



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA

---

# **METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE COSTO DE FALLA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS**

**JAIME GUILLERMO VENEGAS CASTRO**

Memoria para optar al título de  
Ingeniero Civil de Industrias  
con mención en Electricidad

Profesor Guía:  
**HUGH RUDNICK VAN DE WYNGARD**

Santiago de Chile, 1994



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
Departamento de Ingeniería Eléctrica

---

# **METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE COSTO DE FALLA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS**

**JAIME GUILLERMO VENEGAS CASTRO**

Memoria preparada bajo la supervisión de la  
Comisión integrada por los profesores:

**HUGH RUDNICK V. D. W**

**RODRIGO PALMA B.**

**ESTEBAN SKOKNIC C.**

**MARCELO GUARINI H.**

Quienes recomiendan que sean aceptada para completar  
las exigencias del título de Ingeniero Civil de Industrias  
con mención en Electricidad

Santiago de Chile, 1994

A mis padres Ana y Jaime por su  
cariño y dedicación y a mis hermanos

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer muy profundamente a todos quienes colaboraron de alguna forma en la realización de la presente Memoria.

En especial quiero agradecer al Dr. Profesor Hugh Rudnick por su continua ayuda, consejos y correcciones, como también por su calidad humana. De igual forma, agradezco a don Esteban Skoknic, por sus correcciones y aportes.

Agradezco también los consejos, amistad y colaboración de Rodrigo Palma

Agradezco a mis amigos por su apoyo, además de a Inés, Mary y Betty.

Finalmente agradezco al proyecto Fondecyt 1930708.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Definición de Costo de Falla .....	2
1.3 Dificultades Presentes en la Medición del Costo de Falla.....	2
1.4 Objetivos de la Memoria .....	3
1.5 Estructura de la Memoria .....	4
II. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL COSTO DE FALLA .....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Metodología Vía Análisis Econométrico .....	7
2.2.1 Análisis global .....	7
2.2.2 Análisis detallado.....	9
2.2.3 Determinación de sectores a considerar.....	9
2.2.4 Sector industrial .....	9
2.2.5 Sector residencial.....	11
2.2.6 Sector comercial .....	11
2.2.7 Restricción selectiva del consumo.....	11
2.2.8 Costo de falla maximizando el bienestar de la población.....	12
2.2.9 Comentarios sobre el desarrollo presentado .....	13
2.3 Metodología Directa.....	14
2.3.1 Costo de interrupción de potencia para el suministro industrial .....	14
2.3.1.1 Método utilizado.....	15
2.3.1.2 Costo de falla para el gran industrial .....	15

2.3.1.3	Potencia interrumpida.....	16
2.3.1.4	Capacidad de reserva .....	17
2.3.1.5	Interrupción planificada.....	17
2.3.1.6	Comentarios respecto del trabajo .....	17
2.3.2	Costo de falla para los sectores residencial, comercial e industrial .....	18
2.3.2.1	Costo de falla del consumidor comercial .....	18
2.3.2.2	Costo de falla del pequeño industrial .....	19
2.3.2.3	Costo de falla para el sector residencial .....	20
2.3.3	Comentarios.....	21
2.4	Elección de la Metodología a Utilizar .....	22
2.5	Desarrollo de las Encuestas .....	23
2.5.1	Revisión bibliográfica.....	23
2.5.2	Justificación de los sectores utilizados .....	24
2.5.3	Formulación de las encuestas .....	26
III.	EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DIRECTA EN BASE A UNA MUESTRA .....	27
3.1	Introducción.....	27
3.2	Encuesta del Sector Residencial .....	28
3.2.1	Introducción .....	28
3.2.2	Exposición y análisis de los resultados.....	28
3.3	Encuesta de los Sectores Comercial e Industrial Menor .....	44
3.3.1	Introducción .....	44
3.3.2	Exposición y análisis de los resultados.....	44
3.4	Cambios Resultantes de las Indicaciones de los Encuestados.....	55
IV	COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES .....	56
4.1	Ventajas, Restricciones y Utilización de los resultados de Metodología Directa.....	56
4.2	Alcances y Limitaciones de los Resultados Obtenidos .....	57
4.3	Resumen y Comentarios de los Resultados.....	57
4.4	Recomendaciones y Desarrollos Futuros.....	63

BIBLIOGRAFÍA .....	65
A N E X O S.....	67
Anexo A : Encuesta para el sector residencial .....	68
Anexo B : Encuesta para el sector comercial .....	79
Anexo C : Encuesta para el sector industrial menor.....	86
Anexo D : Encuesta para el sector gran industrial.....	94
Anexo E : Descripción de las encuestas .....	106
Anexo F : Ejemplo de utilización de valores de la CCDF en planificación y operación de sistemas eléctricos.....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Consumo eléctrico por sectores.....	25
Tabla 3.1 Servicio y precio del suministro eléctrico .....	29
Tabla 3.2 Experiencia pasada en interrupciones de suministro eléctrico .....	31
Tabla 3.3 Grado de indeseabilidad de los efectos de la falta de suministro .....	33
Tabla 3.4 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio del número de interrupciones .....	35
Tabla 3.5 Variación del grado de indeseabilidad según la estación del año.....	36
Tabla 3.6 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio de la duración de las interrupciones. Falla antes de las cuatro de la tarde .....	36
Tabla 3.7 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio de la duración de las interrupciones. Falla después de las cuatro de la tarde.....	37
Tabla 3.8 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio del día de la semana .....	38
Tabla 3.9 Costo de falla según el tipo de interrupción. Para acción preparatoria.....	39
Tabla 3.10 Tasa de incremento según la frecuencia de la falla .....	40
Tabla 3.11 Costo de falla según la frecuencia de interrupción. Estimación en base a tasa de decremento.....	41
Tabla 3.12 Tasa de decremento para una falla de cuatro horas mensuales según la frecuencia de la falla.....	42
Tabla 3.13 Equipos standby por sector.....	45
Tabla 3.14 Costo de falla según la duración de ésta.....	46



Tabla 3.15	Variación del costo de falla con el mes del año.....	47
Tabla 3.16	Variación del costo de falla con el día de la semana .....	48
Tabla 3.17	Variación del costo de falla con la hora del día.....	48
Tabla 3.18	Posibilidad de reducción del costo de falla si la compañía informa de la duración de la interrupción inmediatamente después de ocurrida ésta.....	49
Tabla 3.20	Posibilidad de reducción del costo de falla si la compañía informa previamente de ocurrencia de la interrupción.....	49
Tabla 3.19	Tiempo previo mínimo con que se debe avisar sobre la ocurrencia de la interrupción para reducir el costo de falla .....	50
Tabla 3.21	Posibilidad de daño a clientes o personal .....	51
Tabla 3.22	Tiempo previo mínimo con que se debe avisar sobre la ocurrencia de la interrupción para reducir considerablemente daños .....	51
Tabla 3.23	Preferencias de racionamiento.....	52
Tabla 3.24	Recuperación de producción y/o servicios .....	53
Tabla 4.1	Costo de falla para el sector residencial .....	58
Tabla 4.2	Comparación del costo de falla con Canadá. Para acción preparatoria .....	59
Tabla 4.3	Costo de falla según la duración de ésta para sectores industrial y comercial .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 4.1 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector industrial menor.....	61
Figura 4.1 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector comercial.....	62
Figura 4.1 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector residencial.....	62

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Motivación**

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. La calidad de servicio se mide, usualmente, en términos de valores aceptables de frecuencia y voltaje; la seguridad, de acuerdo a la capacidad de ofrecer un suministro eléctrico ininterrumpido bajo determinados niveles de confiabilidad.

Las empresas eléctricas que prestan servicio público están obligadas a respetar ciertos niveles mínimos de calidad y servicio. Mantenerlos, implica continuas inversiones. Su magnitud, hace que se tomen serias precauciones para evitar tanto capacidades excesivas, como insuficientes. Lo anterior es altamente significativo por las características del sector. Jaramillo y Skoknic [Jara73] distinguen tres fundamentales:

- ### Una gran densidad de inversiones, que hace muy cara cualquier capacidad ociosa.
- ### Una interrelación excepcional con el resto de los sectores económicos y sociales, que hace que toda falla en el suministro eléctrico afecte directamente y a través de una relación en cadena a toda la economía nacional.
- ### A diferencia de otras industrias, no se puede recurrir en caso de fallas en el proceso productivo a un stock de producto final previamente formado, ni realizar importaciones excepcionales (si se hacen son mínimas y condicionadas) para reemplazar déficit producidos.

Alcanzar el óptimo entre inversión y seguridad, corresponde en teoría a minimizar en conjunto el costo de inversión y operación y el costo de falla. 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 sociales que produce una falta de suministro eléctrico. Lo corroboran los pocos trabajos desarrollados en el país sobre el tema.

En la actualidad, amplios sectores del país discuten el valor utilizado para el costo de falla y plantean la necesidad de buscar nuevas herramientas de determinación de su valor. Los métodos que se han utilizado en el país emplean la metodología econométrica. Por ésto, resulta interesante estudiar otras metodologías existentes en los países líderes en el tema, con el fin de mejorar la actual forma de estimar el costo de falta de suministro.

La discusión sobre el valor del costo de falla en Chile se centra en su bajo valor a nivel internacional. Mientras en Chile el valor es de 0,128 (US\$/kWh) para una profundidad del 10%, en el resto de los países éste supera los 0,5 (US\$/kWh) [Jara93]. Los siguientes valores de costo de falla corroboran la diferencia antes mencionada: (en US\$ de 1987): Italia (2 US\$/kWh), Francia (1,5 US\$/kWh), Canadá (medio 1 a 7 US\$/kWh; mínimo 0,04 US\$/kWh; máximo 275 US\$/kWh), Suecia (0,13 US\$/kWh para falta de energía; 1,3 US\$/kWh para falta de potencia), etc. El problema que encierra esta disparidad es lo barato que se hace fallar y por lo tanto, se produce la subvaloración de las inversiones futuras en las decisiones de planificación.

## **1.2 Definición de Costo de Falla**

Para que en adelante se tenga claro de que se está hablando al hacer referencia al costo de falla, es conveniente hacer una clara definición. Costo de falla en el suministro eléctrico, es una medida en unidades monetarias del daño económico y/o social que sufren los consumidores, producto de la reducción de la calidad de servicio y en especial por la energía no suministrada.

## **1.3 Dificultades Presentes en la Medición del Costo de Falla**

El suministro satisfactorio de energía eléctrica representa un valor varias veces superior al precio de la energía en razón de los perjuicios sociales y económicos que acarrea una restricción de abastecimiento.

El costo de falla constituye algo difícil de valorar dada la serie de factores que influyen en él. 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 mayorías de las veces no puede considerarse como algo económicamente transable.

### En otras aplicaciones, en las cuales el producto es un bien transable, no existe una relación rígida entre el empleo de la electricidad y la producción final. Es claro que se tiene una relación más fluida mientras más valor agregado tiene el producto.

### El costo de falla 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 falla puede variar en forma importante, dependiendo principalmente de los siguientes factores:

1. La magnitud de la falla.
2. La duración del interrupción.
3. El tipo de usuario afectado.
4. La frecuencia de las interrupciones.
5. El nivel afectado dentro del sistema (baja, media o alta tensión).
6. La hora, día, estación en que ocurre la falla.

Es claro, de lo antes descrito, lo complejo que resulta estimar el costo de falla; pero también, lo necesario de desarrollar un modelo efectivo y fidedigno para su estimación.

#### **1.4 Objetivos de la Memoria**

El actual estado del arte de las metodologías de estimación del costo de falla en el mundo y los pocos desarrollos realizados en el país, indican la necesidad de un estudio completo de las herramientas existentes para la estimación del costo de falla. Con ésto en mente, el presente trabajo tiene como objetivo principal, formular una metodología que permita obtener un valor lo más cercano a la realidad del costo de una interrupción del suministro eléctrico.

Se busca definir claramente la forma, estructura, contenido, objetivos, utilización y modo de análisis de la herramienta de evaluación del costo de falla. Así, se dejan sentadas las bases para su futura utilización a gran escala, que permita

obtener valores sólidos y utilizables en la planificación y operación de sistemas eléctricos de potencia.

Debe señalarse que los resultados del presente trabajo apuntan hacia fallas de corta duración. En el futuro deberá existir un trabajo complementario que abarque fallas de larga duración.

### **1.5 Estructura de la Memoria**

En el segundo capítulo de la presente Memoria, se presentan las metodologías que se han utilizado a nivel mundial para la estimación del costo de falta de suministro. Se muestran ejemplos de la estructura de la metodología y se comentan sus ventajas y desventajas. Luego, se realiza un análisis crítico de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. En base a los antecedentes presentados, el trabajo opta por la metodología directa, basada en la aplicación de encuestas a los principales centros de consumo eléctrico. La forma de esta metodología permite, aparte de entregar un valor del costo de falla, recopilar antecedentes complementarios de relevancia.

En el tercer capítulo se describe la evaluación de la metodología en base a su aplicación a una muestra de prueba. Con ésto, se pretende mostrar las capacidades de la metodología y valorar su aplicabilidad en el país. Por otro lado, los comentarios e indicaciones de los encuestados permiten mejorar las encuestas propuestas.

El cuarto capítulo entrega las conclusiones del trabajo, dando indicaciones de las mejoras a realizar a las encuestas formuladas y explicando como utilizar esta metodología en una muestra representativa de la población. Se advierte también, de las limitaciones de los resultados que se han de obtener y se señala la percepción de la aplicabilidad de la metodología en el país.

Finalmente y a pesar de que la muestra de prueba es reducida, se interpreta y discuten los resultados de la encuesta, ilustrando la forma de procesar los resultados. Se debe hacer el alcance que costos de falla están normalizados según la demanda peak anual y el consumo anual de energía. Ésto no es lo más correcto, ya

que se debería dividir por energía o demanda peak fallada. Como el desarrollo que permite obtener un valor de costo de falla normalizado por energía o demanda peak fallada requiere una implementación computacional, se mostrará sólo un ejemplo, esperándose que en el futuro se efectúe dicha implementación.

En los anexos A, B, C y D, se entregan versiones finales de las encuestas aplicadas (incorporando las mejoras que la evaluación indicó). En el anexo E, se describen y justifican las preguntas de las encuestas. El anexo F permite mostrar, a través de un ejemplo, como se pasa de los resultados de la encuesta a un valor de costo de falla utilizable en planificación y operación de sistemas eléctricos.

## II. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL COSTO DE FALLA

### 2.1 Introducción

Existen básicamente tres procedimientos para evaluar el costo de falla. Éstos son:

- ### Análisis econométrico.
- ### Métodos directos.
- ### Método implícito.

El *Análisis Econométrico* consiste básicamente en la estimación del costo de falla a través de modelos econométricos. Así por ejemplo, para estimar el valor medio del impacto de la interrupción del suministro eléctrico 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 ocupa 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 abonado se encuentra indiferente ante una determinada carencia de suministro, a cambio del pago de un monto monetario específico.

Se puede afirmar que la ventaja de este procedimiento radica en su fundamento teórico, sin embargo para llevarlo a la práctica se requiere un número de supuestos y simplificaciones que lo han hecho perder terreno respecto de los métodos directos.

Los *Métodos Directos* consisten fundamentalmente, en la realización de encuestas a los clientes para averiguar el costo de falla. 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 abonados, duración de la interrupción, tipo de interrupción, etc.

El *Método Implícito*, utilizado principalmente por la empresa eléctrica francesa (EDF), parte del supuesto que el plan actual de expansión de la empresa eléctrica es económicamente óptimo desde un punto de vista global. ésto es, incluyendo el costo de falla. Como el plan y los costos (exceptuando el de falla) son



conocidos, 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 depende arbitrariamente de las decisiones de inversión de la compañía, las cuales no siempre reflejan los requerimientos del consumidor. Obviamente los resultados obtenidos por este procedimiento, pueden ser corregidos a través de su adecuada interpretación.

Luego de esta descripción general de las distintas formas de evaluar el costo de falla, se muestra y analiza lo desarrollado por algunos autores sobre el tema. La metodología implícita no se ejemplifica, pues no se dispone de publicaciones sobre ésta.

## **2.2 Metodología Vía Análisis Econométrico**

Esta metodología emplea variables econométricas en su formulación. Un buen ejemplo que ilustra este tipo de métodos es el estudio realizado por los ingenieros Pablo Jaramillo y Esteban Skoknic [Jara73].

Estos ingenieros, pertenecientes a la Oficina de Planificación de la empresa Endesa, realizaron en Agosto de 1973 un estudio para evaluar el costo de falla de interrupciones de largo plazo en Chile. Es decir, los resultados obtenidos no son aplicables a interrupciones en las líneas de transmisión, ni en unidades cuya función es proporcionar potencia de punta al sistema, ya que las fallas en estos casos son de corto plazo.

La forma de evaluar el costo de la falta de suministro se fundamenta en estimar un rango dentro del cual se mueve dicho valor. Así, se usa una sobreestimación basada en un análisis económico global; y una subestimación, basada en uno detallado.

### **2.2.1 Análisis global**

El análisis global establece una relación entre una o más variables macro-económicas que abarca tanto las circunstancias de bienestar social, como las econó-

micas. Su desventaja radica en requerir hipótesis que se alejan de la realidad, lo cual produce la sobreestimación del costo de falla.

Se basa en las siguientes hipótesis:

1. Relación tecnológica estricta entre consumo eléctrico y variables macroeconómicas utilizadas (lo que es discutible).
2. Absoluta falta de selectividad en las restricciones eléctricas (cercano a la realidad en restricciones importantes; lejano, para pequeñas). Entendiéndose por selectividad perfecta de las restricciones, la capacidad de cortar el suministro eléctrico por orden creciente de costo de falla.

Los autores usaron el Producto Geográfico Bruto (PGB) como variable macroeconómica.

Aceptando el hecho que una falta de suministro eléctrico produce una caída del PGB y definiendo "C" como consumo eléctrico, es posible recurrir a la elasticidad consumo del producto para obtener el valor del costo marginal de la restricción (K), como sigue:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta \text{PGB}}{\text{PGB}}} \quad (1)$$

$$K = \frac{\frac{\Delta \text{PGB}}{\text{PGB}}}{\frac{\Delta C}{C}} \quad (2)$$

De 1 y 2 se tiene

$$K = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\text{PGB}}{C}$$

Como ya se indicó, K constituye una sobreestimación y como tal debe ser analizada.

### **2.2.2 Análisis detallado**

El análisis detallado estudia en forma específica a los sectores afectados por la falta de suministro, determinando un costo de falla por sector. Este enfoque posee la ventaja de permitir diferenciar entre los distintos usos del recurso eléctrico. Así, están aquellos cuya relación tecnológica con el consumo de energía eléctrica es bien definida, y otros en los cuales la electricidad no es fundamental. Para llevar a cabo este procedimiento se hace necesario prescindir de todos aquellos usos que no puedan ser evaluados monetariamente. Además, en un primer cálculo se supone selectividad perfecta del sector restringido en orden creciente de costos (ésto no es posible en el sistema eléctrico). Con estas dos suposiciones se produce una clara subestimación del valor de la restricción.

### **2.2.3 Determinación de sectores a considerar**

Los autores detallan la forma en que se distribuía el consumo eléctrico de la época. El grupo formado por: Industria, Minería, Residencial y Comercial, constituía el 84% del consumo total.

Dado que el grupo de consumos formado por los sectores Rurales, Transporte, Alumbrado Público, Fiscal y Municipal no admite cortes directos sin consecuencias graves, y en razón de que representaban (a la época de la realización del estudio) una porción pequeña del consumo total, no fueron considerados en el análisis. Por otro lado, la Minería no puede, por razones estratégicas, ser considerada dentro de los sectores a restringir. De lo anterior, los autores deciden sólo estimar el costo de falla de los sectores Industrial, Comercial y Residencial.

### **2.2.4 Sector industrial**

El costo nacional de una restricción para este sector se basa en el impacto que ésta tiene sobre el PGB. Para el cálculo se utiliza la matriz de Insumo-Producto de la economía y datos adicionales del consumo de energía por rama de la industria. Se exige el cumplimiento de los siguientes requerimientos:

### Relación tecnológica estricta entre producto y consumo de energía, para las distintas ramas industriales.

### Falla de importancia y duración relativamente considerables.

La primera exigencia se cumple para un análisis a nivel suficientemente desglosado. Para satisfacer ésto se debió recurrir a la matriz de Insumo-Producto de 1962. La segunda es la base de tiempo sobre la cual trabajan los autores.

Es claro que una reducción del suministro a una rama industrial reduce su producción, y por tanto sus requerimientos de insumos. Ésto trae consigo la disminución de la producción y consumo eléctrico de los proveedores.

Para reflejar estas variaciones se puede recurrir a los elementos  $b_{ij}$  de la matriz de requisitos directos e indirectos. Los  $b_{ij}$  miden la disminución de la producción de cada sector, cuando la demanda total del sector de destino se reduce en una unidad monetaria. Luego, la modificación total del consumo eléctrico por unidad monetaria de variación de la demanda final del sector de destino  $i$ , es:

$$C_i = \sum_j b_{ij} \cdot C_j$$

La pérdida de valor agregado total al restringirse en un kWh el consumo del sector de destino  $i$ , será el recíproco del valor anterior. Es decir:

$$K_i = \frac{1}{\sum_j b_{ij} \cdot C_j}$$

Para el resto de los sectores económicos que abastecen las ramas industriales, se supone la no reducción de su consumo eléctrico.

Se consideró que la restricción sólo afecta a aquella producción destinada a productos finales.

Con estas formulaciones es posible obtener el costo de falla por rama de la industria.

### **2.2.5 Sector residencial**

En este caso, Jaramillo y Skoknic indican la posibilidad de estimar el costo de falla de este sector, a través del valor de uso de la energía. Así este valor se divide en:

### Costo de la energía puesta en el medidor.

### Costo de la instalación eléctrica.

### Costo de los aparatos eléctricos.

Para el tercer punto, se utiliza tanto el costo anual de uso de los aparatos eléctricos, como la inversión que representan. Considerando 5 años de vida útil y 12% de costo de oportunidad.

Con esta información y el consumo anual es posible determinar los valores medios del costo de falla de este grupo.

### **2.2.6 Sector comercial**

En este caso, los autores no disponen de una información específica sobre los usos que el sector da al recurso eléctrico. Por ello se ven obligados a realizar una serie de simplificaciones para dar un valor al costo de falla.

Llegan así, a que una falla menor a un 10% implica un costo equivalente al precio de venta del kWh; para una mayor, se toma el valor del sector residencial.

### **2.2.7 Restricción selectiva del consumo**

Se supone que es posible la selectividad perfecta de las restricciones del consumo, lo cual significa cortar suministros eléctricos por orden creciente de costo de la falla. Se tiene así, un cuadro de valores del costo de falla en función de la duración de la restricción.

La selectividad perfecta no es posible en el sistema chileno, debido tanto a su estructura, como a que la posibilidad de selectividad depende de la duración y profundidad de la falla.

### 2.2.8 Costo de falla maximizando el bienestar de la población

Hasta este punto, los autores han mostrado la forma de calcular el costo de falla basados en la posibilidad de restringir el consumo de acuerdo a un orden creciente de costos. Ésto implica no considerar las preferencias del abonado, por lo cual no se maximiza su bienestar.

Para reflejar las preferencias del consumidor se puede utilizar la elasticidad-ingreso sobre la demanda final de bienes y servicios.

En este caso se recurre a los valores medios de las elasticidades-ingreso del conjunto de la población. Se considera además, que sólo los sectores residencial, comercial e industrial poseen una relación tecnológica entre energía consumida y producción final (el resto de los grupos es despreciado).

En atención a lo antes descrito, y por medio a un análisis similar al utilizado en el punto referente al sector industrial, se llega a la siguiente expresión para el costo medio del kWh restringido:

$$K = \frac{r_E \cdot \varepsilon_E + \sum_i r_i \cdot \varepsilon_i}{\sum_i r_i \cdot \varepsilon_i \cdot \sum_j b_{ij} \cdot C_j + \frac{r_E \cdot \varepsilon_E}{\pi_E}} \cdot \alpha + K_C \cdot \beta$$

En donde:

- ###<sub>i</sub> = elasticidad-ingreso de la demanda del sector de destino i
- $b_{ij}$  = coeficientes de la matriz de requisitos directos e indirectos
- $C_j$  = consumo eléctrico específico del sector proveedor j
- ###<sub>E</sub> = elasticidad-ingreso del sector electricidad
- ###<sub>E</sub> = precio del kWh residencial
- $r_i$  = proporción del sector i en el gasto de las personas

$r_E$	=	proporción del sector electricidad en el gasto de las personas
$K_c$	=	costo de la restricción del sector comercial
###	=	proporción del consumo eléctrico industrial y residencial
###	=	proporción del consumo eléctrico comercial

De las suposiciones previas se tiene  $\alpha+\beta=1$ .

Se debe recalcar que el valor de K sigue siendo una subestimación del valor del costo de falla.

### **2.2.9 Comentarios sobre el desarrollo presentado**

Es claro, como los mismos autores indican, que este análisis provee de un rango dentro del cual se mueve el costo de falla. También es importante resaltar que la validez de la información extraída de los resultados numéricos, está muy condicionada a los supuestos utilizados. Ésto se puede observar en el hecho que para estimar el valor de la restricción en el caso del sector industrial, se requiere de una matriz insumo-producto lo suficientemente desglosada. Así, si no es posible cumplir este requerimiento, o la información disponible es difícilmente extrapolable, los resultados obtenidos llegan a ser poco reales.

El trabajo de Jaramillo y Skoknic permite ejemplificar el hecho que los análisis econométricos necesitan una serie de suposiciones y simplificaciones. Las cuales muchas veces van más allá de lo permisible. Ésto, desde el punto de vista de la solidez de los resultados que se pretenden obtener.

Aunque la base teórica en que los análisis se sustentan es en general robusta, se ve que las variables econométricas no permiten establecer una relación tecnológica rígida entre consumo de energía eléctrica y producción. Además, existen sectores como el comercial y residencial, en los cuales acceder a valores fidedignos del costo de falla, requiere conocer una serie de elementos que no es posible obtener del uso de las variables macroeconómicas.

Todos estos factores han relegado a un segundo plano a los análisis econométricos y producido un cambio importante en cuanto a la forma de evaluar el costo de la falta de suministro eléctrico. A lo anterior se suma la poderosa tecnología computacional existente en la actualidad. La cual permite procesar en forma rápida y eficiente la información de los métodos directos a costos razonables. Se puede, de hecho, observar la publicación de abundante literatura sobre los métodos directos.

## **2.3 Metodología Directa**

Esta metodología se basa en la aplicación de encuestas a los sectores del consumo afectados por la interrupción del suministro eléctrico. Para ilustrar esta metodología se han seleccionado dos ejemplos. En el primero se abarca el sector gran industrial. En el segundo a los sectores residencial, comercial y industrial menor.

### **2.3.1 Costo de interrupción de potencia para el suministro industrial**

En este trabajo se detallan los resultados de una encuesta, aplicada para determinar la percepción sobre distintos niveles de confiabilidad de los consumidores abastecidos por Ontario Hydro [Mack78]. Cabe resaltar que todos estos clientes tienen demandas superiores a los 5[kW]. La demanda peak conjunta de los 172 establecimientos censados sumaba, en 1975, 3900[MW].

La información que se deseaba obtener de los clientes se puede resumir como sigue:

- ### Su estimación del costo de falla para distintas condiciones y tiempos de duración de ésta.
- ### Forma en que se afecta su producción, al reducirse el voltaje del sistema para limitar el consumo.
- ### El porcentaje de su carga total que puede ser interrumpida, sin mayor perjuicio a su producción.
- ### La generación propia de que disponen y su utilización actual. Además de como puede modificarse ésta, si las restricciones se incrementan.
- ### Sus preferencias en cuanto a la forma de restringir el consumo, si fuese necesario regular el exceso de carga.



### **2.3.1.1 Método utilizado**

Se utilizó una encuesta de 14 páginas diseñada y revisada por el equipo de investigación de mercado de Ontario Hydro. Personal del servicio al cliente discutió el cuestionario con las autoridades de cada establecimiento. Debido al trato confidencial de la información entregada que se aseguraba a los encuestados, se obtuvo un alto porcentaje de respuestas serias y fidedignas.

### **2.3.1.2 Costo de falla para el gran industrial**

En los siguientes puntos se describen los alcances que pretendía la encuesta, la manera de procesar las encuestas para determinar el costo de falla, y el análisis de algunos resultados:

1. *Alcances del Cuestionario*: Los abonados respondieron sobre el costo estimado de una interrupción sin previo aviso, en condiciones de plena producción. Se especificaron nueve tramos de duración de la falla: desde menos de un minuto a una semana. Los costos incluían entre otros tópicos: pérdida de producción, daños a equipos y materiales, pérdida de divisas por trabajo ocioso.

Se debe considerar que el costo de pérdida de producción puede ser exagerado, ya que existe una capacidad ociosa para el resguardo ante una restricción, Ésta es difícil de definir y evaluar, y muchas veces puede traer consigo la dificultad de responder la pregunta.

Los usuarios también son encuestados acerca de los efectos que sobre sus costos tendrían factores como el aviso previo a la interrupción, la frecuencia de ocurrencia de las fallas, la hora del día, la estación, etc.

2. *Unidad Utilizada para Evaluar el Costo de Falla*: Las respuestas varían fuertemente en magnitud, lo que afecta las estimaciones del costo de falla. Para establecer un orden de comparación, se ocupa como unidad de medida del costo de falla al \$/kW. Las estimaciones individuales de los valores de la restricciones se ordenan por demanda peak anual y por duración de la interrupción. A su vez, la suma de las estimaciones para cada grupo industrial se divide por la suma de las demandas peak (no coincidentes) de sus integrantes.

3. *Estimación de los Costos - Resultados Generales*: Para una mejor visualización de los resultados estos se dibujan en gráficos \$/kW v/s duración de la falla. Ambos ejes en escalas logarítmicas para poder apreciar mejor los efectos de restricciones de corta duración.

4. *Costos Estimados - Grupo Industrial*: Se grafican las curvas de cinco grupos industriales, mostrándose máximos, mínimos, costos individuales y la banda resultante para cada grupo.

5. *Aviso Anticipado Para Obtener una Disminución del Costo de Falla*: Un tercio de los grupos industriales consideró que reducía substancialmente los costos (aquí se incluyen las fábricas de hierro y acero), mientras la mitad estimó que no afectaba.

6. *Efecto de Frecuencia de las Restricciones en el Costo de Falla*: Un cuarto de los encuestados considera que la suma de cortes frecuentes aumentan los costos, en comparación con una interrupción continua de igual duración.

7. *Efecto de la Estación y Hora de Ocurrencia de la Interrupción, en el Costo de ésta*: Más de la mitad de los grupos considera que el costo no se ve afectado por estos factores. La mayoría de los otros opina que la influencia en los costos es baja entre Julio y Agosto, y alta entre Noviembre y Marzo, algunos por ser períodos de alta producción y otros por los perjuicios que ocasionan las bajas temperaturas.

### **2.3.1.3 Potencia interrumpida**

Generalmente existen contratos previos sobre los niveles de potencia que pueden ser restringidos. En contrapartida, los abonados reducen su consumos en determinados horarios. El problema es más bien físico y no se intenta ver lo que es comercialmente aceptable.

Parte de los encuestados no poseen contrato con la Ontario Hydro. Se busca establecer las razones por las cuales no lo han hecho.

#### **2.3.1.4 Capacidad de reserva**

Se evalúa el equipo de resguardo ante interrupciones en el suministro eléctrico. Interesa conocer sobre los equipos: tipo, capacidad de generación, número, usos, costos de mantención, costos de protección, etc.

Es claro que el tener estos equipos reduce los riesgos y los posibles daños, pero pueden llegar a ser excesivamente antieconómicos.

#### **2.3.1.5 Interrupción planificada**

Se pretende evaluar como prefieren los clientes que se les racione el suministro eléctrico, en caso de existir una rotación de los sectores a los cuales se les interrumpe el suministro. Las preguntas buscan determinar la visión de los abonados respecto de las siguientes características de las interrupciones: duración, frecuencia, tiempo de aviso previo.

#### **2.3.1.6 Comentarios respecto del trabajo**

No se comentan los resultados de la encuesta, pues interesa sólo la parte estructural de la encuesta.

La encuesta desarrollada para los clientes del Ontario Hydro, es un ejemplo de como se desarrolla el método directo de evaluación del costo de falla. Es claro, que el tipo de preguntas y análisis va en directa relación con el consumidor de interés. En este caso se encuestó al industrial de alto consumo de potencia eléctrica.

Resulta muy interesante ver la cantidad de información que una encuesta bien estructurada puede extraer de los abonados. El uso de las encuestas permite obtener mejor y más abundante información, lo cual redundará en una estimación más robusta del costo de falla.

La aplicabilidad para el caso chileno es posible, reestructurando las preguntas que consideran características particulares de Ontario y utilizando aquellas que son generales, las cuales abordan las inquietudes de los grupos industriales de alto consumo eléctrico de cualquier país. Ésto es una realidad, dado que la diferencia

entre las industrias de distintos países está dada por el tipo de productos, la capacidad, etc., pero la base es semejante y comparable.

### **2.3.2 Costo de falla para los sectores residencial, comercial e industrial**

En el ejemplo anterior, se mostró la utilización de la metodología directa en la determinación del costo de interrupción para los industriales de gran consumo. En este caso aparece un tratamiento del costo de interrupción para los sectores comercial, re, tomando como base la encuesta realizada entre los años 80 y 81 por la Universidad de Saskatchewan para la Sociedad Eléctrica Canadiense [Bill88]. A continuación, se muestra y explica la estructura y objetivos de las encuestas diseñadas para los tres sectores.

#### **2.3.2.1 Costo de falla del consumidor comercial**

##### a) Propósito de la encuesta

Las preguntas al abonado van dirigidas a determinar el costo de falla para la compañía ante interrupciones de distinta duración.

Se utiliza como situación base una interrupción en el suministro un día Viernes de fines de Enero a las 10 a.m. La razón de ocupar este escenario, radica en el hecho que es el peor momento para que se produzca la restricción en el suministro.

Se les indicó a los encuestados que en sus respuestas consideraran pérdidas en negocios o ventas (excluyendo lo realizable una vez finalizada la falla), salarios pagados a personal por horas no trabajadas, equipos o bienes dañados etc.

##### b) Tópicos que se pretende abarcar

Se busca analizar varios escenarios para distintos tipos de restricciones, indicándose en la encuesta una serie de factores que pueden influir en la estimación del costo de falla. Este costo es estudiado en función de si el abonado dispone o no de equipos de respaldo (standby systems); y si tiene, de cual tipo es. Resulta interesante observar que los grandes usuarios de los equipos de respaldos son:

servicios al público, tiendas de alimentos, tiendas con ventas al detalle (en orden decreciente de importancia).

En el escenario base se varía la estación en que se produce la falla, para ver como varía el costo de falla con esta variable.

#### c) Costo de falla

Se establece la demanda peak anual (kW) y el consumo de energía anual (kWh). Enseguida se normalizan los costos utilizando las unidades \$/kW (costo / demanda peak anual) y \$/kWh (costo / consumo de energía anual). Es necesario notar que esta normalización no entrega el costo de la energía o demanda no suministrada. La razón es que se requiere de datos adicionales, como son la demanda al momento de la interrupción y su variación durante el intervalo de falla. Obviamente esto no es posible, obteniéndose una buena aproximación.

Lo siguiente es determinar las curvas de costo de los abonados expresadas en Costo de falla (\$/kW) v/s Duración de la interrupción (min, hrs).

Las situaciones que se estudian abarcan los siguientes puntos:

- #### Tipo de abonado (con o sin equipos standby) y estación del año.
- #### Tipo de equipo de respaldo.
- #### Tipo de carga, es decir distintas combinaciones dependiendo del número de usuarios de cada clase de equipo de respaldo.
- #### Costo agregado ponderado por tipo de equipo de apoyo en comparación con el crecimiento agregado.

#### **2.3.2.2 Costo de falla del pequeño industrial**

Para este tipo de usuario interesan los siguientes factores que influyen en el costo:

- #### Pérdidas en planta y/o equipos
- #### Daño en materia prima y/o productos finales.
- #### Costos de partida.
- #### Pérdidas de producción (durante la falla y después de ésta).

### Tiempo de falla a partir del cual se pierde producción.

### Otros costos o efectos (p. ej.: operación de los equipos de apoyo).

El análisis es semejante al que se realiza en el punto anterior.

### 2.3.2.3 Costo de falla para el sector residencial

#### a) Propósito de la encuesta

Conocer el costo de falla para los distintas clases de usuarios y en relación a la duración de la interrupción.

Se establecen cuatro clases de abonados de acuerdo al tipo de vivienda: casa individual, departamento, casa móvil, casa de gran tamaño. Se determina luego a proporción según consumo en (kWh).

#### b) Acción preventiva del cliente

Se pone al abonado frente a una determinada restricción en el suministro, la cual sería previamente informada. La información que se entrega no es exacta, por ejemplo se indica una futura falla durante la semana, sin indicar el día. Al encuestado se le pregunta tipo de actitud preventiva que tomaría según los costos asociados a ésta. Esta forma de preguntar reduce las reacciones adversas ante la evaluación de la restricción (minimiza la sobrevaloración subjetiva del costo de la falla). Se determina un valor promedio por grupo, en función de la duración de la restricción. Las unidades utilizadas son \$/kW (costo / demanda peak anual), \$/MWh (costo / consumo anual de energía).

#### c) Efecto de la frecuencia de la interrupción

Se busca establecer el cambio respecto a la situación anterior introduciendo las siguientes instancias:

### Aumenta frecuencia de fallas, pero la duración total disminuye.

### Disminuye la frecuencia de interrupción, pero aumenta la duración total.

Interesa conocer como reacciona el cliente ante distintos escenarios temporales, es decir como varía su actitud respecto de la falla del caso base.

d) Análisis por sexos

Se pide información sobre el sexo del encuestado o si existe una respuesta en conjunto. Ésto para buscar algún tipo de correlación de la apreciación de la interrupción de acuerdo al sexo.

e) Transferibilidad de costos

Interesa conocer la transferibilidad de costos de una región a otra. Para ésto se evalúa varias áreas geográficas.

f) Función de costos relacionada con la interrupción

La función de costos se obtiene de la suma de costos individuales ponderados por la carga individual. La unidad utilizada es \$/kW (costo / demanda peak anual).

Se realizan comparaciones del costo de falla de acuerdo al establecimiento de distintos grupos de consumidores. Éstos se obtienen variando la participación de los integrantes del sector (ponderando según el tipo de vivienda); o , el porcentaje que el sector representa dentro del consumo total.

### **2.3.3 Comentarios**

Es claro que el modelo utilizado por Billinton y Allan [Bill88], es en lo referente a su estructura, general y aplicable a otra realidad como la chilena. Obviamente es necesario adaptarlo para hacer coincidir el tipo de preguntas que se hace con la realidad nacional con y con la información que se desea obtener. Los comentarios y forma de utilizar los datos de la encuesta por parte de los autores, permiten sentar una base para el análisis de los resultados que se puedan obtener en el cuestionario.

## **2.4 Elección de la Metodología a Utilizar**

Se han presentado tres formas de evaluar el costo de falla. Dos de ellas fueron ilustradas a través de ejemplos. El análisis econométrico, con el trabajo realizado por los ingenieros Jaramillo y Skoknic [Jara73]. La metodología directa,

por medio de dos trabajos. Uno abarcó el sector gran industrial [Mack78]; el otro, los sectores residencial, industrial menor, comercial [Bill88].

De los ejemplos y de la bibliografía consultada es posible establecer las ventajas y desventajas de la metodología directa. Analizándolas, se cree que la aplicación de encuestas es la manera más apropiada de obtener una correcta estimación del costo de falla, además de información complementaria de relevancia.

Para justificar las anteriores aseveraciones se describen las ventajas y desventajas de la metodología directa:

*Ventajas:*

- ### Sin lugar a dudas, la metodología directa es la que más información entrega sobre los efectos y costos (en determinados escenarios) de una falla. 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 falla, se obtiene un conocimiento sobre como se ve afectado cualitativamente el cliente por la falta de suministro. Información muy relevante para las empresas eléctricas, que no sólo venden un producto, sino también, una imagen y un servicio.
- ### Las preguntas para la estimación del costo de falla, abarcan un set adecuado de escenarios posibles de falla. Se varía la duración de la interrupción y otras de sus características.
- ### Si el encuestado responde con objetividad las preguntas planteadas por la encuesta, se tendrá una estimación certera del costo de falla para los escenarios utilizados, ya que el más indicado para estimar el costo monetario de una falla 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.
- ### Se evitan las simplificaciones necesarias en la metodología econométrica que hacen perder validez a los resultados.
- ### Existe una amplia literatura sobre la metodología directa, especialmente los trabajos de Billinton y Allan.

*Desventajas:*



### Se debe hacer un trabajo previo para seleccionar una muestra que sea representativa de la realidad del país. 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 en su cuestionamiento del consumido, lo cual limita la interpretación de los resultados.

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

### El costo de falla obtenido depende fuertemente de factores: geográficos, demográficos y socioeconómicos. Ésto dificulta la transferibilidad de los valores obtenidos de una área a otra.

Debido a que en Chile los grandes consumos se encuentran concentrados en determinadas regiones (Metropolitana principalmente), esta limitante puede ser mejor manejada que en otros países.

De lo antes descrito, se corrobora que al evaluar las ventajas y desventajas de la metodología directa y compararla con otras disponibles, resulta ser la mejor herramienta de estimación del costo de falla.

## **2.5 Desarrollo de las Encuestas**

### **2.5.1 Revisión bibliográfica**

La metodología directa, como antes se indicó y ejemplificó, se basa en la aplicación de encuestas para obtener directamente de los sectores afectados el valor del costo de falla, además de información complementaria relevante.

El desarrollo de esta herramienta se remonta a 1969, fecha en que un comité sueco sobre costos de interrupción del suministro eléctrico desarrolló las primeras encuestas. Desde entonces se observa un fuerte impulso a la metodología. Entre 1964 y 1984 los mayores desarrollos se han realizado en los siguientes países: Canadá (1978/84), Finlandia (1979), Dinamarca (1981), Suecia (1982). Además de los países antes mencionados se han realizados importantes esfuerzos en Brasil, Inglaterra, Egipto, Francia, Arabia Saudita y EEUU. Sin lugar a dudas el país que se

encuentra entre los líderes del desarrollo del método directo es Canadá. En él, se encuentra una de las empresas que más fuertemente ha estado ligada al tema, Ontario Hydro. Esta empresa, a través de la metodología directa, ha establecido una estrecha relación con su clientela. La Universidad de Saskatchewan con el apoyo de CEA (Canadian Electrical Association) ha desarrollado más de once investigaciones y respaldado estas metodologías en el país. [Bill91a] [Kari91]

Los trabajos realizados por estos países se han reportado en diversas publicaciones, parte de las cuales se listan en la bibliografía de esta Memoria

El presente trabajo se basa fundamentalmente en la tesis de K. Kariuki [Kari91]. El trabajo de Kariuki fue realizado en el noroeste de Inglaterra y abarcó cuatro sectores de consumidores: residencial, comercial, industrial y gran industrial.

Utilizando dicha tesis como referencia se obtuvieron las versiones primarias de las encuestas. La gran ventaja de apoyarse en el trabajo de Kariuki, es que la mayor parte de la estructura de las encuestas está basado en un amplio set de herramientas desarrolladas por la Universidad de Saskatchewan bajo el patrocinio de la CEA.

### **2.5.2 Justificación de los sectores utilizados**

Las encuestas contenidas en el trabajo de Kariuki abarcan cuatro sectores: residencial, comercial, industrial y gran industrial. Aplicar encuestas solamente a estos cuatro sectores en Chile, es válido por lo siguiente:

### Básicamente en el país se pueden identificar las siguientes sectores del consumo: residencial, comercial, industrial, minería, riego, fiscal y municipal, alumbrado público y transporte. La distribución del consumo para 1989 se puede ver en la tabla 2.1 para 1989 [Ende89].

Como se observa el sector industrial y minería abarca cerca de un 49,65% del total del consumo, seguido por los residencial y comercial que suman un 25,96%

Tabla 2.1 Consumo eléctrico por sectores

SECTOR	CONSUMO (%)
Residencial	17,63
Comercial	8,33
Industrial y Minero	49,65
Alumbrado Público	3,12
Fiscal y Municipal	4,31
Transporte	1,55
Riego	0,36
Consumos Propios	2,10
Pérdidas de Trans. y Distribución	12,95
Total	100,00

### Una restricción de la minería trae consigo consecuencias demasiado graves a la economía como para ser soportables. Luego, se puede asumir que no es posible prever restricciones eléctricas a la minería. En el sector público, no es posible contemplar una reducción del suministro eléctrico en lo referente a los servicios vitales (servicios de gobierno de alta jerarquía, hospitales, agua potable, etc.), los cuales constituyen la mayoría del servicio público.

### En estos consumos, el costo de falla no puede ser superior a los costos de adquirir, mantener y hacer funcionar equipos de generación para interrupciones del suministro eléctrico [Jara93]. Sin embargo, planificar el desarrollo de un sistema eléctrico en base a proveer un servicio cien por ciento confiable, incluyendo estos sectores, no es económicamente factible.

### En el caso de los sectores transporte y riego pueden despreciarse por su peso específico dentro del consumo.

En base a lo anterior, quedan tres sectores de interés a analizar, que son industrial, comercial y residencial.

### **2.5.3 Formulación de las encuestas**

El trabajo de formulación de las encuestas consistió básicamente en un proceso de traducción, adaptación y complementación de las encuestas pertenecientes a la tesis de Kariuki que como antes se indicó contiene encuestas para los sectores: residencial, industrial y comercial

Luego de una primera adaptación de las encuestas a realidad nacional, éstas fueron revisadas en conjunto a especialistas en el ámbito de la planificación y operación económica de sistemas eléctricos. Posteriormente se evaluaron, según se reporta en el capítulo siguiente, en base a una muestra de prueba. Ésto permitió realizar una última adaptación, resultando las siguientes encuestas:

- ### Sector Residencial : Anexo A
- ### Sector Comercial : Anexo B
- ### Sector Industrial Menor : Anexo C
- ### Sector Gran Industrial : Anexo D

La explicación de las encuestas y de su estructura, así como los comentarios respecto a su aplicación se entregan en el anexo E.

### **III. EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DIRECTA EN BASE A UNA MUESTRA**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se muestran y analizan los resultados obtenidos en la encuesta aplicada al sector residencial. Conviene antes de entrar en el desarrollo, hacer los siguientes alcances:

### La muestra tomada, para poner a prueba las encuestas, estuvo constituida para el caso residencial por alumnos del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Chile y para los sectores comercial e industrial por familiares de éstos. Es decir, no se hizo una muestra estadística exhaustiva, pues no se buscaba obtener valores finales estadísticamente válidos, sino mostrar como se analiza y procesa las respuestas obtenidas de los encuestados.

### El objetivo primordial de esta evaluación es dar lugar a una herramienta de determinación del costo de falla, la cual cuente con las siguientes características:

1. Haya pasado por una etapa de perfeccionamiento, producto de las respuestas obtenidas como de las críticas realizadas.
2. Se conozca a cabalidad la forma de usar su contenido para generar un valor del costo de falla.
3. Se entiendan las razones y usos de las preguntas, que además de permitir evaluar numéricamente el costo de falla, proveen de una excelente información complementaria.
4. Se conozca las limitantes del valor del costo de falla obtenido con la metodología directa, y específicamente con las encuestas generadas.

### Las encuestas producidas para determinar el costo de falla son explicadas y detalladas en el texto, así como también sus aplicaciones.

### Con el análisis de los resultados se pretende dar una ejemplificación clara y completa de como se procesa la información de las encuestas y lo que se puede concluir de sus resultados.

## **3.2 Encuesta del Sector Residencial**

### **3.2.1 Introducción**

De las encuestas entregadas a los alumnos, se respondieron 47. De las cuales 42 fueron contestadas adecuadamente y se utilizaron para el análisis. Los criterios para eliminar encuestas fueron:

- ### La entrega de encuestas incompletas, en aquellos casos en que las preguntas no contestadas fueran esenciales para la determinación del costo de falla.
- ### Que los encuestados mostraran, a través de sus respuestas, una actitud hostil o prejuiciada sobre el suministro eléctrico que les es entregado.
- ### La existencia de respuestas no coherentes. Ésto podía ser producto de la no comprensión de las preguntas, por respuestas precipitadas (por ejemplo por no leer concienzudamente las preguntas) o sencillamente desinterés por contestar bien las preguntas.
- ### Que parte o la mayoría de las preguntas contestadas, dieran a entender una actitud poco seria frente a la encuesta.

Aún cuando la muestra es sólo de prueba, el procesamiento de las respuestas permite ilustrar como se procesan y analizan las encuestas

### **3.2.2 Exposición y análisis de los resultados**

El siguiente, es un resumen de los resultados obtenidos y un análisis de ellos. Para facilitar su visualización, se exponen los resultados de acuerdo al tema involucrado en una o más preguntas y se entregan extractos de ellas (dentro de cremillas). Se realiza también, un seguimiento de la obtención del costo de falla según tres metodologías: acción preparatoria, tasa de incremento y tasa de decremento. Se posterga para las conclusiones la comparación de las tres metodologías.

En el desarrollo se referencia la numeración asociada a cada pregunta. Para hacer más sencillo el seguimiento de las preguntas, se inserta la parte esencial de cada una de éstas.

a) Servicio y costo del suministro eléctrico (pregunta 1):

"... (P1-a) Considero que el número de interrupciones del suministro eléctrico en mi casa es:

Muy bajo  Bajo  Moderado  Alto  Muy Alto

(P1-b) En comparación con otros servicios (p. ej.: agua), el precio de la electricidad es:

Muy bajo  Bajo  Moderado  Alto  Muy Alto

(P1-c) En general el servicio que le entrega la compañía de electricidad es:

Muy Pobre  Pobre  Regular  Bueno  Muy Bueno ..."

En esta pregunta se recurrió a una escala numérica para procesar las distintas alternativas de cada letra. Así se tiene:

1. Muy Bajo (P1 a y b), Muy Pobre (P1 c)
2. Bajo (P1 a y b), Pobre (P1 c)
3. Moderado (P1 a y b), Regular (P1 c)
4. Alto (P1 a y b), Bueno (P1 c)
5. Muy Alto (P1 a y b), Muy Bueno (P1 c)

En la tabla 3.1 se especifican los valores promedio obtenidos:

Tabla 3.1 Servicio y precio del suministro eléctrico

PARÁMETRO	P1-a	P1-b	P1-c
Promedio	1,79	3,67	3,83
Desviación	0,87	0,72	0,59
Moda	1,00	4,00	4,00

Los índices respecto al número de interrupciones son bastante positivos. Así, el valor promedio está en 1,79 es decir entre número de interrupciones Muy Bajo y Bajo. La desviación estándar es de 0,87, lo cual señala que las repuestas se mueven mayoritariamente dentro del rango Bajo.

En cuanto al precio de la electricidad, el promedio indica 3,67; es decir, entre Moderado y Alto, siendo más cercano a Alto. La desviación estándar señala que el valor se mueve en el entorno de Moderado y Alto. Todo lo anterior es corroborado por el valor de la moda.

Finalmente se calificó positivamente el servicio entregado por la compañía de electricidad. Ésto lo demuestra el valor de 3,83 del promedio y la moda de 4. Se presenta en este caso la menor desviación estándar.

Se puede concluir de los valores presentados y de las interpretaciones realizadas, la buena calificación del servicio prestado por la compañía, la consideración de un reducido número de interrupciones y la apreciación de un precio, mayoritariamente concentrado entre Moderado y Alto.

b) Experiencia en interrupciones del suministro (pregunta 2):

"... (P2-a) Indique cuantas interrupciones eléctricas cree haber sufrido en los últimos dos años

(P2-b) ¿Cuántas de estas interrupciones fueron de corta duración (menos de una hora)?

(P2-c) ¿Cuántas de estas fallas de suministro eléctrico duraron más de cuatro horas?

(P2-d) ¿Cuándo experimentó la última falla y cuánto duró?

(P2-e) Si ha sufrido una interrupción del suministro eléctrico que hubiera resultado especialmente perjudicial y/o le haya producido altos costos; indique que inconvenientes le trajo y en cuanto estima su costo en pesos ..."

En la siguiente tabla aparece un resumen de los índices extraídos para esta pregunta:



Tabla 3.2 Experiencia pasada en interrupciones de suministro eléctrico

PARÁMETRO	P2-a	P2-b	P2-c
Promedio	10,69	6,79	2,36
Desviación	19,63	12,67	5,2
Moda	5,00	2,00	0,00
Máximo	100,00	6,00	28,00
Mínimo	1,00	0,00	0,00

Como se puede observar, el número promedio de interrupciones del suministro (P2-a) en dos años resultó ser 10,69, lo cual es bastante bajo si se considera que es un período de dos años y que en la mayoría de los casos las fallas eran de corta duración. La moda también da un valor reducido. La elevada desviación estándar, indica una importante variación en torno al promedio. Se debe considerar, al analizar este valor, que existen cuatro respuestas que sobrepasan las quince interrupciones; pero hay dos que se alejan bastante de la media, como lo indica el máximo de cien obtenido en una de las muestras. Ésto, indudablemente, influye en el significativo valor de la desviación estándar. La razón de mantener aquellas muestras que se alejaban notablemente del promedio, se debió a que las respuestas restantes eran coherentes y demostraban una actitud seria del encuestado; resultando interesante su análisis.

En las preguntas siguientes (P2-b, P2-c), se observa un mayor promedio para las fallas de corta duración. Ésto se repite en el respectivos valores de la moda. Se observa también, una importante reducción de la desviación estándar principalmente en el caso de número de fallas de más de cuatro horas.

Se puede concluir de la tabla y lo antes descrito, la apreciación de los encuestados de una cantidad reducida de fallas. Además, la mayor cantidad de fallas de corta duración está en una razón de prácticamente tres a uno respecto del promedio de las de más de cuatro horas.

En cuanto a la pregunta P2-d, cerca del 71% de los encuestados contestaron en forma completa la pregunta, es decir incluyeron mes, año y duración. Esta es una buena tasa de respuestas si se considera que la gente no está acostumbrada a guardar este tipo de información en su memoria. Ésto permite pensar, en la existencia de una adecuada experiencia previa para responder con mayor certeza, las preguntas utilizadas para determinar el costo de falla. Además, esta mayor experiencia, permite una mayor tasa de respuestas acertadas y completas.

En la pregunta P2-e, sólo cuatro de los encuestados manifestaron alguna pérdida grave, las cuales estaban ligadas principalmente a quienes realizaban algún tipo de trabajo en el hogar o cuando la interrupción ocurría en horarios en que se efectuaban tareas de limpieza.

c) Relación frecuencia duración de la interrupción (pregunta 3):

"... Suponga que es necesario el racionamiento en el suministro eléctrico. Además se le indica que en total la interrupción durará cuatro horas cada semana. ¿Cuál de las siguientes alternativas prefiere?:

Más frecuencia y menos duración (por ejemplo: Cuatro interrupciones de una hora durante la semana).

Menos frecuencia y más duración (por ejemplo: Una interrupción de cuatro horas una vez la semana). ..."

El 58,5% de los encuestados prefirió más frecuencia y menos duración, para una falla de cuatro horas semanales. Lo anterior no indica una gran diferencia entre quienes prefieren esta opción y quienes no. Dado lo pequeña de la muestra y la selección de los encuestados, no se puede ser categórico al momento de definir cual es la opción más aceptada por el resto de la población.

d) Grado de indeseabilidad de los efectos de una falla (pregunta 4):

"... Esta pregunta mide que tan indeseable es para usted y su familia una falla del suministro eléctrico. Suponga que la interrupción puede durar de una a cuatro horas..."

"... Escala de indeseabilidad:

0: No existen efectos indeseables

- 1: Afecta muy poco
- 2: Afecta poco
- 3: Medianamente indeseable
- 4: Afecta bastante
- 5: Muy indeseable
- 6: Extremadamente indeseables..."

En la letra a de esta pregunta se consultaba sobre los efectos involucrados por una falla y su grado de indeseabilidad. La siguiente tabla muestra los índices relevantes obtenidos.

Tabla 3.3 Grado de indeseabilidad de los efectos de la falta de suministro

SECTOR DEL HOGAR AFECTADO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
Aparatos de la cocina inutilizados	3,26	1,55	4,00
Inutilización de equipos para la limpieza de la casa y ropa	3,19	1,55	4,00
Equipos de entretenición	2,67	1,73	1,00
Temor a crímenes	4,12	1,89	6,00
Temor a accidentes	3,86	1,79	6,00
Disconformidad (p. ej.: descenso de temperatura)	2,57	1,45	3,00

Se puede observar que el efecto más indeseable, en promedio, fue el temor a crímenes; seguido muy de cerca por el temor a accidentes. Ésto se confirma al ver en estos casos una moda de 6 (extrema indeseabilidad). Todos los promedios están sobre un valor de 2,5, o sea en todos los casos se tiene efectos de significancia.

El valor de la desviación es en este caso elevada, lo cual habla de amplio rango de opinión sobre el tema de la indeseabilidad de los efectos de una falla.

En cuanto a los efectos no abarcados por la tabla, un elevado porcentaje de los encuestados, que indicaron efectos adicionales, señalaron un alto grado de indeseabilidad por la inoperancia de computadores y teléfonos. Lo que llevó a incorporarlos a las encuestas finales. La letra b de esta pregunta corrobora esto, además de indicar problemas de descomposición de alimentos o frío producto de interrupciones prolongadas.

e) Cambio del costo de falla con las características de la falla (pregunta 5):

"... P5.-La indeseabilidad de los efectos de una interrupción del servicio eléctrico depende de la características de la falla (como su duración, hora del día o estación del año en que ocurrió). Ésto es lo que desea que usted evalúe en esta pregunta. Suponga que no conoce con anticipación ni la ocurrencia de la falla, ni cuanto durará ésta..."

Uno de los puntos de interés a conocer con la encuesta, es el cambio del costo de falla con las características de la interrupción. Tal interés se ve reflejado en la pregunta cinco.

Las características de la falla base son: ocurrencia en invierno, después de las cuatro de la tarde y un día hábil de la semana. Se varían éstas, para que el encuestado indique el grado de indeseabilidad que los efectos de la nueva situación le producen.

e1) Variación de la frecuencia de las interrupciones (P5-a):

"... (P5-a) ¿Cuáles son los efectos de una interrupción de 4 hrs., en invierno, en un día de la semana (lunes a viernes) después de las 4 de la tarde?..."

Aquí, la comparación se efectúa con la variación del número de fallas. La tabla 3.4 indica los resultados obtenidos

Existe una clara progresión del grado de indeseabilidad al aumentar la frecuencia de la falla. Así, se va de efectos poco indeseables, en promedio, para una

falla que ocurre una vez al año, hasta muy cerca de extremadamente indeseables, para una vez al día, como lo indica el valor 5,67. Los valores de la moda para las distintas situaciones crecen también progresivamente con la gravedad de la situación. La disminución de la desviación estándar indica una mayor convergencia hacia el valor promedio de indeseabilidad, en la medida en que aumenta la frecuencia de la falla. Lo cual señala claramente, la conciencia por parte del encuestado del grado de perjuicio que le está significando el aumento del número de interrupciones en el año.

Tabla 3.4 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio del número de interrupciones

VARIACIÓN DEL NÚMERO DE FALLAS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
Una vez al año	2,10	1,16	2,00
Una vez al mes	3,62	1,08	4,00
Una vez a la semana	4,86	0,93	5,00
Una vez por día	5,67	0,79	6,00

e2) Variación de la estación del año (P5-b):

"... (P5-b) ¿Cómo lo afecta una falla un día de la semana (lunes a viernes), después de las cuatro de la tarde y sólo una vez al mes?..."

La variación se hizo ahora respecto a la estación del año en que ocurre la falla. La tabla 3.5 muestra los resultados:

Resulta claro de los resultados, que la peor estación es invierno y la menos conflictiva verano. La menor desviación estándar obtenida en verano señala la mayor convergencia de los encuestados hacia el valor promedio, a diferencia de otoño e invierno.

Tabla 3.5 Variación del grado de indeseabilidad según la estación del año

VARIACIÓN DE LA ESTACIÓN DEL AÑO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
Verano	2,05	1,06	2,00
Otoño	3,29	1,31	3,00
Invierno	4,48	1,33	5,00
Primavera	2,79	1,22	3,00

e3) Variación de la hora y de la duración de la interrupción (P5-c):

"... (P5-c) Si la falla ocurre un día de la semana en invierno y una vez al mes, ¿Cuál es el grado de indeseabilidad?..."

La variación se hizo ahora respecto a la duración de la interrupción y dependiendo si la falla ocurría antes o después de las cuatro de la tarde. A continuación se muestran los resultados

Tabla 3.6 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio de la duración de las interrupciones. Falla antes de las cuatro de la tarde

VARIACIÓN DE LA DURACIÓN DE LA FALLA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
20 minutos	2,17	1,31	2,00
Una hora	3,14	1,47	4,00
Cuatro horas	4,55	1,29	5,00

Tabla 3.7 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio de la duración de las interrupciones. Falla después de las cuatro de la tarde

VARIACIÓN DE LA DURACIÓN DE LA FALLA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
20 minutos	2,62	1,50	2,00
Una hora	3,86	1,32	4,00
Cuatro horas	5,05	1,15	6,00

Existe una clara progresión del valor promedio del grado de indeseabilidad con la duración de la falla. Se observa, también, la mayor indeseabilidad de la falla después de las cuatro de la tarde. Ésto era de esperarse, si se considera que los usos de la electricidad aumentan notablemente al iniciarse el atardecer; ya que, empieza a llegar el grupo familiar a su casa y se utilizan más frecuentemente aquellos aparatos relacionados con la electricidad.

e4) Variación del día de la semana (P5-d):

"...(P5-d) ¿Qué tan indeseables son los efectos de 4 horas mensuales de interrupción?..."

Una última característica de interés de la interrupción, es si ésta se produce en la semana hábil o el fin de semana. La tabla 3.8 describe los resultados obtenidos sobre el tema.

Los números indican una gran similitud para el encuestado entre la indeseabilidad de una falla en la tarde del fin de semana y la tarde de la semana hábil; lo cual se condice con el aumento del consumo residencial después de las cuatro de la tarde.

Tabla 3.8 Variación del grado de indeseabilidad con el cambio del día de la semana

VARIACIÓN DEL DÍA DE LA SEMANA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MODA
Un Sábado o Domingo antes de las cuatro de la tarde	3,00	1,50	3,00
Un Sábado o Domingo después de las cuatro de la tarde	3,98	1,37	4,00
Un día de Lunes a Viernes después de las cuatro de la tarde	4,31	1,32	4,00

f) Determinación del costo de falla

Para las tres metodologías, el costo de falla se normaliza según consumo anual de energía. Se tiene así, costo de falla de acuerdo a su duración (US\$) dividido por consumo anual de energía. Debe tenerse presente ésto, pues lo ideal sería normalizar por energía interrumpida, pero dicha información no se dispone directamente.

f1) Metodología de acción preparatoria (pregunta 6):

"... P6.- Suponga que se enfrenta al siguiente escenario: la compañía eléctrica le ha informado que sufrirá una interrupción del suministro eléctrico, después de las cuatro de la tarde entre Lunes y Viernes. Sin embargo, no sabe la hora en que ocurrirá, ni en que día. En la tabla siguiente, aparecen una serie de opciones que usted puede tomar como prevención dado el aviso de la compañía. **Elija una o más de estas opciones en su respuesta.** Por último, asuma que ninguna de las componentes indicadas en la tabla se encuentra en su casa y que su utilización será sólo en el momento en que se produzca la falla..."

Esta pregunta es, en lo referente a la estimación del costo de falla, la más importante. Aquí se utiliza la metodología de la acción preparatoria, utilizando el concepto de cuanto están los consumidores dispuestos a pagar por que le permitan



obtener los beneficios de la electricidad. Lo anterior constituye una forma indirecta de obtener el costo de falla.

Los valores de costo de interrupción, para los distintos escenarios, aparecen en la tabla 3.9 y están normalizados por consumo anual de energía, es decir, corresponden a costo dividido por consumo anual de energía (se utilizó una tasa de cambio de \$430/US\$)

Tabla 3.9 Costo de falla según el tipo de interrupción. Para acción preparatoria

TIPO DE INTERRUPCIÓN	PROMEDIO [US\$/kWh]
20 minutos mensuales	0,00024
1 hora mensual	0,00092
4 horas mensuales	0,01224
4 horas semanales	0,03504
1 hora diaria	0,09012

Estos valores deben tomarse con precaución, debido a la importante magnitud de la desviación estándar en cada una de los tipos de interrupciones. Reflejando la disparidad de opiniones de los encuestados respecto del valor del costo de una interrupción.

Lo más notorio es la gran diferencia entre los valores extremos, es decir 0,00024 [US\$/kWh] y 0,09012 [US\$/kWh]. Coincide con la opinión expresada por algunos encuestados respecto a su incredulidad respecto al escenario de una falla diaria.

Resulta interesante ver la progresión del costo en razón proporcional. Se tiene así, 1:4:51:146:376. (respecto al primer costo). Lo anterior señala una

progresión inicial moderada, luego una fuerte incremento para al final existir una saturación.

f2) Tasa de incremento (preguntas: 7, 9):

"... P9.- Suponga que la compañía que le ofrece el suministro eléctrico en la actualidad, aumentó el número de interrupciones. Además, existe otra empresa que le ofrece un servicio sin interrupciones.

P9-a Si su compañía actual le proporciona un servicio, cuyas interrupciones del suministro totalizan **cuatro horas mensuales**; indique si elegiría o no a la compañía alternativa, que le ofrece un servicio sin interrupciones, pero le cobra:..."

Esta pregunta es una manera indirecta de preguntarle al encuestado su costo de falla, se basa en que éste indique hasta cuanto esta dispuesto a pagar por un cambio en la calidad del suministro eléctrico entregado.

Para determinar el costo es necesario tener el valor promedio de la cuenta mensual de electricidad (obtenido en la pregunta 7); sobre la cual el encuestado indica el porcentaje de variación, de acuerdo al escenario planteado.

La siguiente tabla entrega los resultados de las tasas de incremento asociadas a si la falla dura cuatro horas mensuales (P9-a), cuatro horas mensuales (P9-b), o una hora diaria (P9-c).

Tabla 3.10 Tasa de incremento según la frecuencia de la falla

PARÁMETRO	P9-a	P9-b	P9-c
Promedio	9,25	18,38	31,50
Desviación	7,12	14,95	31,87
Moda	10,00	15,00	15,00

Se puede observar de los valores promedio, una progresión aproximadamente de 1:2:3, de las tasas de incremento. Por lo tanto, no se nota un

fenómeno de saturación. Lo anterior es sólo en el promedio; ya que, en la desviación estándar se observa la diferencia notable que existe entre los encuestados, especialmente en la última situación en que la interrupción de una hora diaria aparecía para algunos encuestados como imposible de imaginar o aceptar.

En base a los valores de la tasa de incremento para cada encuestado, se estimó el costo de falla. Lo anterior se llevó a la práctica, multiplicando dicha tasa por el valor mensual de la cuenta eléctrica de los encuestados, disponible de la pregunta P7. Para efectos de determinar el valor en dólares del costo de una interrupción, se consideró el tipo de cambio en \$430/US\$. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la tabla 3.11 y corresponden a costo de falla según duración de ésta (US\$) dividido por consumo anual de energía (kWh).

Tabla 3.11 Costo de falla según la frecuencia de interrupción. Estimación en base a tasa de incremento

TIPO DE INTERRUPCIÓN	PROMEDIO [US\$/kWh]
4 horas mensuales	0,00586
4 horas semanales	0,01164
1 hora diaria	0,02000

De los números obtenidos, se puede observar que se confirma la no existencia de la saturación en la progresión del costo de falla, de acuerdo a la gravedad de la interrupción.

f3) tasa de decremento (pregunta 7 y 10):

"... P10.- Suponga que su actual compañía eléctrica ofrece reducirle el precio que actualmente le cobra en su cuenta. Sin embargo, le indica que ahora habrá una interrupción una vez al mes y durará cuatro horas. ¿En cuánto (porcentualmente), le debe reducir la compañía el valor de su cuenta para que acepte?:..."

Aquí se ve la disposición del encuestado a aceptar la reducción de la confiabilidad del servicio, a cambio de la reducción del monto cobrado en la cuenta de electricidad. Este valor también se utiliza para la determinación del costo de falla,

pero en el escenario particular ocupado, que es una falla de cuatro horas mensuales.  
La tabla 3.12 resume los resultados obtenidos

Tabla 3.12 Tasa de decremento para una falla de cuatro horas mensuales según la frecuencia de la falla

PARÁMETRO	TASA DE DECREMENTO
Promedio	22,50
Desviación	18,26
Moda	15,00

Comparando la tasa de incremento promedio para una interrupción de cuatro horas semanales (9,25) y la de la tasa de decremento promedio (22,5), se puede apreciar la poca similitud de los valores obtenidos. El mayor valor promedio obtenido para la tasa de decremento, se justifica por el recelo inherente de las personas a reducir su actual estado, sin que se le retribuya adecuadamente. Lo anterior se complementa si se piensa que por naturaleza los clientes de un servicio están dispuestos a pagar una menor diferencia por un mejor producto, que lo que cobrarían por aceptar la reducción (en un mismo porcentaje) de la calidad del mismo producto.

El costo de falla se obtiene de forma análoga al determinado con la tasa de incremento. Obviamente existe una diferencia conceptual de como se mide el costo de falla por lo antes explicado. El costo de falla promedio obtenido es de 0,01409 [US\$/kWh] (costo dividido por consumo anual de energía).

g) Relación precio/confiabilidad del suministro eléctrico

"... P8.- Con respecto al precio que la compañía le cobra por la electricidad; y el número de interrupciones que sufre en la actualidad, ¿cuál de las siguientes alternativas elegiría?:..."

Esta pregunta busca estudiar cual relación (precio/número de interrupciones) más aceptada por los encuestados. La información obtenida conlleva complementar la información sobre la apreciación del suministro eléctrico prestado,

como la disponibilidad de los encuestados a mejorar el servicio, con el consiguiente aumento de tarifas.

Los resultados indican que el 65% (promedio), desea mantener la actual relación (precio/número de interrupciones). Mientras que un 25% estima que el precio se debe mantener, bajando además el número de interrupciones. Se puede observar que la mayoría de los encuestados están por mantener el actual estado de las cosas, lo cual está bastante de acuerdo con la calificación del servicio prestado por la compañía de electricidad. De los encuestados que manifiestan su deseo de la reducción del actual número de fallas, pero manteniendo el precio, consideraron en un alto porcentaje que el servicio es caro o las interrupciones son muy perjudiciales.

#### h) Características del encuestado

"... P11.- ¿Cuánta gente, incluyendo niños, viven en su casa?: (excluya asesoras del hogar o semejante)..."

"... P12.- Edad de quien(es) respondió(eron) la encuesta: ..."

"... P13.- Sexo de quien(es) respondió(eron) la encuesta: ..."

"... P14.- Tipo de educación de quien(es) respondió(eron) la encuesta: ..."

"... P15.- Comuna en que vive el grupo familiar: ..."

"... P16.- Ingreso líquido mensual del grupo familiar:..."

"... P17.- Tipo de vivienda: ..."

"... P18.- Indique en la siguiente tabla, el número aparatos para calefacción existentes en su hogar: ..."

"... P19.- ¿Usted conduce negocios desde su casa que representen más del 5% de ingreso familiar?: ..."

Conocer las características del encuestado permite efectuar las correspondientes correlación entres éstas y el costo de falla. Se establece, luego, si es conveniente determinar el costo de falla según éstas características, para un mejor tratamiento de los resultados.

Dado que en este caso no tiene sentido establecer correlaciones válidas por el tamaño y mecanismo por el que fueron obtenidas las muestras.

Para completar este subcapítulo es conveniente indicar entre que variables es conveniente establecer correlación. Se dividen en dos grupos. Donde todas las variables de un grupo deben ser correlacionadas con todas las variables del otro.

El primer grupo lo constituyen las variables relacionadas con las características del usuario y su experiencia frente a interrupciones del suministro eléctrico, y son: número de fallas (P1-a), precio de la electricidad (P1-b), calificación del servicio eléctrico (P1-c), número de fallas de en los pasados dos años (P2-a), número de fallas de corta duración (P2-b), número de fallas de más de cuatro horas (P2-c), fallas recientes (P2-d), cuenta mensual (P7); número (P11), ingreso (P16) y comuna (P15) del grupo familiar; edad (P12), sexo (P13), educación (P14) de quien contesta la encuesta; calefacción utilizada (P18), negocios conducidos en el hogar (P19).

En el segundo grupo se encuentran las respuestas asociadas con el valor del costo de falla según el escenario, es decir: Acción preparatoria (P6: a, b, c, d), tasa de incremento (P9: a, b, c) y tasa de decremento (P10).

### **3.3 Encuesta de los Sectores Comercial e Industrial Menor**

#### **3.3.1 Introducción**

Las encuestas diseñadas para los sectores comercial e industrial menor fueron aplicadas sobre una muestra de seis y cinco empresas respectivamente. Resultando ocho muestras válidas (cuatro por sector). Los resultados que a continuación se muestran deben tomarse con la precaución que son sólo una porción mínima de cada sector. La atención en esta sección debe centrarse en la forma en que se procesan las encuestas y sobre las mejoras que se realizan producto de las recomendaciones y comentarios de los encuestados.

#### **3.3.2 Exposición y análisis de los resultados**

A grandes rasgos, las preguntas de los sectores industrial y comercial poseen semejanzas y en algunos casos son equivalentes. La mayor profundidad de una respecto de otra, radica principalmente en la capacidad de cada sector a contestar

preguntas más o menos específicas. Por lo anterior, se prefirió mostrar simultáneamente los resultados de aquellas preguntas coincidentes o semejantes; viéndose separadamente las distintas.

Como la muestra es pequeña se prefirió utilizar sólo promedios para mostrar los resultados. Es conveniente recordar que se debe poner mayor atención a la forma de manejar y analizar los resultados, que a éstos.

a) Disponibilidad de equipos standby

Una de las maneras de procesar las respuestas para obtener un valor de costo de falla, es agrupar y comparar los costos según si existe o no equipos standby en la empresa. Juntando a los que poseen éstos equipos de acuerdo a su tipo. La mayoría de los encuestados no posee estos equipos (tabla 3.13) de respaldo por lo que no es posible establecer una comparación.

Tabla 3.13 Equipos standby por sector

Tipo de Generación Eléctrica	Sector Comercial	Sector Industrial
Ninguno	3	3
Sistema de Baterías	1	1
Generadores a Combustible		
UPS	1	

b) Costo de falla

"... P6. Suponga que se encuentra frente al siguiente escenario: se produce una interrupción del suministro eléctrico a las 10 de la mañana, un día viernes de mediados de Julio.

A continuación aparece una tabla con la cual se desea determinar su costo de falla, al verse afectados la producción o servicios que presta su empresa producto



de la interrupción. Además, se quiere saber como varían dicho costo con la duración de la interrupción...."

Como se observa se le pide que se determine el costo de falla, dependiendo del sector de la industria afectada y la duración de la misma. La mayoría de los encuestados entendió el formato con que se les preguntaba, obteniéndose respuestas válidas, pero dispersas producto de la diferencia de rubro entre los encuestados. La tabla 3.14 entrega un resumen de lo obtenido (se utilizó tipo de cambio \$430/US\$)

Tabla 3.14 Costo de falla según la duración de ésta

Duración de la Interrupción del Suministro	Costo de Falla [US\$/kWh]	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Menos de un minuto	0,00000	0,00000
Un minuto	0,00096	0,00193
20 minutos	0,00306	0,00506
1 hora	0,00842	0,01094
4 horas	0,01552	0,01655
8 horas	0,05153	0,04045
1 día	0,09602	0,11991

Se observa una variación incremental significativa. Se va desde ningún costo hasta 0,09602 y 0,11991 para comercial e industrial respectivamente. Los encuestados consideraron que el costo de falla estaba asociado con el valor de producción y ventas que se dejaba de realizar, como de los posibles perjuicios de imagen por incumplimiento de contrato.

c) Variación del costo de falla con el año, semana y día de ocurrencia de ésta

"... Esta pregunta se desea conocer como varía, para su empresa, el costo de falla según el mes, semana o día de ocurrencia de la interrupción. Para ello, **compare** el cambio porcentual que su costo experimentaría con la siguiente situación base: **Una interrupción a las 10 de la mañana, un día viernes de mediados de Julio** ... "

Saber como varía el costo de falla a lo largo del año y respecto a la peor situación de interrupción del suministro, constituye una información complementaria de alta relevancia. Se tiene como resultado una escala porcentual del cambio del costo de falla con el mes, día y hora de ocurrencia de la falla. Las siguientes tablas resumen los resultados

Tabla 3.15 Variación del costo de falla con el mes del año

Mes del Año	Cambio Porcentual comparado con Julio	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Enero	-31,25	31,25
Febrero	-6,25	6,25
Marzo	25,00	18,75
Abril	12,50	25,00
Mayo	12,50	6,25
Junio	6,25	0,00
Julio	0,00	0,00
Agosto	12,50	6,25
Septiembre	-6,25	6,25
Octubre	0,00	12,50
Noviembre	6,25	12,50
Diciembre	6,25	-6,25

Tabla 3.16 Variación del costo de falla con el día de la semana

Día de la Semana	Cambio Porcentual Comparado con el Día Viernes	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Lunes	-6,25	-18,75
Martes	-6,25	-6,25
Miércoles	0,00	0,00
Jueves	6,25	18,75
Viernes	0,00	0,00
Sábado	6,25	-18,75
Domingo	93,75	-100,00

Tabla 3.17 Variación del costo de falla con la hora del día

Hora del Día	Cambio Porcentual Comparado con las 10 de la Mañana	
	Sector Comercial	Sector Industrial
De 6:00 a 9:59	-12,50	37,
A las 10:00	0,00	0,00
De 10:01 a 12:00	0,00	25,00
De 12:01 a 16:00	0,00	6,25
De 16:01 a 18:00	12,5	18,75
De 18:01 a 20:00	0,00	18,75
De 20:01 a 23:59	-50,00	-37,50
De 0:00 a 5:59	-100,00	87,50

Si los datos obtenidos fueran representativos de los sectores, se podría realizar una categorización según variaciones porcentuales equivalentes. Por ejemplo, entre Mayo y Septiembre el sector industrial muestra valores de variación

porcentual menores a 6,25%. Asumiendo este criterio, sería factible evaluar el costo de falla comparándolo con otro grupo.

d) Efectos sobre el costo de falla, si existe aviso previo o indicación de la duración de la interrupción.

Conocer la influencia que sobre el costo de falla tiene la información que pueda entregar la compañía de electricidad, permite dimensionar su valor. Si las cifras lo confirman, esta variable puede ser de gran interés al momento de buscar caminos alternativos para la reducción del costo de falla, sin tener que recurrir siempre a soluciones onerosas.

Tabla 3.18 Posibilidad de reducción del costo de falla si la compañía informa de la duración de la interrupción inmediatamente después de ocurrida ésta

	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Puede reducirse el costo de falla	2	3
No puede reducirse el costo de falla	2	1

Tabla 3.19 Posibilidad de reducción del costo de falla si la compañía informa previamente de ocurrencia de la interrupción

	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Puede reducirse el costo de falla	3	4
No puede reducirse el costo de falla	1	0

Tabla 3.20 Tiempo previo mínimo con que se debe avisar sobre la ocurrencia de la interrupción para reducir el costo de falla

Número de Horas	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
De 1 a 4	1	
De 5 a 16	2	1
De 17 a 24	1	2
De 25 a 48		1
Más de 48		

Los encuestados indicaron en su mayoría que un aviso inmediatamente posterior a la ocurrencia de la interrupción les permitiría reducir su costo de falla. La mayoría indicó que aún cuando la falla estaba en curso, el aviso permitía programar el trabajo a realizar una vez finalizada la interrupción, en base a el tiempo que no se produciría o vendería. Además, se podría contactar clientes en informarles con certeza, la modificación o no de plazos de entrega.

En el caso de que se avisa previamente a la falla su duración, prácticamente todos los encuestados de los dos sectores indican que habría una reducción del costo de falla. El tiempo previo que se necesita varía entre una y 48 horas. Según se observó, el mayor tiempo lo requerían quienes vendían productos bajo plazos y multas por retrasos. La razón, es que el aviso previo les permitiría a los afectados programar su producción u organización para cumplir con los plazos.

e) Prevención de riesgo a clientes o personal de la empresa

De los factores más relevantes dentro de toda empresa y sociedad, está la seguridad de los clientes y del personal. Pues aparte de ser una exigencia, atañe directamente la imagen y ventas de la compañía.

Esta pregunta busca establecer si el corte de suministro eléctrico implica daños. Si es así, se busca determinar con cuanto tiempo de anticipación se debe prevenir de la falla para evitarlos. Las tablas siguientes muestran los resultados.

Tabla 3.21 Posibilidad de daño a clientes o personal

	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Puede producirse daño	3	2
No puede producirse daño	1	2

Tabla 3.22 Tiempo previo mínimo con que se debe avisar sobre la ocurrencia de la interrupción para reducir considerablemente daños

Número de Horas	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Menos de 1 hora		
De 1 a 4 horas	1	
De 5 a 16 horas	1	
De 17 a 24 horas	1	
De 25 a 48 horas		2
Tres días		

f) Preferencias respecto a forma de racionar el suministro.

"... Suponga que es necesario el racionamiento del suministro eléctrico durante cuatro horas en la semana. Usted considera que su industria prefiere:

Más frecuencia, menos duración (p. ej.: cuatro fallas de 1 hora durante la semana)

Menos frecuencia, más duración (p. ej.: una falla de 4 horas durante la semana)

..."

Como se observa se busca establecer cuales son las preferencias del consumidor respecto a las variables frecuencia y duración. Los resultados están en la tabla 3.23.

Tabla 3.23 Preferencias de racionamiento

	Número de Respuestas	
	Sector Comercial	Sector Industrial
Más frecuencia, menos duración	2	0
Menos frecuencia, más duración	2	4

Se puede observar una diferencia significativa entre los dos sectores. Mientras en el sector industrial todos los encuestados prefieren fallas menos frecuentes, pero de más duración, en el caso comercial la opinión está dividida. Los industriales justificaron su preferencias por la partida de sus máquinas y los problemas de coordinación del personal. En el caso comercial, quienes prefirieron más frecuencia y menos duración indicaron que se debía a que fallas más prolongadas alejaban a los clientes.

g) Recuperación de producción y/o servicios (sólo para sector industrial)

"... ¿Puede su industria restituir la producción o servicios perdidos durante una interrupción del suministro eléctrico, en días siguientes a la falla, sin tener que recurrir a contratar más empleados o usar horas extras?...."

Nuevamente se busca establecer información adicional de como se ven afectado los sectores industrial menor y gran industrial. En particular se busca establecer, el grado de daño a la producción y o servicios dependiendo de la duración de la falla. Los resultados se muestran en la tabla 3.24.

A partir de una hora de interrupción empiezan a producirse pérdidas no recuperables sino se recurre a horas extraordinarias o a contrata part-time. Nuevamente la principal justificación fue el tener que responder a plazos fijos en entrega de productos.

Tabla 3.24 Recuperación de producción y/o servicios

Duración de la Falla	Cuanto se Recupera (por número de respuestas)			
	Nada	Poco	La mayoría	No hay Pérdidas
Momentánea	0	0	0	4
1 minuto			1	3
20 minutos			3	1
1 hora		1	3	
4 horas		2	2	
8 horas		4		
1 día		4		

## h) Otros tópicos

## h1) Experiencia anteriores sobre fallas.

"... Indique cuantas interrupciones eléctricas cree haber sufrido en los últimos dos años ..."

"... En promedio, ¿cuánto han durado estas interrupciones?..."

"... ¿Cuándo experimentó la última falla y cuánto duró?..."

Ésta es información complementaria que permite ayudar al encuestado a contestar el cuestionario, además de entregar información historial de fallas anteriores. En los casos industrial menor y comercial la información que se pide es menos exhaustiva que en el caso del gran industrial.

## h2) Características de la empresa

En el caso comercial:

"... Señale el espacio físico que su compañía ocupa:..."

"... ¿Aproximadamente, cuánto es su nivel anual de ventas?:..."

"... ¿Cuánta gente trabaja en su empresa?..."

"... ¿Su local esta dentro de un Centro Comercial o Mall?:..."



"... Indique el valor promedio de su cuenta mensual de electricidad y de su consumo mensual:..."

Para el caso del sector industrial existen otras características:

"... ¿Cuál es el principal producto de su empresa?:..."

"... ¿Cuántos trabajadores están empleados en su empresa?:..."

"... ¿Cuántos turnos operan normalmente?:..."

"... ¿Cuál es el consumo de energía en MWh y la demanda peak de kVA de su industria?:..."

"... ¿Cuál es su factor de potencia promedio?:..."

Así se puede correlacionar el costo de falla con estas características, y ver si existe o no una estrecha relación con ellas que hagan generar subgrupos para análisis más completos del costo de falla. El valor de suministro eléctrico se utiliza para llevar los resultados a los formatos estándar de US\$/MWh y US\$/kW. Es decir, normalizando según consumo anual de energía y demanda peak anual.

### h3) Variables a correlacionar

La información que se tiene es poca, por lo que no tiene sentido establecer correlaciones que permitan agrupar los costos. Sin embargo, es interesante conocer que variables se deben correlacionar, por lo que se indican a continuación:

El costo de falla, para las distintas duraciones de la falla y según las tres categorías [US\$ promedio], [US\$/MWh], [US\$/kWh] se correlaciona con:

### Tipo de equipos standby

### Consumo anual de energía (MWh)

### Demanda peak anual (kW)

### Número de fallas en los últimos dos años

### Duración promedio de las interrupciones (horas)

### Experiencia de recientes fallas.

Así se tiene información clara de que variables son más relevantes en el valor del costo de falla.

### **3.4.- Cambios Resultantes de las Indicaciones de los Encuestados**

Una de las motivaciones principales de aplicación de las encuestas a la muestra de prueba fue su perfeccionamiento. Los principales aportes de los encuestados fueron en orden a cambiar la redacción o estructura de las preguntas para tener un mejor entendimiento de ellas. También se agregaron usos eléctricos que según los usuarios eran de relevancia, como es el caso de computadores en el sector residencial.

Detallar los cambios sería extenso. Por ésto, se prefirió entregar las encuestas finales para ver el producto de las mejoras conseguidas.

Se debe señalar que las encuestas generadas son de uso en fallas de corta duración, en razón de la duración de las fallas presentes en los escenarios de fallas planteadas. En el caso de las interrupciones de larga duración, sería interesante adaptar las encuestas para abarcar estas fallas.

## **IV COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES**

### **4.1 Ventajas, Restricciones y Utilización de los resultados de Metodología Directa**

La metodología directa es en la actualidad ampliamente utilizada, como se demostró en la revisión bibliográfica. Ahora, como todo método tiene una serie de características positivas y negativas, las cuales es necesario señalar o recordar.

Sus ventajas están centradas principalmente en lo valioso que resulta consultarle el costo de falla directamente al afectado por la interrupción. Luego, la información complementaria que se puede extraer es altamente relevante, pues aparte de conocerse la impresión del encuestado sobre el servicio que se le está suministrando, y como se ve afectado por la falla (según las características del afectado y de la falla), se establece una relación más estrecha entre quien ofrece el producto y servicio y quien lo consume.

Por otro lado, existen limitaciones en los resultados; aún si la muestra encuestada fuese apropiada. Dicha restricciones radican en la estructura misma de la encuesta y en los encuestados. En la primera, porque se establecen sólo algunos escenarios de falla (producto de las limitaciones de espacio), se abarca principalmente fallas de corta duración, se consideran costos directos, los indirectos y/o no económicos son someramente analizados, se compara con un situación específica y el entorno real puede ser distinto. En cuanto a los encuestados, sus respuestas son predicciones, y en la situación real pueden alejarse de sus estimaciones, muchos de ellos no tienen suficiente experiencia en los escenarios planteados, algunos de los que no responden pueden tener opiniones divergentes o costos de falla distintos a los planteados; además, en Chile las personas tienen cierta desidia a responder encuestas, así que se les debe incentivar más que en otros países para obtener una buena tasa de respuestas.

La utilización de los resultados de la metodología directa es amplia. La ponderación de los valores del costo de falla de cada sector, según su porcentaje de consumo, da lugar la función de costos de falla compuesta, conocida internacionalmente como, Composite Customer Damage Function (CCDF). Esta

función se utiliza en planificación y operación de los sistemas de potencia. En la rama de confiabilidad tiene también importante usos los valores de costo de falla obtenidos según la metodología directa, principalmente en los índices Expected Energy Not Supplied (EENS) e Interrupted Energy Assessment Rate (IEAR) [Bill91].

#### **4.2 Alcances y Limitaciones de los Resultados Obtenidos**

La intención de esta memoria fue entregar una herramienta utilizable en la realidad chilena para determinar el costo de falla. Es claro, que parte del proceso de depuración de tal herramienta es su aplicación a una muestra. Como se indicó, en el texto de la memoria, las encuestas se aplicaron sobre una muestra reducida. Por lo tanto, los resultados obtenidos son una ilustración del proceso de procesamiento de las encuestas y deben tratarse con cuidado a la hora de sacar conclusiones sobre ellos.

Lo antes expuesto implica la poca validez estadística de la muestra. Sin embargo, permite tener una referencia del valor del costo de falla. Pero sin lugar el principal aporte es conocer como responden las personas a las encuestas; lo cual, permite ver si éstas se entienden, y se contestan adecuadamente, además de que tan objetivas son las respuestas. Así la herramienta de evaluación de costo de falla se mejora y se verifica si existe la capacidad de contestar lo que se pregunta, especialmente en las encuestas a empresas.

#### **4.3 Resumen y Comentarios de los Resultados**

En los puntos anteriores se indicó las limitaciones de los resultados de la aplicación de las encuestas a pequeñas muestras. Al momento de ver y analizar los resultados éste debe estar presente.

En la encuesta aplicada al sector residencial se obtuvo los siguientes valores de costo de falla para las tres metodologías utilizadas:

Tabla 4.1 Costo de falla para el sector residencial

Duración de la Interrupción del Suministro	Costo de Falla [US\$/KWh]		
	Acción Preparatoria	Tasa de Incremento	Tasa de Decremento
20 minutos	0,00024		
1 hora	0,00092		
4 horas	0,01224	0,00516	0,00120
8 horas	0,03504	0,01024	
1 día	0,09012	0,0170	

Se puede observar una cercanía de los valores para las tres metodologías en el caso de una interrupción de cuatro horas mensuales. Uno de los puntos destacables de los resultados obtenidos, es que no se observó en el caso de la tasa de decremento una saturación progresiva.

Se debe hacer el siguiente alcance, los tres enfoques miden diferentes aspectos del valor de la confiabilidad y no son estrictamente comparables. Cada uno relaciona distintas actitudes, percepciones y necesidades del consumidor. Además, no utilizan los mismos escenarios.

Los datos que aparecen para la comparación indican una gran diferencia de valores. Sin embargo, son realidades distintas y los valores obtenidos de la muestra de prueba constituyen sólo una referencia y en ningún caso representan a la población.

En la siguiente tabla se compara los valores obtenidos en el presente trabajo con los resultados de un informe de 1985 en Canadá [Wack89b], para la metodología preparatoria. Los valores de la referencia están en dólares canadienses

de 1985. Los del presente trabajo en dólares americanos de 1984 (tipo de cambio US\$/\\$ 430).

Tabla 4.2 Comparación del costo de falla con Canadá. Para acción preparatoria

Duración de la Interrupción del Suministro	Costo de Falla [US\$/KWh]	
	Presente Trabajo	Canadá
20 minutos	0,00024	0,00005
1 hora	0,00092	0,00027
4 horas	0,01224	0,00262
8 horas	0,03504	0,00922

Se observa diferencias significativas. Sin embargo los resultados del presente trabajo son sólo referencia del procedimiento a seguir al utilizar las encuestas desarrolladas, no existiendo argumentos para asegurar que dichos valores son representativos de la población. Se debe señalar además que el trabajo de Canadá es a gran escala y sobre una población ya acostumbrada a responder los cuestionarios diseñados en este país.

La siguiente tabla resume los resultados del sector industrial y comercial

Tabla 4.3 Costo de falla según la duración de ésta para sectores industrial y comercial

Duración de la Interrupción del Suministro	Costo de Falla [US\$/kWh]			
	Sector Comercial		Sector Industrial	
	Presente Trabajo	Canadá	Presente Trabajo	Canadá
Un minuto	0,00096	0,00000	0,00193	0,00032
20 minutos	0,00306	0,00126	0,00506	0,00123
1 hora	0,00842	0,00292	0,01094	0,00262
4 horas	0,01552	0,01046	0,01655	0,00741
8 horas	0,05153	0,02751	0,04045	0,01427

En lo referente a los resultados del presente trabajo, se puede observar una progresión de los valores. La mayoría de los encuestados consideró las pérdidas por producción o ventas no realizadas como los factores más relevantes en sus pérdidas. Además de los posibles perjuicios por plazos no cumplidos en las entregas.

En cuanto a los resultados comparativos, y tomando en cuenta que lo pequeña de la muestra tomada no permite asegurar la tendencia del país respecto de los valores reales de costo de falla, se aprecia una diferencia significativa en algunos casos entre los de Canadá y los del presente trabajo, en otros la diferencia no es tan notable. Aún cuando los valores son comparativamente distintos, no existe una diferencia exagerada que haga desconfiar de la aplicación de la metodología en el país.

Los resultados obtenidos no fueron lo suficientemente cercanos a los de la referencia, como se hubiese deseado. Sin embargo, lo pequeña de la muestra no permite asegurar que estos valores sean representativos de la realidad nacional. Se recalca por último, que se buscó mostrar la forma de procesar y analizar las encuestas

como forma de ilustrar las capacidades de las encuestas. En vista de lo anterior los resultados numéricos se deben tomar con la correspondiente precaución.

Para redondear la comparación de los resultados con otros países, en los siguientes gráficos se muestran los resultados del presente trabajo, y los obtenidos en el trabajo de K. Kariuki, en la CEA y en Ontario. Se eligió como unidad el costo de falla dividido por la demanda peak anual, ya que como se indicó en el texto los resultados de las encuestas del presente trabajo tienen aplicación principalmente en fallas de corta duración.

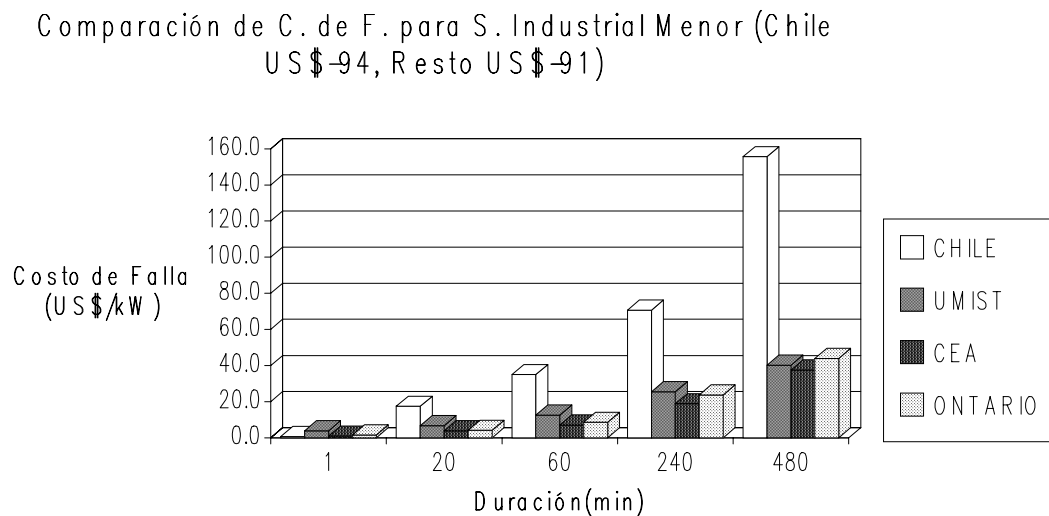


Figura 4.1 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector industrial menor



Comparación de C. de F. para S. Comerciall (Chile US\$-94, Resto US\$-91)

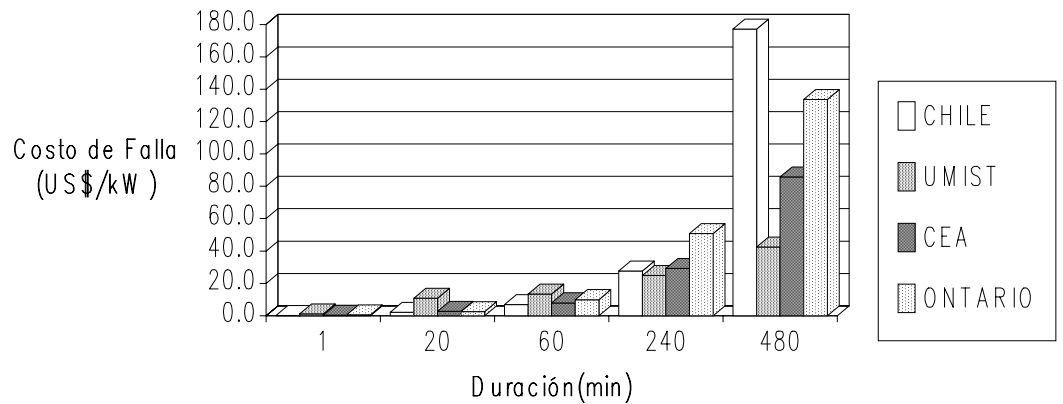


Figura 4.2 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector comercial

Comparación de C. de F. para S. Residencial (Chile US\$-94, Resto US\$-91)

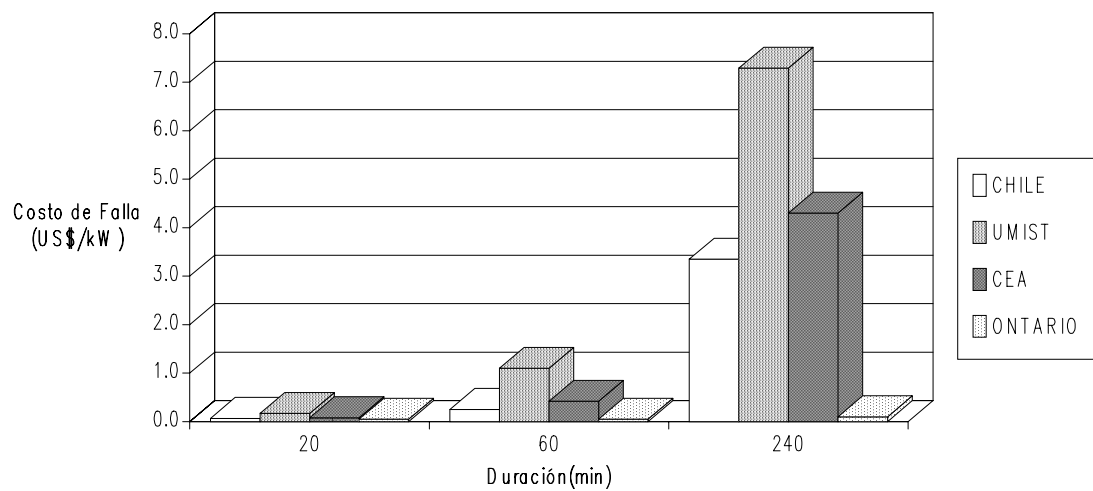


Figura 4.3 Comparación del costo de falla normalizado por demanda peak anual, para el sector residencial

#### **4.4 Recomendaciones y Desarrollos Futuros**

La presente memoria mostró las metodologías existentes para la evaluación del costo de falla. Se seleccionó la metodología directa como la mejor herramienta para aplicar en el país. Dado lo completa que resulta la información entregada por ella respecto al valor y efectos de una interrupción del suministro eléctrico.

De todos los antecedentes expuestos, se puede concluir que es factible aplicar las encuestas generadas a la realidad nacional y obtener una buena estimación del costo de falla. Existe sin embargo, poca experiencia en los distintos sectores elegidos para aplicar la metodología directa. Además, existen estudios a realizar en el futuro, que permitirían complementar la presente memoria. Por esto, debe ponerse atención a las recomendaciones que a continuación se hacen

La elección de la muestra debe ser exhaustiva, para darle validez a los resultados que se obtengan. En lo posible, se debe contar con la colaboración con las empresas insertas en la generación y distribución de energía eléctrica. Además, se debe disponer de información básica, como clasificación de las industrias y comercio, como de contacto con las asociaciones que las agrupan. Así se consigue tanto la información sobre los consumidores, que permite generar muestras representativas de los distintos sectores consumidores del suministro eléctrico, como los contactos que permitan asegurar una buena tasa de respuestas.

La muestra debe ser tomada en mes de Julio o meses colindantes, ya que se asegura mayor certeza en la comparación que los encuestados realicen con el caso base, el cual está puesto en la semana de (históricamente) mayor consumo.

Los resultados que se obtienen de la metodología directa tienen que ser tratados con cuidado, aún cuando la muestra sea representativa de la población. Lo anterior se debe a que el costo de falla resultante depende fuertemente de factores: geográficos, demográficos y socioeconómicos. Esto dificulta la transferibilidad de los valores obtenidos de una área a otra. A lo anterior, se suma el hecho que se utilizan sólo algunos escenarios de interrupción, y los resultados están restringidos a ellos.

La normalización que se efectúa para el valor del costo de falla es respecto a la energía anual consumida (kWh) y la demanda peak anual (kW). Resultan así tres valores para el costo de falla, que están expresados en las siguientes unidades: US\$, US\$/kWh y US\$/kW, los cuales varían según la duración de la interrupción. Para obtener valores de costo de falla propiamente tal, es decir costo monetario dividido por energía o demanda peak fallada, existe un índice, denominado IEAR [Bill87] [Bill91b]. Para utilizar la CCDF en este índice se utiliza la metodología de frecuencia, duración [Bill90]. Es conveniente desarrollar un programa con ella para complementar el presente trabajo.

Los resultados de la presente memoria son aplicables a fallas de corta duración. Así se puede rediseñar las encuestas del presente trabajo, para abarcar fallas de larga duración.

En el largo plazo, sería altamente beneficioso que la encuesta residencial pudiese sumarse al censo nacional. Con ésto, se consigue una información sumamente valiosa, al encuestarse a la gran mayoría de los consumidores residenciales, y por lo tanto dándole gran solidez a las conclusiones que sobre el sector se hagan.

Se puede observar que existe bastante por hacer en el tema del costo de falla. Se espera que la presente memoria sea una aporte relevante que despierte y amplie futuras investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [Bill86] BILLINTON, R., WACKER, G. y SUBRAMANIAM, R. (1986) Factors Affecting the Development of a Comercial Customer Damage Function. **IEEE Transactions, Vol PWRS-1, No 4.** USA.
- [Bill87] BILLINTON, R. y OTENG-ADJEI, J. y GHAJAR, R. (1987) Comparison of Two Alternate Methods to Establish an Interrupted Energy Assessment Rate. **IEEE Transactions, Vol PWRS-2, No 3.** USA.
- [Bill88] BILLINTON, R. y ALLAN, R. (1988) **Reliability Assessment of Large Electric Power Systems.** Kluwer Academic Publisers, Massachusets, USA.
- [Bill90] BILLINTON, R. y ALLAN, R. (1990) **Reliability Evaluation of Power Systems.** Plenum Press, New York, USA.
- [Bill91a] BILLINTON, R., ALLAN, R. y SALVADERI, L. (1991) **Applied Reliability Assessment in Electric Power Systems.** IEEE Press, New York, USA.
- [Bill91b] BILLINTON, R. y OTENG-ADJEI, J. (1991) Utilization of Interrupted Energy Assessment Rates in Generation and Transmission System Planning. **IEEE Transactions, Vol 6, No 3.** USA.
- [Ende89] ENDESA (1989) **Producción y Consumo de Energía en Chile.** Endesa, Santiago, Chile
- [Jara73] JARAMILLO, P. y SKOKNIC, E. (1973) **Costo Social de las Restricciones de Energía Eléctrica.** Oficina de Planificación de Endesa, Santiago, Chile.
- [Jara93] JARAMILLO, P. (1993) Planificación de Sistemas Eléctricos de Potencia. **Apuntes de Curso, Pontificia Universidad Católica.** Santiago, Chile.

- [Kari91] KARIUKI, K. (1991) **Assessment of Customer Outage Costs Due to Electric Service Interruptions**. Department of Electrical Engineering & Electronics, Manchester, Inglaterra.
- [LeBl88] LEBLANC, W. (1988) Customer Attitudes Regarding Electric Outage Costs and Back-up Generation. **IEEE Transactions, Vol 3, No 4**. USA.
- [Mack78] MACKAY, E. y BERK, L. (1978) Cost of Power Interruptions to Industry Survey Results. **Proceedings of the Cigre, Paper 32-07**. USA.
- [Subr85] SUBRAMANIAM, R., BILLINTON, R. y WACKER, G. (1985) Factors Affecting the Development of an Industrial Customer Damage Function. **IEEE Transactions, Vol PAS-104, No 11**. USA.
- [Wack83] WACKER, G., WOJCZYNSKI, E. y BILLINTON, R. (1983) Interruption Cost Methodology and Results - a Canadian Residential Survey. **IEEE Transactions, Vol PAS-102, No 10**. USA.
- [Wack89a] WACKER, G. y BILLINTON, R. (1989) Customer Cost of Electric Service Interruptions. **IEEE Proceedings, Vol 77, No 6**. USA.
- [Wack89b] WACKER, G. y BILLINTON, R. (1989) Farm Losses Resulting from Electric Service Interruptions - a Canadian Survey. **IEEE Transactions, Vol 4, No 2**. USA.
- [Wojc84] WOJCZYNSKI, E., BILLINTON, R. y WACKER, G. (1984) Interruption Cost Methodology and Results - a Canadian Commercial Survey. **IEEE Transactions, Vol PAS-103, No 2**. USA.

**A N E X O S**

AA N E X O S .....	67
ANEXO A : ENCUESTA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL .....	68
ANEXO B : ENCUESTA PARA EL SECTOR COMERCIAL.....	79
ANEXO C : ENCUESTA PARA EL SECTOR INDUSTRIAL MENOR.....	86
ANEXO D : ENCUESTA PARA EL SECTOR GRAN INDUSTRIAL.....	94
ANEXO E : DESCRIPCIÓN DE LAS ENCUESTAS .....	106