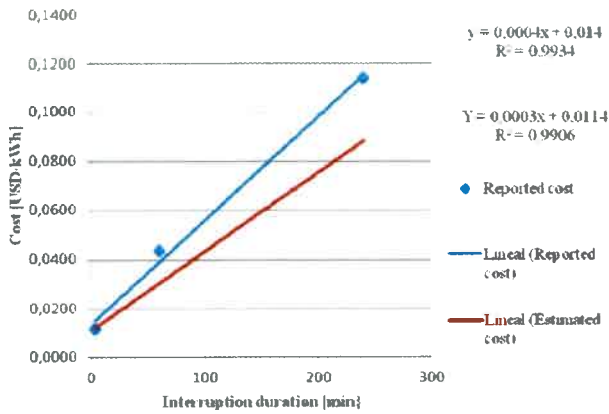


Figure 5. Interruption Costs for Construction Industry in USD/kWh of annual energy.

A.6 Other Industries.

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0020	0.0128	0.0822
Estimated cost [USD/kWh]	0.0019	0.0121	0.0775

Table 6. Interruption Costs for Other Industries

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99424864
Determination coefficient R ²	0.98853037
R ² Adjusted	0.97706073
Typical error	0.00621495

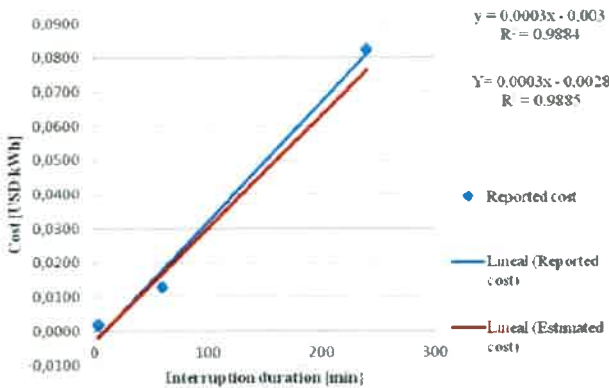


Figure 6. Interruption Costs for Other Industries in USD/kWh of annual energy.

A.7. Cost Estimate Example for an Industry

In a EPEC power supplier station located in the area "F", an unexpected power outage takes place, which lasts an hour and a half. A meat packing plant experiences this interruption. The electricity distributor in that region wants quickly to make a rough estimate of this interruption, knowing that the annual energy consumption of the company is 2,489,990 kWh. Then, what is the cost that the customer has to afford because of the

service interruption?

Data needed to estimate the cost are:

- ✓ Type of industry: Meat Industry
- ✓ Interruption duration: 90 [min]
- ✓ Energy annual consumption: 2.489,990 [kWh]

From the results of previous section for a Meat Industry, CIC is:

Estimated cost: $Y = 0.00002x + 0.001$

where function Y is the cost of power outage and x is its duration.

Therefore:

$CIC = 0.00002 \times 90 + 0.001 = 0.0030$ [USD / kWh]

Expressing it in [USD]:

$CIC = 0.0030$ [USD / kWh] \times $2.489,990$ [kWh] = $=USD 7,501.10$

Since the expression of CIC is known, and that the data of annual consumption of energy are easily accessible, the power distribution company would be able to have an idea about the losses of a particular customer, very quickly.

B. Interruption costs estimate for Commercial sector

B.1 Food shops

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0020	0.0128	0.0822
Estimated cost [USD/kWh]	0.0019	0.0121	0.0775

Table 7. Interruption Costs for Commercial sector – Food shops

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99663033
Determination coefficient R ²	0.993272
R ² Adjusted	0.98654401
Typical error	0.00276371

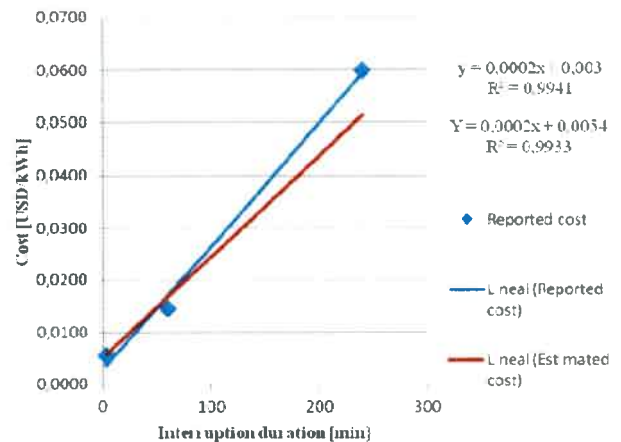


Figure 7. Interruption Costs for a Food Sales Shop in USD/kWh of annual energy.

B.2. Supermarkets

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0003	0.0019	0.0112
Estimated cost [USD/kWh]	0.0003	0.0017	0.0104

Table 8. Interruption Costs for Commercial sector – Supermarkets

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99478944
Determination coefficient R ²	0.98990603
R ² Adjusted	0.97921207
Typical error	0.00081492

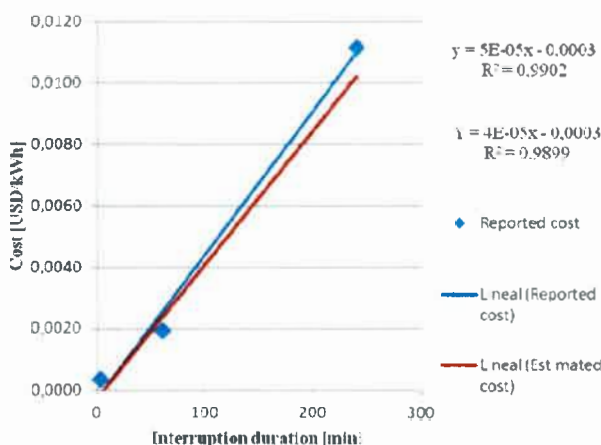


Figure 8. Interruption Costs for a Supermarket in USD/kWh of annual energy.

B.3 Fuels

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0005	0.0016	0.0068
Estimated cost [USD/kWh]	0.0005	0.0016	0.0066

Table 9. Interruption Costs for Commercial sector – Fuels

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99701208
Determination coefficient R ²	0.99403308
R ² Adjusted	0.98806616
Typical error	0.00035707

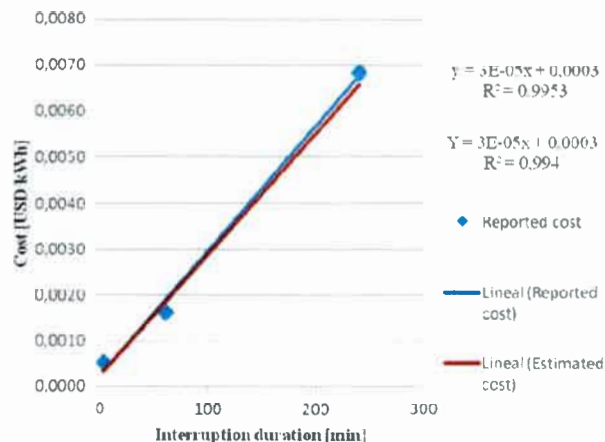


Figure 9. Interruption Costs for Fuels Commerces in USD/kWh of annual energy.

B.4. Household Goods

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0023	0.0264	0.1519
Estimated cost [USD/kWh]	0.0015	0.0270	0.1574

Table 10. Interruption Costs for Commercial sector – Household Goods

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.99683284
Determination coefficient R ²	0.99367572
R ² Adjusted	0.98735143
Typical error	0.00940467

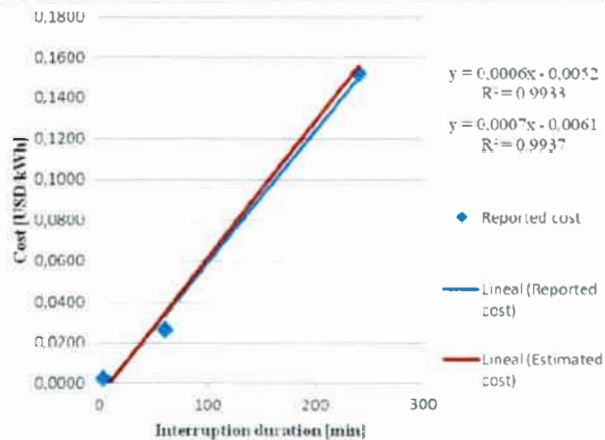


Figure 10. Interruption Costs for Household Goods Shops in USD/kWh of annual energy.

B.5 Construction Items

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0061	0.0513	0.1812
Estimated cost [USD/kWh]	0.0065	0.0472	0.1689

Table 11. Interruption Costs for Commercial sector – Construction items

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.9999611
Determination coefficient R ²	0.9999222
R ² Adjusted	0.99984441
Typical error	0.00110974

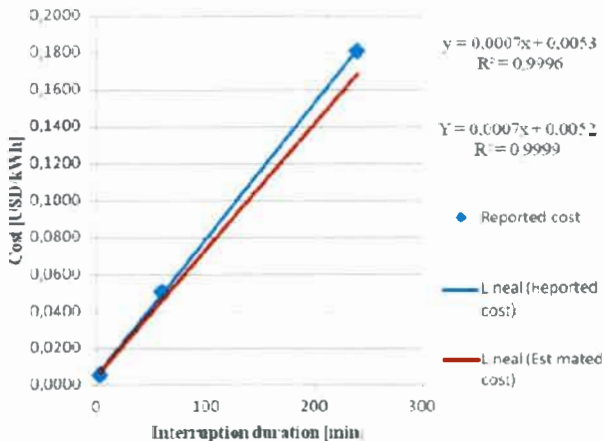


Figure 11. Interruption Costs for Construction Items Shops in USD/kWh of annual energy.

B.6 Clothes

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0012	0.0145	0.0630
Estimated cost [USD/kWh]	0.0015	0.0133	0.0510

Table 12. Interruption Costs for Commercial sector – Clothes

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.9999999
Determination coefficient R ²	0.9999998
R ² Adjusted	0.9999996
Typical error	1.6379E-05

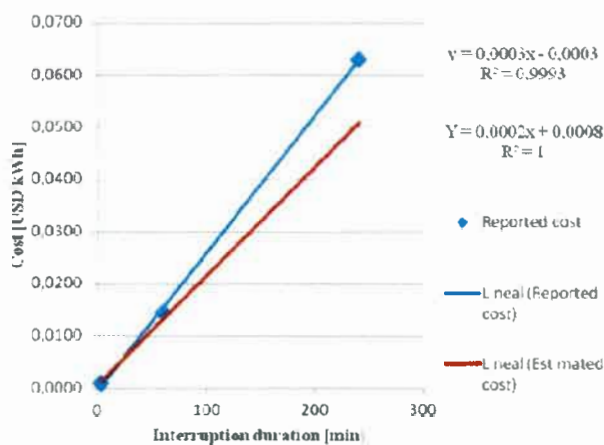


Figure 12. Interruption Costs for Clothes Sales Shops in USD/kWh of annual energy.

B.7. Other Sales

Interruption duration [min]	3	60	240
Reported cost [USD/kWh]	0.0111	0.0645	0.1484
Estimated cost [USD/kWh]	0.0089	0.0603	0.1432

Table 13. Interruption Costs for Commercial sector – Other sales

Regression Summary:

Regression Statistics	
Multiple correlation coefficient	0.98769153
Determination coefficient R ²	0.97553455
R ² Adjusted	0.9510691
Typical error	0.01499345

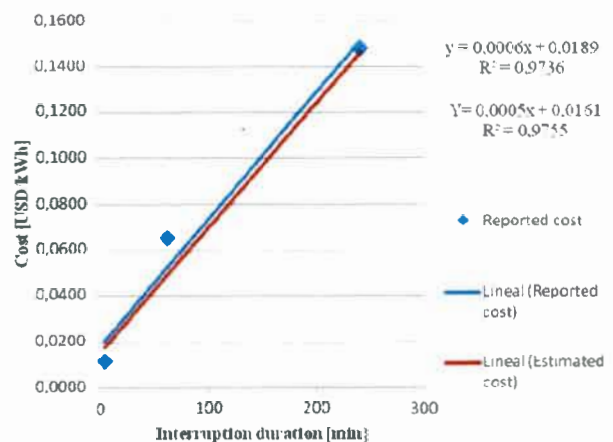


Figure 13. Interruption Costs for other Commerces in USD/kWh of annual energy.

B.8. Cost estimate example for Commercial Sector

A customer, who has a Food Shop, wants to estimate what his losses would be in case of an unexpected power outage, which lasts three hours. An analysis of the service turnover given by EPEC (area "F"), yields an annual energy consumption of 45,000 kWh for this shop.

What is the cost of the power interruption?

Data needed to estimate interruption cost are:

- ✓ Commerce Type: Food Sales
- ✓ Interruption duration: 180 [min]
- ✓ Energy anual consumption: 45,000 [kWh]

From the results of previous section for a Meat Industry, CIC is:

$$\text{Estimated cost: } Y = 0.0002x + 0.0054$$

where function Y is the power outage cost, and x is its duration. Therefore:

$$\text{CIC} = 0.0002 \times 180 + 0.0054 = 0.0414 \text{ [USD / kWh]}$$

Expressed in [USD], it is:

$$\text{CIC} = 0.0414 \text{ [USD / kWh]} \times 45,000 \text{ [kWh]} = \text{USD } 1,863$$

Since the expression of CIC is known, and that the data of

annual consumption of energy are easily accessible, customer would be able to have an idea about his losses, very quickly.

C. Comments

As it was expected, each sector, and, particularly, each sub-category has its own unique characteristics in case of a power interruption. In consequence, it is necessary to separately analyze and estimate the costs of outages. Besides this, the parameters that affect the costs of interruptions for different types of customers, and the effects of these parameters on the estimations, change significantly. As a result, the estimation and calculation of such costs become a difficult task for professionals. To facilitate this process, a methodology based on surveys made to customers has been developed to convert the calculations to estimate the interruption cost with respect to such parameters.

The results of this study are quite simple and easy to understand. When professionals working for an electricity distributor want to know the cost of a power outage for a period of time, they can make use of the expressions presented in this study. As they also know how many and what type of customers are being fed by their power system, they can use the results of interruption costs in planning power delivery for future investments, in the design of new facilities to the reconfiguration of networks and in scheduling maintenance activities.

Moreover, several customers, both industrial and commercial, can easily estimate economic losses in case of an unexpected power outage through the steps shown above.

Making an analysis of the graphical results it is found that the relationship between Reported Cost and Estimated Cost, substantially changes over time within each sub-category. For example, Construction branch exhibited the highest difference with a ratio of 1.3 for a 4 hours interruption. On the other hand, Metal industry ratio was less than 1, in all the studied durations, showing an undervalued Reported Cost. In the commercial sector, the Clothes category represents the highest ratio with a value of 1.24 for an interruption of 4 hours.

V. CONCLUSIONS

This study was based on the results of surveys made to the customers of a public utility in central Argentina, a country of intermediate development. It was shown a summary of the research conducted to determine the perceived cost estimates or losses for commercial and industrial customers, small and medium, who suffered power outages. On one hand, it was quite obvious and normal that reported costs were higher than the actual CIC cost values. But, on the other hand, the results from the analytical method were expected to be far lower than the reported costs. At the end of this analysis that expectation was confirmed. In order to get more reasonable and more accurate data, some weighing factors were sought with the aid of the questions presented to the respondents during the survey.

It is worth highlighting that the interruption cost data can be used in the planning of the power delivery, in the design of new facilities, in network operation and in maintenance

activities. Official departments need to know these results for a correct legislation. And of course, the customers can estimate their true interruption costs in order to see their real losses and to prevent such damages in a future. These facts clearly show the meaning and the importance of evaluating power outage costs.

Interruption costs that have to be afforded by for customers are a key indicator of their expectations to consider in future planning.

The results provided sufficient information to develop a model to predict the cost of power interruptions. The main motivating factor was to find a methodology based on data provided by the customer, which is who really suffers the effects of the power outage. It was necessary to know the size of the company, its peak demand and its annual electricity consumption, which are clear, accurate, easily accessible and what is most important, they are objective.

A linear formula for each sub-category in both sectors was derived for estimating the costs of power outage. The results were compared with average costs reported by surveyed customers.

The methodology exposed in this paper to estimate interruption costs for commercial and industrial sectors (SMEs) in our region, is quite simple, easy to understand and easy to follow. This was clearly shown in the examples developed in the body of this study. Both, utility and customers can use these results to estimate the costs of power outages, in every possible situation, just by following the steps explained above.

VI. REFERENCES

- [1] Pandey M., Billinton R., "Reliability Worth Assessment in a Developing Country - Commercial and Industrial Results", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, N° 4, November 1999
- [2] Kariuki K. K., Allan R. N., "Applications of customer outage costs in system planning, design and operation", IEEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, N° 4, pp. 305-312, July 1996.
- [3] Billinton R., Wangdee W., "Approximate Methods for Event-Based Customer Interruption Cost Evaluation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, N° 2, pp. 1103-1110, May 2005.
- [4] Cigre Task Force, 2001, Methods to Consider Customer Interruption Costs in power.
- [5] Carmona J. D., Gómez J. C., "Evaluation of Power Interruption Costs", VI International Symposium on Power Quality, SICEL 2011.
- [6] Wacker G., Billinton R., "Customer Cost of Electric Service Interruptions", Proceedings of the IEEE, Vol. 77, N° 6, pp. 919-930, June 1989.
- [7] Subramanian R. K., Billinton R., Wacker G., "Understanding Industrial Losses Resulting from Electric Service Interruptions" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 29, N° 1, pp. 238-244, Jan/Feb 1993.
- [8] Sullivan M. J., Vardell T., Johnson M., "Power Interruption Costs to Industrial and Commercial Consumers of Electricity", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, N° 6, pp. 1448-1458, Nov/Dec 1997.
- [9] Lawton L., Sullivan M., Van Liere K., Katz A. and Eto J., "A Framework and Review of Customer Outage Costs: Integration and Analysis of Electric Utility Outage Cost Surveys", Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, LBNL -54365, November 2003.

75212

U.N.R.C.
Biblioteca Central



75212