

**DETERMINACIÓN DEL VALOR AGREGADO DE  
DISTRIBUCIÓN (VADE) Y TASAS DE CONEXIÓN EN EL  
URUGUAY**

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD  
CASO BASE**

*Informe Final Revisado*

Preparado para:



*Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE)*



*Unidad Reguladora de la Energía Eléctrica (UREE)*

Buenos Aires, 5 de agosto de 2002

**DETERMINACIÓN DEL VALOR AGREGADO DE  
DISTRIBUCIÓN (VADE) Y TASA DE CONEXIÓN EN EL  
URUGUAY**

*Informe Final Revisado*

**INDICE**

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
2.	METODOLOGÍA .....	3
2.1.	HIPÓTESIS DE TRABAJO .....	3
2.2.	MODELO DE LA RED .....	3
2.3.	CRITERIOS ADOPTADOS .....	4
2.4.	DATOS DE FALLA .....	6
2.5.	INDICES .....	7
3.	CALCULOS REALIZADOS .....	7
3.1.	CALCULO DE INDICES DE CONFIABILIDAD .....	7
3.2.	ANÁLISIS DE LOS ALIMENTADORES .....	8
4.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	9
4.1.1.	FLORENCIO SANCHEZ .....	9
4.1.2.	DURAZNO .....	10
4.1.3.	LAS PIEDRAS .....	10
4.1.4.	MERCEDES .....	10
4.1.5.	MONTEVIDEO .....	11

## ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

### CASO BASE

#### 1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se describe la metodología de análisis de Confiabilidad de las Redes de Distribución Primaria de electricidad. Ese análisis se realiza en función de estándares de tasas de falla y duración media por falla referidas exclusivamente a las fallas que implican una interrupción del suministro de energía eléctrica.

#### 2. METODOLOGÍA

##### 2.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

El punto de partida para llevar a cabo el estudio surge de las siguientes premisas:

- ◆ Las redes operan radialmente.
- ◆ Se asume la ocurrencia de las fallas aleatoria y equiprobablemente a lo largo de la red.
- ◆ Las fallas consideradas son todas aquellas que requieren de la operación de algún equipo de protección.
- ◆ Los elementos de protecciones son considerados 100% confiables.
- ◆ Las fallas consideradas son las que se originan exclusivamente en la red de MT, no se contemplan las que tienen origen en red de BT ni en trafos de MT/BT.
- ◆ En aquellos casos en que la topología de la red lo permite, se considera la transferencia de algunos tramos de red para ser alimentados desde otra estación transformadora por medio de la operación de equipos de maniobra, manteniendo siempre la condición de radialidad en la operación de la red.
- ◆ Se considera que los reconectores tienen una tasa de recierre exitosos del 70%.

##### 2.2. MODELO DE LA RED

La red eléctrica es modelada por *tramos* de conductores, los cuales están delimitados por equipos de protección y/o maniobra.

Se distinguen en este estudio los siguientes equipos de protección y/o maniobra:

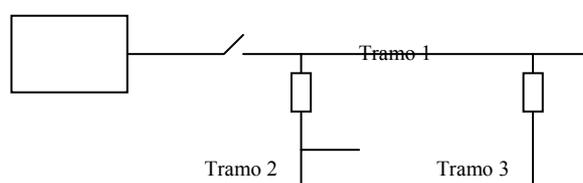
- ◆ Interruptores: interrumpe el circuito en caso de falla en la línea por medio de sus propias protecciones.
- ◆ Reconectores: se consideró siempre habilitada la función de reconexión con una tasa de recierres exitosos del 70%.
- ◆ Seccionadores: no opera ante fallas en la línea, debiendo operar la protección instalada

aguas arriba del seccionador.

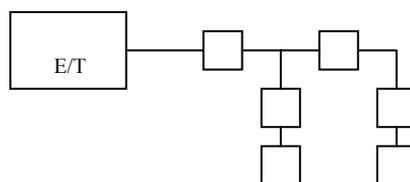
- ◆ Fusibles o seccionadores fusibles: actúa en caso de falla de la línea protegida.

Esta diferenciación se debe a las distintas formas de operación de cada uno de ellos y a las distintas consecuencias que producen, en sentido de confiabilidad del servicio, sobre la red. Para clarificar podemos citar como ejemplo que un fusible opera ante una falla activa aislando inmediatamente al tramo afectado y a aquellos que se encuentren aguas abajo de la protección; un seccionador en cambio, no opera ante una falla activa, por lo que provocará que actúe alguna protección aguas arriba y como consecuencia será mayor la cantidad de tramos afectados.

Para ejemplificar esto se presenta el siguiente gráfico:



**Red Eléctrica**



**Modelo de la red**

S1: Seccionador

F1/f2: fusibles.

T1/2/3: tramos de línea

Se pueden dar los siguientes escenarios:

- Falla del tramo 2: actúa el fusible f1.
- Falla del tramo 3: actúa el fusible f2.
- Falla del tramo 1: actúa el interruptor de la E.T y salen de servicios los tres tramos.

### 2.3. CRITERIOS ADOPTADOS

Cada elemento de la red es caracterizado por una tasa de falla  $[\lambda]$  y duración media por falla.

La tasa de falla para cada tramo se define como:

$$\lambda = \lambda_s * I$$

$\lambda_s$  = tasa de falla estándar para el tramo por unidad de longitud [falla/km]

$I$  = longitud del tramo considerado

La duración media por falla se considera compuesta por los siguientes tiempos que se indican más adelante en este informe:

- Tiempo de conocimiento, localización de la falla y maniobra. [Td]: es el tiempo que transcurre de que se produce la falla hasta la ejecución de la maniobra para aislar la parte de la red fallada.
- Tiempo de reparación de la falla. [Tr]: es el tiempo total insumido desde que se aísla el tramo fallado hasta que se encuentra reparado listo para entrar en servicio.
- Tiempo para la restitución del servicio [Tres]: es el tiempo de maniobras que transcurre desde la reparación hasta la energización del tramo.

Los valores utilizados se obtienen de estándares internacionales, la experiencia del consultor, y datos aportados por UTE. Los mismos son presentados en el punto 2.4.

En otro aspecto cada tramo es caracterizado como transferible o no transferible, en función de si éste puede ser alimentado desde otro punto de la red. De la misma manera se consideran transferibles aquellos tramos del circuito que como consecuencia de la apertura de un seccionador pueden ser realimentados. Tal designación surge del análisis de los planos georeferenciados de las redes reales y de los tipos de dispositivos de protección instalados en la red bajo estudio.

A cada tramo, en función de si es o no transferible, se le asignarán distintas frecuencias y duración de falla tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tramo	Frecuencia	Duración
Transferible	$2\lambda$	Td+Tres
No transferible	$\lambda$	Td+Tr+Tres

Los tramos transferibles duplican la frecuencia de corte debido a que, cuando es solucionado el inconveniente que originó la falla deben ser transferidos nuevamente al alimentador original. Es pertinente mencionar que como consecuencia de la transferencia no cuenta el tiempo de reparación de la falla [Tr].

Como elemento de protección básico se considera un interruptor sin recierre por alimentador

en la estación transformadora o reconector según fue informado por UTE.

#### 2.4. DATOS DE FALLA

Los datos utilizados en el presente estudio para frecuencia de falla y duración de falla fueron acordados con UTE. En lo referente a la frecuencia de falla, es sabido que la poda tiene un impacto significativo en las tasas de falla de líneas aéreas y en este punto en particular UTE informó que posee importantes problemas a lo que se suma el estado de las instalaciones (antigüedad, calidad de materiales, etc.) y los problemas causados por las aves.

Por tal motivo es que para líneas aéreas se calcularon los índices de confiabilidad considerando dos escenarios:

- Escenario 1: contempla las tasas de falla reales informadas por UTE en base a un estudio estadístico de dos años. Dado que los índices informados por UTE contemplan la actuación del reconector, a los efectos de presentarlos sin la influencia de dicho aparato (al igual que los indicados por el Consultor) se dividieron dichos índices por el coeficiente 0.3 (debido a que 70% es el porcentaje de recierres exitosos considerados). Luego en el cálculo de los índices de confiabilidad de la red se tiene en cuenta la actuación de reconector.
- Escenario 2: contempla tasas de falla basadas en la experiencia del Consultor en la que se considera la topología actual de la red y que la misma se encuentra en óptimo estado de conservación.

A continuación se detallan los valores estándar de tasa de falla y duración por falla para los distintos tipos de instalaciones y escenarios considerados en este estudio:

Elemento	Frecuencia de Fallas UTE	Frecuencia de Fallas ME	Tiempo promedio de duración de falla		
	Fallas/año	Fallas/año	Horas por falla		
			Td *	Tr *	Tres*
Alimentador Primario Aéreo Media Tensión Urbano	0,67/km	0,25/km	1,5	5	1
Alimentador Primario Aéreo Media Tensión Rural	1,02/km	0,37/km	1,5	5	1
Alimentador Primario Subterráneo Media Tensión	0,08 /km	0,08 /km	1.5	16	1
Alimentador Primario Aéreo Media Tensión Montevideo	0,67/km	0,25/km	1	5	0.75
Alimentador Primario Subterráneo Media Tensión Montevideo	0,08 /km	0,08 /km	1	16	0.75

## 2.5. INDICES

Para las redes en estudio se calculan los índices FMIK y TTIK que permiten cuantificar la calidad del servicio eléctrico que reciben los consumidores.

Estos índices presentan una media ponderada de la frecuencia y duración media de las interrupciones.

El factor utilizado para la ponderación es la potencia de transformación instalada en los tramos de los alimentadores considerados. Esta manera de ponderar presenta la ventaja, respecto de ponderar por usuarios conectados, que caracteriza mejor a los puntos de la red afectados, debido que da mayor importancia a aquellas zonas con mayor potencia instalada, atendiendo al hecho que una interrupción afecta más a los usuarios de mayor consumo. Para la ponderación de los índices de calidad de servicio se consideraron a todos los transformadores que son propiedad de la empresa y de particulares.

### A) **FMIK**

$$FMIK = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{ei} * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$n$ =Tramos del alimentador

$\lambda_{ei}$ =Cantidad de interrupciones del tramo  $i$  [fallas/año]

$P_i$ =Potencia instalada en el tramo considerado [kVA]

### B) **TTIK**

$$TTIK = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ei} * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$T_{ei}$ =Tiempo de indisponibilidad anual del tramo  $i$  [horas/año]

$P_i$ =Potencia instalada en el tramo considerado [kVA]

## 3. CALCULOS REALIZADOS

### 3.1. CALCULO DE INDICES DE CONFIABILIDAD

Los análisis se efectúan partiendo de los alimentadores estudiados y su configuración actual de protecciones, modelando la red según lo indicado en el punto “Modelo de la red”.

Para cada alimentador se construyen tres matrices de  $N \times N$ , donde  $N$  es la cantidad de tramos identificados en la red, conteniendo cada una la siguiente información:

Frecuencia de fallas

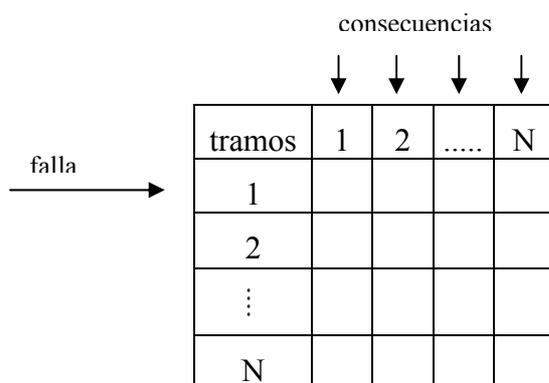
Duración por falla. Esta matriz se compone de tres matrices básicas que contienen la siguiente información:

Duración Td (tiempo de detección de la falla)

Duración Tr (tiempo de reparación de la falla)

Duración Tres (tiempo para el restablecimiento del servicio).

Característica del tramo (transferible - no transferible)



El procedimiento general consiste en provocar fallas activas sobre los elementos de las filas y volcar en cada columna las consecuencias. Las consecuencias se entienden como la frecuencia de falla del tramo que falló, la duración de la reparación o el tipo de tramo, según se este completando la matriz de frecuencia, duración o característica de tramo. Las consecuencias deben ser volcadas a la matriz solamente cuando la falla provocada afecte la continuidad del servicio eléctrico al elemento columna considerado.

### 3.2. ANÁLISIS DE LOS ALIMENTADORES

Para cada alimentador analizado se calcula, en función de las fallas simuladas, los índices FMIK y TTIK y se verifica que los mismos se encuentren dentro de valores máximos aceptables para este tipo de servicio.

Se utilizaron los siguientes valores máximos aceptables:

<i>Indice</i>	<i>Valor</i>
<b>FMIK (Fallas/Kva-año)</b>	<b>3</b>
<b>TTIK (Horas/kVA-año)</b>	<b>6</b>

En caso de que los índices anteriores no se encuentren dentro de los valores máximos indicados se deberían introducir mejoras en la red.

Estas mejoras pueden consistir, por ejemplo, en el reemplazo de aparatos de maniobra como seccionadores o seccionadores fusibles por otros de mejor desempeño desde el punto de vista de la confiabilidad como reconectores (ver punto 2.2)

Se considera que el sistema de protección óptimo se alcanza cuando la variación del costo de las inversiones iguala la variación del costo de la energía no suministrada para las fallas supuestas.

Para el cálculo de los costos de inversión se considera la anualidad de inversión del equipo considerado en función de su vida útil y del costo actual del equipamiento.

Se deben contemplar los costos del equipamiento propiamente dicho, mano de obra y materiales de montaje, ensayos y puesta en servicio.

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Tal como se aclarara en 2.4, se calcularon los índices de confiabilidad considerando dos escenarios:

Escenario 1: contempla las tasas de falla reales informadas por UTE.

Escenario 2: contempla tasas de falla basadas en la experiencia del Consultor (en la que se considera la topología actual de la red y que la misma se encuentra en óptimo estado de conservación).

También es necesario aclarar que el presente estudio no tiene como alcance la propuesta de mejoras de las instalaciones con el fin de mejorar la confiabilidad.

##### 4.1.1. FLORENCIO SANCHEZ

Los índices de confiabilidad obtenidos para cada alimentador se resumen en la siguiente tabla:

Alimentador	Escenario 1		Escenario 2	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
4035/12	2,53	6,88	0,94	2,66
4035/6	1,83	5,30	0,68	1,96
4035/5	1,14	3,60	0,45	1,51
4035/7	0,83	6,23	0,31	2,30

**4.1.2. DURAZNO**

Los índices de confiabilidad obtenidos para cada alimentador se resumen en la siguiente tabla:

Alimentador	Escenario 1		Escenario 2	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
4001/6	3,72	12,70	1,89	6,62
4001/7	7,60	20,77	2,88	7,90
4002/4	1,17	8,77	0,44	3,27
4049/6	3,87	11,68	1,48	4,46
4001/2	0,77	2,86	0,41	1,89
4001/3	0,07	0,86	-	-
4001/4	0,18	1,12	-	-
4001/9	0,37	2,70	-	-
4002/2	1,66	7,69	0,62	2,87
4002/3	2,72	10,09	1,21	4,59

**4.1.3. LAS PIEDRAS.**

Los índices de confiabilidad obtenidos para cada alimentador se resumen en la siguiente tabla:

Alimentador	Escenario 1		Escenario 2	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
5054/2	6,39	34,81	2,31	12,55
5010/7	23,0	150,80	8,42	54,70
5053/5	3,38	22,10	1,21	7,92
5056/1	2,19	15,85	0,79	5,72
5088/1	3,79	27,97	1,37	10,15

**4.1.4. MERCEDES**

Los índices de confiabilidad obtenidos para cada alimentador se resumen en la siguiente tabla:

Alimentador	Escenario 1		Escenario 2	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
4004/2	26,10	118,71	9,41	42,81
4029/5	9,41	42,81	1,78	8,43
4042/2	0,43	3,23	0,16	1,16

Alimentador	Escenario 1		Escenario 2	
	FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
4032/7	3,58	26,82	1,10	8,27
4004/4	12,48	88,97	4,50	32,09

#### 4.1.5. MONTEVIDEO

Los índices de confiabilidad obtenidos para cada alimentador se resumen en la siguiente tabla:

Alimentador	FMIK	TTIK
25/1	1,49	16,65
24/8	0,25	1,13
25/17	4,26	8,16
14/11	1,05	2,28
3/18	0,51	5,39
24/6	0,34	4,90
38/20	0,11	0,91
24/4	0,90	8,33
14/10	0,48	5,33