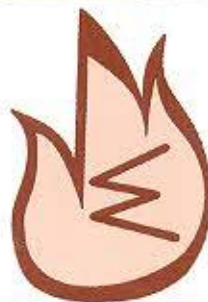


Revista Energética



Energy Magazine

Año 15
número 2
mayo - agosto 1991

Year 15
number 2
May - August 1991



Tema: Experiencia en el Planeamiento
de Sistemas Eléctricos

Topic: Experience in Power System
Planning



Método Simplificado para Determinar el Costo de Falla en el Sistema Eléctrico Costarricense

Fernando Montoya*

1. INTRODUCCION

Una interrupción inesperada o falla en el suministro eléctrico provoca una pérdida para los consumidores, medida en términos de pérdida de bienes y servicios y pérdida en la satisfacción que produce el uso de la electricidad en las diferentes actividades cotidianas.

Existen dos líneas de pensamiento sobre cómo estimar los costos de falla. Una de ellas considera que debe estimarse en función del precio que los consumidores estarían dispuestos a pagar para evitar la interrupción del servicio. La otra línea de pensamiento considera que los costos de falla deben estimarse en función del efecto que produce la interrupción del suministro en la producción de bienes y servicios.

La estimación de los costos de falla, de acuerdo con los precios que los consumidores están dispuestos a pagar, forma parte de un criterio más general en la optimización de precios para las empresas de servicio bajo condiciones de incertidumbre. Con este enfoque, la variable a ser maximizada es el beneficio neto, el cual generalmente es igual al área bajo la curva de demanda de electricidad menos los costos de suministro y otros costos asociados con el racionamiento de la energía

Para el Sistema Eléctrico de Costa Rica, el costo de falla se determina aplicando ambas metodologías en forma combinada: para el sector residencial se utiliza el concepto de la disposición a pagar y para los otros sectores (industrial y comercial) se utiliza la metodología de la pérdida de valor agregado

disponible si ocurre una falla. Así, se miden los costos de falla por la reducción esperada en el beneficio neto, o sea, la cantidad de electricidad despojada que estarían dispuestos a pagar los consumidores menos los costos salvados por no suplirla, los cuales son prácticamente nulos en sistemas altamente hidráulicos si se toma en cuenta que, por lo general, son fallas de corta duración. Esto supone que la electricidad satisface directamente a los consumidores.

Desde el otro punto de vista, en que la electricidad es tratada como un bien intermedio que se utiliza para producir bienes finales, la medición de la falla se realiza en términos de los efectos que provoca en la producción de bienes y servicios de los diferentes sectores de la economía.

La producción es un proceso en el cual se combinan factores de capital y mano de obra con otros insumos, tales como materias primas y productos intermedios, para producir un flujo de bienes finales a lo largo del tiempo. Bajo condiciones aproximadas de competencia perfecta, el beneficio social neto de una unidad marginal producida es igual a su valor final (salida), menos el valor de los insumos usados para producirla (entrada), esto debido a que una falla del suministro eléctrico interrumpe el proceso productivo y se

* Jefe del Programa de Electricidad de OLADE

reduce entonces el beneficio neto de toda la actividad. Con estas condiciones se producen costos directos de falla, bien sea por la pérdida de insumos, la pérdida de bienes intermedios o la pérdida de bienes finales. El efecto del desperdicio conduce a un costo de oportunidad igual al valor de los bienes no producidos como resultado de la falla, menos los costos de producción ahorrados como consecuencia de la interrupción del suministro de electricidad, lo cual es equivalente a la pérdida de valor agregado.

Para el Sistema Eléctrico de Costa Rica, el costo de falla se determina aplicando ambas metodologías en forma combinada: para el sector residencial se utiliza el concepto de la disposición a pagar y para los otros sectores (industrial y comercial) se utiliza la metodología de la pérdida de valor agregado.

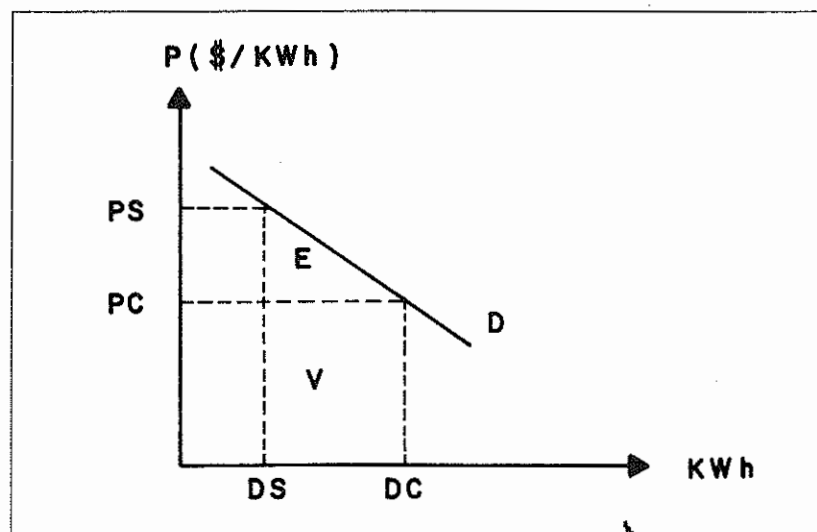
El resultado final se obtiene ponderando ambos valores de acuerdo con la participación de cada sector en la demanda total.

2. SECTOR RESIDENCIAL

Para medir el efecto del costo de falla en los consumidores residenciales, se parte de la premisa de que este costo es equivalente al costo

de las facilidades en términos de inversión que deben realizarse para evitar las fallas. Así, la contribución de un proyecto para reducir la probabilidad de salida forzada es igual a la demanda con proyecto (DC) menos la demanda sin proyecto (DS) en condiciones de contingencia.

DS es igual a cero si la falla induce a una salida total del sistema. Si el proyecto se lleva a cabo, se puede atender la demanda DC a un precio PC; si no se realiza, ante una falla sólo podría atenderse la demanda DS (DC mayor que DS), presentándose un déficit DC-DS al precio PC. Sin embargo, los consumidores estarían dispuestos a pagar un precio que va desde PC hasta PS (PS mayor que PC) para recibir el servicio, lo cual equivale al costo en que incurrirán para evitar la falla o el valor económico que le atribuyen a la pérdida del servicio. Esto dependerá, por supuesto, de la hora del día en que ocurra la falla, de la duración de la misma y, según estudios realizados, del nivel de ingreso de los consumidores. La pérdida total es igual al área bajo la curva de demanda comprendida entre DC y DS, según se puede observar en el gráfico a continuación, la cual es igual a la suma de las ventas de energía (V) más el excedente del consumidor (E).



Si la demanda se aproxima a una recta y por ende se supone que la elasticidad es constante, se tiene que:

$$(1) \quad V = PC (DC - DS)$$

$$(2) \quad E = \frac{(PS - PC) (DC - DS)}{2}$$

La disposición a pagar (DAP) es igual a la suma de (1) más (2), por tanto:

$$DAP = \frac{PS + PC}{2} (DC - DS)$$

De la ecuación anterior se deduce que el costo unitario de falla (PF) para el sector residencial es igual a $(PS + PC)/2$. Los valores de PC y PS, a precios de 1989, son:

$$PC = 3,32 \text{ colones/KWh}^1$$

$$PS = k \times PC$$

donde k se obtiene a partir de un modelo de demanda, mediante el cual se determina el incremento en el precio PC (igual a k) que hace nula la cantidad demandada de electricidad. Para este caso particular, $k = 5,5$

$$PS = 5,5 \times 3,3$$

$$PF = (18,3 + 3,3)/2$$

$$PF = 10,8$$

3. SECTORES INDUSTRIA, COMERCIO Y SERVICIOS

Tomando en cuenta únicamente los sectores sobre los cuales un corte en el suministro eléctrico tiene un impacto importante, se calcula el costo de falla bajo el supuesto de que la interrupción del

COSTO UNITARIO DE FALLA									
	Sector Residencial				Industria, Comercio, Serv.			Total	
	PC	PS	PF	%	PC	PF	%	PC	PF
(1)	3,3	18,3	10,8	48%	5,7	149,3	52%	4,5	86,3
(2)	0,04	0,22	0,13	48%	0,07	1,83	52%	0,055	1,06
(3)	0,038	0,21	0,124	48%	0,066	1,68	52%	0,051	0,98
(1) Colones por KWh (2) US\$ por KWh, para una tasa de cambio de 81,5 colones por US\$, promedio de 1989 (3) A precios de frontera en US\$									

servicio implica una pérdida equivalente al valor agregado (VA) no producido. En tal sentido, aunque la pérdida no sea total, esta aproximación tiende a compensar el hecho de que no se estarían tomando en consideración otros sectores ni los efectos indirectos de la falla (instalación de plantas de emergencia, por ejemplo).

Para este caso concreto, se obtuvo el costo unitario de falla relacionando el valor agregado del año 1989 con el respectivo consumo de electricidad durante ese mismo año, de acuerdo con el detalle que se da a continuación:

Actividad	Valor Agregado* (Millones de colones de 1989)
Industria	84.868
Construcción	14.350
Comercio	84.868
Servicios	50.789
Total valor agregado	234.875

Consumo electricidad en GWh**	1.573
Relación VA/Consumo (colones/KWh)	149,3
Precio promedio de venta (colones/KWh)	5,7

Fuentes:

- * Banco Central de Costa Rica, Boletín Estadístico 1990, marzo de 1991
- ** Instituto Costarricense de Electricidad, Mercado Eléctrico, agosto de 1990

4. COSTO DE FALLA PONDERADO

Con el fin de reflejar el peso relativo de cada sector, se pondera la participación de cada uno de ellos en la demanda total. Además, para ajustar los precios en términos económicos se introducen factores de precios frontera. En este caso, se utilizó 0,92 para el sector residencial y 0,95 para otros sectores.

El resultado final se presenta en el cuadro adjunto.

5. CONCLUSIONES

La metodología planteada en este artículo permite determinar, en una forma rápida y simple, el costo de falla que se produce como consecuencia de una interrupción inesperada en el suministro eléctrico de un país. Hay que tomar el resultado como una aproximación global, teniendo presente que el costo de la energía no servida en un sistema eléctrico depende de la profundidad y duración de la falla y de la capacidad de pago de los consumidores. No obstante, el resultado es de mucha utilidad para la planificación de los sistemas eléctricos, ya que se podrían establecer escalones intermedios de costos, utilizando el precio de venta (PC) como límite inferior y el costo de falla (PF) como límite superior, para reflejar los distintos costos de la energía no servida.

NOTA

1. PC corresponde al precio promedio de venta del sector residencial para 1989, tomado del "Diagnóstico, Segundo Plan Nacional de Energía", octubre de 1990.

Simplified Method to Determine Outage Costs in the Costa Rican Electricity System

Fernando Montoya*

1. INTRODUCTION

An unexpected outage of electricity supply produces a loss for the consumers, measured in terms of loss of goods and services and loss of satisfaction produced by the use of electricity in various daily activities.

There are two lines of thought on how to estimate the cost of power failures. One of them believes that they should be estimated in terms of the price the consumers would be willing to pay to avoid service interruption. The other line of thought believes that the power outage costs should be estimated in terms of the effect that the service interruption exerts on the production of goods and services.

The estimate of outage costs, on the basis of prices consumers are willing to pay, is part of the more general criterion in price optimization for utilities under conditions of uncertainty. With this approach, the variable to be maximized is the net profit, which is generally equal to the area below the electric power demand curve less the supply costs and other costs related to the rationing of available energy if the outage occurs. Thus, the power failure costs are measured by the expected reduction in the net profit,

For the Electricity System of Costa Rica, the outage cost is determined by applying both methodologies in a combined way: for the residential sector, the willingness-to-pay concept is used and, for the other sectors (industrial and commercial), the loss-of-value-added methodology is used

that is to say, the quantity of electricity removed that the consumers would be willing to pay less the costs saved for not providing it, which are virtually nonexistent in predominantly hydroelectric systems if one bears in mind that these are generally of a short duration. This assumes that electricity directly meets the needs of consumers.

From the other point of view, in which electricity is treated like an intermediate good that is used to produce final goods, the measurement of the outage is done in terms of the effects it exerts on the production of goods and services in the different sectors of the economy.

Production is a process in which capital factors and labor are combined with other inputs, such as raw materials and intermediate products, in order to produce a flow of final goods over time. Under approximate conditions of perfect competition, the net social benefit of a produced marginal unit is equal to the final value (output), less the value of the inputs used to produce it (input), since a power supply failure interrupts the productive process, thus reducing the net profit of the entire activity. Under these conditions, direct outage costs are created, either because of the loss of inputs or the loss of intermediate goods, or the

* Head of the Electric Power Program of OLADE

loss of final goods. The waste effect leads to an opportunity cost that is equal to the value of the goods that were not produced because of the failure, less the production costs saved as a result of the interruption of electricity supply, which is equivalent to the loss of added value.

For the Electricity System of Costa Rica, the outage cost is determined by applying both methodologies in a combined way: for the residential sector, the willingness-to-pay concept is used and, for the other sectors (industrial and commercial), the loss-of-value-added methodology is used.

The final outcome is obtained by weighting both values in keeping with the share of each sector in total demand.

2. RESIDENTIAL SECTOR

In order to measure the effect of the outage cost on residential consumers, the premise that this cost is equivalent to the investment cost of the facilities that need to be installed to avoid outages is used. Thus, a project's contribution to reduce the probability of forced outage is equal to the demand with

project (DC) less the demand without project (DS) under contingency conditions.

DS amounts to zero if the failure induces a total outage of the system. If the project is implemented, the DC demand can be met at a price PC; if it is not implemented, during a failure only the DS demand can be met (DC greater than DS), thus presenting a DC-DS deficit at price PC. Nevertheless, the consumers would be willing to pay a price that ranges from PC to PS (PS greater than PC) to receive the service, which is equivalent to the cost that they will incur to avoid the outage or the economic value that they attribute to the loss of service. This will depend, of course, on the hour of the day when the failure occurs, on the duration of this failure, and on the consumers' income levels, according to studies. Total loss is equal to the area below the demand curve, comprising between DC and DS, as displayed in the following chart, which is equal to the sum of energy sales (V) plus consumer surplus (E).

If demand resembles a straight line and if it is assumed that elasticity is constant, then the following holds true:

$$(1) \quad V = PC (DC - DS)$$

$$(2) \quad E = \frac{(PS - PC) (DC - DS)}{2}$$

The willingness to pay (DAP) is equal to the sum of (1) plus (2). Therefore:

$$DAP = \frac{(PS + PC) (DC - DS)}{2}$$

From the above equation, we can deduce that the unit cost of failure, or price of failure (PF), for the residential sector is equal to $(PS + PC)/2$. The values of PC and PS, at 1989 prices, are:

$$PC = 3.32 \text{ colones/KWh}^1$$

$$PS = k \times PC$$

where k is obtained from a demand model by which the increase in the PC price (equal to k) is determined which makes the quantity of electricity demanded null. For this particular case, $k = 5.5$

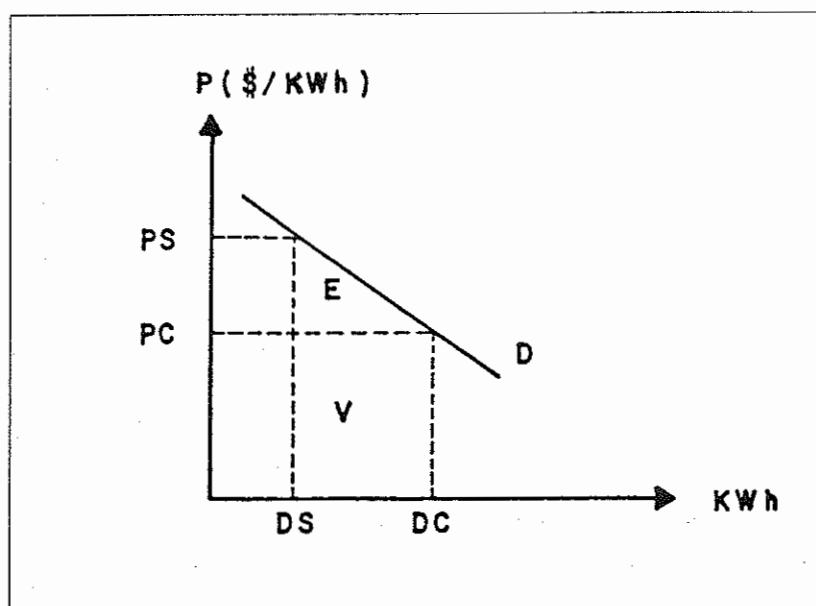
$$PS = 5.5 \times 3.3$$

$$PF = (18.3 + 3.3)/2$$

$$PF = 10.8$$

3. INDUSTRY, BUSINESS, AND SERVICES SECTORS

Bearing in mind only those sectors on which a failure in power supply exerts a substantial impact, the cost of the failure is calculated on the assumption that service interruption implies a loss equivalent to the nonproduced added value (VA). In view of this, although the loss is not total, this approximation tends to compensate the fact that other sectors as well as the indirect effects of the failure (installation of emergency



UNIT COST OF FAILURE

	Residential Sector				Industry, Comm., Serv.			Total	
	PC	PS	PF	%	PC	PF	%	PC	PF
(1)	3.3	18.3	10.8	48%	5.7	149.3	52%	4.5	86.3
(2)	0.04	0.22	0.33	48%	0.07	1.83	52%	0.055	1.06
(3)	0.038	0.21	0.124	48%	0.066	1.68	52%	0.051	0.98

- (1) Colones per KWh
 (2) US\$ per KWh, with an exchange rate of 81.5 colones per US\$1, 1989 average
 (3) Border prices in US\$

stations, for example) are not being considered.

For this specific case, the failure's unit cost was obtained associating the added value of 1989 to the respective electricity consumption during this same year, according to the table indicated below:

Activity	Added Value* (Million colones of 1989)
Industry	84,868
Construction	14,350
Commerce	84,868
Services	<u>50,789</u>
Total added value	234,875
Electricity consumption in GWh**	1,573
Ratio VA/Consumption (colones/KWh)	149.3
Average sale price (colones/KWh)	5.7

Sources:

- * Central Bank of Costa Rica, Boletín Estadístico 1990 [Statistical Bulletin 1990], March 1991
 ** Costa Rican Electricity Institute, Mercado Eléctrico [Electric Market], August 1990.

4. WEIGHTED OUTAGE COST

In order to reflect the relative weight of each sector, the share of each sector in total demand is weighted. Moreover, in order to adjust the prices in economic terms, borderline price factors are introduced. In this case, 0.92 was used for the residential sector and 0.95 for other sectors.

The final outcome is presented in the attached table.

5. CONCLUSIONS

The methodology proposed in this article enables us to determine, quickly and simply, the cost of a failure stemming from an unexpected interruption in the country's electric power supply. The result should be viewed as an overall estimate, bearing in mind that the cost of undelivered energy in an electric power system depends on the scale and duration of the failure and the consumers' capacity to pay. Nevertheless, the result is highly useful for planning power systems, since intermediate cost steps could be established, using the sale price (PC) as the lower limit and the cost of failure (PF) as the upper limit to reflect the distinct undelivered energy costs.

NOTE

1. PC pertains to average sale price of residential sector for 1989, taken from the document Diagnóstico, Segundo Plan Nacional de Energía [Assessment: Second National Energy Plan], October 1990.