

# **Análisis de Confiabilidad de la Subestación Pascuales Vista desde los Elementos Primarios**

Luis Raúl Alvarado Sigüenza, Byron Fabricio Zúñiga Santillán, y José Layana Chancay.  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

[lsiguenz@espol.edu.ec](mailto:lsiguenz@espol.edu.ec), [bzuniga@fiec.espol.edu.ec](mailto:bzuniga@fiec.espol.edu.ec), [jlayana@espol.edu.ec](mailto:jlayana@espol.edu.ec)

## **Resumen**

*El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de la confiabilidad y el costo de la energía no suministrada, vista desde los elementos primarios, de la subestación de alta tensión Pascuales,*

*El análisis se ha realizado mediante la combinación de métodos como Monte Carlo, Arboles de falla, Método de la Chi- Cuadrado entre otros. Estos métodos permiten cuantificar el efecto que produce en el sistema la indisponibilidad de los elementos primarios y se consideraran los tipos de configuración de barra, niveles de voltaje, y datos estadísticos de fallas. La información y técnicas a utilizar para este trabajo fueron proporcionados por: I.E.E.E. y TRANSELECTRIC.*

*Finalmente se presenta el análisis de los cálculos de la confiabilidad y energía no suministrada para la subestación Pascuales, de acuerdo a las configuraciones de barra propuestas, así como los costos anuales que implica la pérdida de ésta energía.*

**Palabras Claves:** Confiabilidad, Energía no suministrada, Configuraciones de barra, tasa de falla, tasa de reparación.

## **Abstract**

*The present work aims at evaluating the reliability and the cost of energy not supply in high voltage Pascuales substation as seen from the primary elements.*

*The analysis was performed using a combination of methods such as Monte Carlo, Fault Trees, Chi-Square Method among others. These methods allow to quantify the effect it has on the system unavailability of the primary elements and consider the types of bar settings, voltage levels and fault statistics. The information and techniques to be used for this work was provided by: IEEE and TRANSELECTRIC.*

*Finally we present an analysis of the estimates of reliability and energy not supplied to the substation according to the proposed bar configurations, as well as annual costs it involves the loss of energy.*

**Keywords:** Reliability, Energy not supplied, bar settings, failure rate, repair rate.

## 1. Introducción

Como las subestaciones de alta tensión son elementos fundamentales en un sistema eléctrico de potencia, se hace necesario evaluar la confiabilidad en la operación de sus equipos primarios ya que estos se ven sometidos a fallas y salidas de servicio.

El objetivo de la evaluación de la confiabilidad de una subestación eléctrica de alta tensión es determinar qué tan confiable y económica pueden resultar las configuraciones y diseños de las mismas. Además busca ante todo fortalecer al sistema eléctrico manteniéndolo en forma adecuada, íntegro, y seguro; con el fin de limitar la aparición de fallas, y si se presentan, que el sistema pueda despejarlas lo más pronto posible, restaurando la prestación del servicio.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Confiabilidad

La Confiabilidad es la habilidad del sistema para proveer energía eléctrica a los principales puntos de utilización con un nivel aceptable de calidad y seguridad. Además se relaciona con el número de fallas de los equipos o componentes que tiene un sistema en un determinado período de tiempo.

### 2.2. Sistemas serie - paralelo

En la práctica, los sistemas son frecuentemente representados como una red en la cual los componentes del sistema son conectados en serie, en paralelo o una combinación de estos.

- **Sistemas series**

En términos de confiabilidad, todos los componentes que existen en un sistema en serie deben trabajar para que el sistema trabaje, mientras que si uno de los elementos falla todo el sistema falla (sistema no redundante).

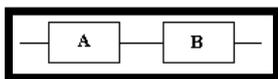


Figura 2.1: Sistema serie

La probabilidad de éxito del sistema o la confiabilidad del sistema es dada por:

$$R_S = R_A * R_B$$

Mientras que la probabilidad de falla es dada por:

$$Q_S = 1 - R_S = 1 - R_A * R_B = 1 - (1 - Q_A) * (1 - Q_B)$$

$$Q_S = Q_A + Q_B - Q_A * Q_B$$

$$Q_S = 1 - \prod_{i=1}^n R_i$$

Donde:

$R_S$  : Confiabilidad del sistema

$R_A$  : Confiabilidad del elemento A

$R_B$  : Confiabilidad del elemento B

$Q_S$  : Probabilidad de falla del sistema

$Q_A$  : Probabilidad de falla de A

$Q_B$  : Probabilidad de falla de B

- **Sistemas paralelos**

Dos componentes de un sistema se consideran conectados en paralelo, en términos de confiabilidad, si solo uno de ellos trabaja para que el sistema trabaje, o también de que todos fallen para que el sistema falle (sistema completamente redundante por construcción).

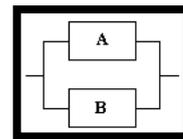


Figura2.2: Sistema paralelo

La confiabilidad del sistema se obtiene de la siguiente manera:

$$R_p = 1 - Q_p = 1 - Q_A * Q_B = 1 - (1 - R_A) * (1 - R_B)$$

$$R_p = R_A + R_B - R_A * R_B$$

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i$$

Mientras que la probabilidad de falla puede ser obtenida como:

$$Q_p = Q_A * Q_B$$

### 2.3. Índices de confiabilidad

La confiabilidad de una subestación eléctrica se expresa mediante índices que cuantifican la calidad del servicio y se clasifican en:

**Básicos:**

- Tasa de falla ( $\lambda$ )
- Tasa de reparación ( $\mu$ )
- Frecuencia de falla (f)
- Disponibilidad (%)

### Compuestos:

- Probabilidad de pérdida de carga en el sistema.
- Esperanza de perder carga en el sistema o el valor esperado de pérdida de carga.
- Frecuencia de pérdida de carga en el sistema.
- Duración de pérdida de carga en el sistema.
- Esperanza de la energía no suministrada.
- Esperanza de la potencia no suministrada.

### Tasa de falla

Es la cantidad de fallas de un componente del sistema en un período de observación (años) en que estuvo operando.

$$\lambda = \frac{N}{n \times T} \quad (\text{Fallas/años})$$

Dónde:

- $\lambda$ : Tasa de falla
- N: Número de fallas de un elemento
- n: Número total de elementos expuestos a las fallas
- T: Periodo de estudio en años

### Tasa de reparación

Es la cantidad de reparaciones de un componente del sistema en el período en el que estuvo siendo reparado.

$$\mu = \frac{\text{Número de reparaciones}}{\sum_{i=0} T_i}$$

Dónde:

- $\mu$ : Tasa de reparación
- $\sum_{i=0} T_i$ : Sumatoria de los tiempos fuera de servicio

Para ausencia de datos, las tasas de falla pueden ser estimadas por medio de modelos probabilísticos, en este trabajo se utiliza el método de Chi-Cuadrado [5]

### 2.4. Subestaciones eléctricas

Es la expresión física de un punto del sistema eléctrico de potencia, donde la energía es transformada en niveles correspondientes de tensión, que permiten su transporte, distribución y consumo.

### 2.5. Configuraciones de barra

Existen distintos tipos de configuraciones de barra, dados en función de la flexibilidad y seguridad de las subestaciones eléctricas o de los sistemas de potencia en general [1]. Entre ellos se tienen:

- Barra simple
- Barra seccionalizada
- Barra principal y de transferencia
- Barra en anillo
- Interruptor y medio
- Doble barra

Los costos de cada configuración varían debido a la gran cantidad de componentes utilizados.

### 2.6. Métodos de análisis para la confiabilidad

Para evaluar la confiabilidad de los sistemas eléctricos y sus componentes se tienen diferentes métodos, entre los más importantes son la teoría de redes, el análisis de los modelos de espacio de estados y árboles de falla. La Teoría de redes sirve para obtener las soluciones de confiabilidad a través de métodos analíticos o de simulaciones de Monte Carlo (SMC). Esta simulación consiste en la generación de números en forma aleatoria, donde los valores de los índices de confiabilidad corresponden a los valores de los momentos de las distribuciones de probabilidad. Los Modelos de espacio de estados permiten describir los posibles estados del sistema y sus transiciones, así como las funciones probabilísticas que las describen.

#### • Método de Markov [2]

En un sistema eléctrico ya sea de distribución o transmisión, cada uno de los elementos son reparables al momento de fallar, dependiendo de la naturaleza del elemento; es decir, son sistemas cuyo funcionamiento es continuo en el tiempo.

Los parámetros relacionados en este método son:

- Tasa de falla ( $\lambda$ ) y tiempo promedio a la falla (MTTF).
- Tasa de reparación ( $\mu$ ) y tiempo promedio de reparación (MTTR).

#### • Árboles de falla [3]

Conocido como Fault Tree Analysis (FTA), permite realizar un análisis de los posibles eventos de fallas que se presentan en el sistema. El análisis se inicia en la parte superior del esquema de árbol, donde estará ubicado el evento no deseado (falla). En un nivel inferior se establecerán los eventos y factores que son causantes de la falla mediante un diagrama lógico conformado por compuertas lógicas de tipo AND y OR.

### 3. Evaluación de la confiabilidad en la Subestación Pascuales del Sistema Nacional Interconectado

#### 3.1. La confiabilidad en la subestación Pascuales

La subestación Pascuales al ser uno de los puntos críticos del Sistema Nacional Interconectado debe tener sistemas confiables como para alcanzar las expectativas de la continuidad y calidad de energía.

#### 3.2. Confiabilidad actual

Para modelar el sistema por medio del método de árbol de falla, se toma como referencia el diagrama unifilar de la subestación Pascuales con el fin de visualizar los posibles eventos de falla en los niveles y en sus respectivos equipos primarios.

Con la obtención de los registros históricos de fallas ocurridas en un periodo de 5 años, (2006-2010), el análisis se enfoca hacia el número de veces que han fallado los equipos primarios para cada nivel de voltaje; sean estos, autotransformadores, barras de alimentación, disyuntores y seccionadores.

Mediante el método de simulación se procede a determinar la confiabilidad actual de la subestación y el respectivo costo de la energía no suministrada, tomando en cuenta que para realizar dicha simulación y los cálculos pertinentes, los equipos primarios se han dividido de acuerdo al grupo y nivel de voltaje que estos pertenecen.

#### 3.3. Confiabilidad de las configuraciones de barras

El análisis de la confiabilidad se realiza para diferentes configuraciones de diseño de barra en los respectivos niveles de voltaje de la subestación. La solución que se plantea deberá ser la mejor técnicamente pero a su vez que sea económicamente viable con el fin de encontrar que configuración es la que da un costo/beneficio óptimo.

#### 3.4. Algoritmo para evaluar la confiabilidad [3]

El algoritmo para el cálculo de la confiabilidad es el siguiente:

- Obtención de la tasa de falla ( $\lambda$ ), y tasa de reparación ( $\mu$ ) para todos los equipos primarios en cada nivel de voltaje de la subestación.
- Simulación del método de Montecarlo para generar números aleatorios uniformes entre 0 y 1 en Microsoft Excel, cuyos valores representaran

los tiempos a la falla y reparación de los componentes.

- Se realiza la transformada inversa con el objetivo de obtener números aleatorios con distribución exponencial tanto para los valores de los tiempos a la falla y de reparación de cada una de los elementos principales de la Subestación.
- Establecer el elemento causante de falla, comparando cada tiempo de ocurrencia de falla entre los componentes. Si el tiempo a la falla comparado es menor que el valor anterior entonces se le asigna el valor de *uno* caso contrario se asigna el valor de *cero*.
- Se determina la ocurrencia de falla que ha tenido el elemento primario durante la simulación.
- Se determina el tiempo total de simulación de los elementos primarios y autotransformadores.
- Se determina la probabilidad de falla y la confiabilidad de los elementos primarios para cada nivel de voltaje y de los autotransformadores.

La confiabilidad está dada por:

$$R_E = \left[ 1 - \frac{\text{Tiempo de indisponibilidad}}{\text{Tiempo total}} \right] \times 100\%$$

Y la probabilidad de falla está dada por:

$$Q_f = 100 - R_{ELEMENTO} \%$$

El algoritmo se repite en las alternativas propuestas.

#### 3.5. Estimación de la energía no suministrada (ENS)

La energía no suministrada ENS se define como el promedio a largo plazo de la energía no entregada al usuario final, a causa de las deficiencias del sistema eléctrico de potencia. Desde el punto de vista de la calidad del servicio es muy importante entregar el suministro de energía eléctrica con un cierto grado de confiabilidad y así satisfacer las necesidades requeridas.

El costo de la energía no suministrada debido a las diferentes configuraciones de barra se calcula a un promedio de 50 centavos por kwh y dicha energía se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$ENS = Sop \times fp \times fc \times 8760 \times \%_{falla}$$

Donde:

- fc = factor de carga 0.6
- fp = factor de potencia 0.92
- %falla = porcentaje de falla
- Sop: MVA de operación

Cada vez que se realizad el cálculo de la energía no suministrada el costo total para dicha energía se lo obtiene multiplicando la energía no suministrada por el costo del Kilovatios- hora.

### 3.6. Justificación del trabajo

La subestación Pascuales es un nodo importante en el Sistema Nacional de Transmisión y es la principal fuente de alimentación a la ciudad de Guayaquil. Por lo indicado el análisis de la confiabilidad de esta subestación se justifican plenamente y los resultados que se obtengan podrán ser un aporte al mejoramiento de la calidad de servicio en esta zona del país.

## 4. Cálculo de confiabilidad de la subestación Pascuales y análisis de alternativas

### 4.1. Cálculo de la confiabilidad actual

Se consideran las posibles fallas y los eventos que estas causan en los elementos primarios de cada nivel de voltaje, para esto se toma como referencia la configuración de la subestación analizada por medio del diagrama esquemático del árbol de falla, como se presenta en la figura siguiente:

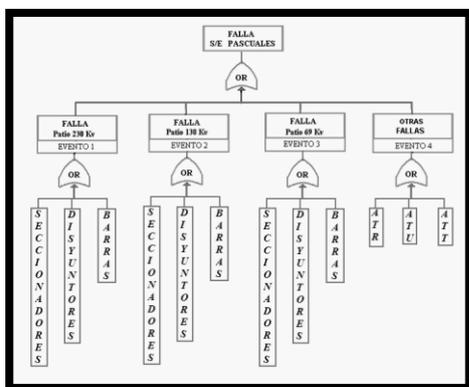


Figura 4.1. Diagrama del árbol de falla de la subestación Pascuales

Los eventos de falla son: falla en el patio de 230 kV, falla en el patio de 138 kV, falla en el patio de 69 kV, otras fallas (autotransformadores). Si ocurre una falla en cualquiera de los equipos primarios provoca un evento de falla en cualquier patio y por ende en la subestación.

### 4.2. Datos históricos de fallas

Se selecciona el número de fallas que se han producido en los elementos constitutivos primarios como: disyuntores, seccionadores y barras de cada nivel principal de la subestación como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4. 1: Datos Históricos de falla

Nivel de voltaje	Tipo de Elementos	Total de Elementos expuestos a la falla	Total de Fallas
230 kV	Seccionadores	57	6
138 kV		51	4
69 kV		39	5
230 kV	Disyuntores	10	3
138 kV		13	3
69 kV		10	4
230 kV	Barras	2	0
138 kV		2	1
69 kV		2	0
ATT	Autotransformadores	1	3
ATU		1	0
ATR		1	4

La información del número de fallas fue obtenida para un periodo de 5 años, 2006-2010. Los elementos expuestos a la falla son los que se toman del diagrama unifilar de la subestación.

### 4.3. Resumen de la tasa de falla y tasa de reparación en los elementos primarios

La tasa de falla y tasa de reparación de los elementos primarios de la subestación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. 2: Resumen de la tasa de falla y reparación

Nivel de Voltaje	Elementos	Tasa de Falla (fallas/años)	Tasa de Reparación (reparaciones/horas)
230 kV	Seccionadores	0,021052631	0,118226601
	Disyuntores	0,06	0,031751631
	Barras	0,29957	0,083333333
138 kV	Seccionadores	0,015686274	0,224508886
	Disyuntores	0,046153846	0,0006079992434
	Barras	0,1	0,200668896
69 kV	Seccionadores	0,025641025	0,157563025
	Disyuntores	0,08	0,198019802
	Barras	0,29957	0,083333333
230/138 kV	ATT	0,6	0,105324751
230/138 kV	ATU	0,59915	0,041666666
138/69 kV	ATR	0,8	0,014114326

### 4.4. Determinación de la confiabilidad actual de la subestación Pascuales

Para obtener la confiabilidad en los niveles de voltaje de la subestación, se toma en consideración la estructura de los sistemas serie y paralelo.

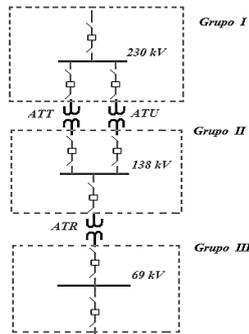


Figura 4.2: División de grupos de los elementos primarios en los niveles de voltaje

Los valores de confiabilidad y de porcentaje de indisponibilidad obtenidos en la simulación para los autotransformadores y elementos primarios en cada nivel de voltaje se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. 3: Resumen de Confiabilidades por niveles de voltaje y elementos primarios

	Elementos	Confiabilidad [%]	Indisponibilidad [%]
Nivel 230 kV	Seccionadores	99,99812392	0,001876085
	Disyuntores	99,97707783	0,022922167
	Barras	99,95627805	0,04372195
Nivel 138 kV	Seccionadores	99,9991264	0,000873601
	Disyuntores	99,11061	0,889389999
	Barras	99,99411374	0,005886259
Nivel 69 kV	Seccionadores	99,99804105	0,001958951
	Disyuntores	99,99503504	0,004964957
	Barras	99,95571052	0,044289479
	ATT	99,93665369	0,063346311
	ATU	99,85354836	0,146451639
	ATR	99,3533815	0,646618497

El resumen total de la confiabilidad y el porcentaje de falla para cada nivel de voltaje y autotransformadores se muestra a continuación:

Tabla 4. 4: Resumen de las Confiabilidades por niveles de voltaje

	Confiabilidad [%]	Indisponibilidad [%]
Patio 230 KV	99,97715993	0,022840067
Patio 138 KV	99,70128338	0,29871662
Patio 69 KV	99,98292887	0,017071129
ATT	99,93665369	0,063346311
ATU	99,85354836	0,146451639
ATR	99,3533815	0,646618497

Para obtener la confiabilidad actual de la subestación Pascuales, la figura 4.2 se reduce a una combinación de bloques serie – paralelo.

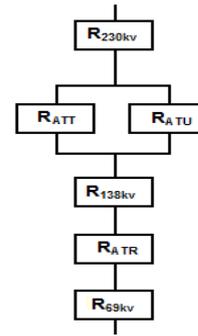


Figura 4.3: Diagrama de bloques serie – paralelo

La confiabilidad actual de la Subestación Pascuales vista desde los elementos primarios es de **99.01697374 %**; valor que está dentro del nivel de criticidad de *rango bajo* según lo que estipula el CONELEC [5].

#### 4.5. Determinación de la energía no suministrada y costo

Como la energía no suministrada depende de la potencia de operación de la subestación, es decir de la capacidad que tienen los autotransformadores; el análisis de esta energía se la realiza en dos puntos de entrega resumidos a continuación:

##### 1.- Punto de transformación del nivel 230/138 kV, 750 MVA.

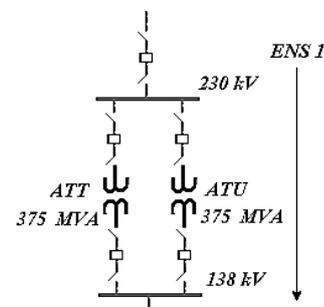


Figura 4.4: Punto de Transformación 1

La energía no suministrada es de 11.662.582,87 kW-h. según el cálculo que se presenta a continuación:

$$ENS = 750MVA \times 0.92 \times 0.6 \times 8760 \times 0.003215809646 \times 1000$$

$$ENS = 11.662.582,87 \quad [kW - h]$$

El costo en millones de dólares de la energía no suministrada es:

$$\text{Costo} = \text{US } \$ 5.831.291,44$$

## 2.- Punto de transformación de los niveles 230/138/69 kV, 975 MVA

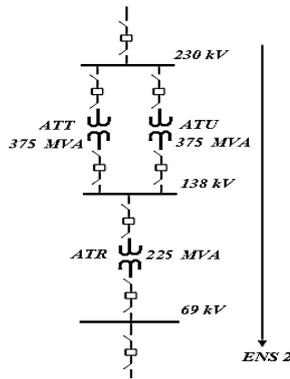


Figura 4.5: Punto de Transformación 2

De igual forma el cálculo de la energía no suministrada es:

$$ENS = 975 \text{ MVA} \times 0.92 \times 0.6 \times 8760 \times 0,00983026265 \times 1000$$

$$ENS = 46.346.070,86 \text{ [kW - h]}$$

El costo en millones de dólares por la energía no suministrada es:

$$\text{Costo} = \text{US } \$ 23.173.035,43$$

### 4.6. Evaluación de alternativas para el estudio de confiabilidad

En busca de la mejora de la confiabilidad actual de la subestación Pascuales se analizan dos alternativas u opciones.

#### Alternativa 1

En este diseño la configuración solo tendrá cambios en el nivel de 230kV. La configuración propuesta de barras para los tres niveles es:

- Nivel 230 kV como barra principal y de transferencia.
- Nivel 138 kV como barra principal y de transferencia.
- Nivel 69 kV como barra principal y de transferencia.

En esta configuración disminuye la cantidad de seccionadores, por lo tanto su valor de tasa de falla aumenta, mientras que la tasa de reparación es igual al valor del caso actual debido a que los datos estadísticos de falla se mantienen, es decir que el número de fallas y el tiempo de indisponibilidad de este grupo de elementos no cambian ya que solo se eliminan los elementos no fallados.

#### Alternativa 2

Para este diseño la configuración de barra solo tendrá cambios en los niveles de voltaje de 138 kV y 69 kV. Las configuraciones de barra son:

- Nivel 230 kV como doble barra.
- Nivel 138 kV como doble barra.
- Nivel 69 kV como doble barra.

Implementando estos cambios la cantidad de seccionadores aumenta, por lo tanto, se determina la nueva tasa de falla de este elemento, mientras que la tasa de reparación, de igual manera es el mismo valor del caso actual para los niveles de 138 kV y 69 kV.

Esta asunción se la hace debido a que los datos estadísticos de falla se mantienen, es decir que el número de fallas y el tiempo de indisponibilidad de este grupo de elementos en estos niveles no cambian, ya que, solo se aumentan la cantidad de seccionadores.

### 4.7. Comparación y análisis de resultados finales

Con el fin de tomar la mejor decisión, se realiza la comparación enfocada en dos partes, la confiabilidad y el costo de la energía no suministrada.

#### Confiabilidad

Los valores determinados de la confiabilidad en los niveles de voltaje y autotransformadores tanto para el caso actual así como para las alternativas propuestas se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4. 5: Resumen de Confiabilidades de las Alternativas y caso actual

	Caso Actual		Alternativa 1		Alternativa 2	
	Confiabilidad [%]	Indisponibilidad [%]	Confiabilidad [%]	Indisponibilidad [%]	Confiabilidad [%]	Indisponibilidad [%]
Patio 230 KV	99,97715993	0,022840067	99,97679387	0,02320613	99,97715993	0,022840067
Patio 138 KV	99,70128338	0,29871662	99,70128338	0,29871662	99,70138147	0,29861853
Patio 69 KV	99,98292887	0,017071129	99,98292887	0,017071129	99,98313482	0,001686518
ATT	99,93665369	0,063346311	99,93665369	0,063346311	99,93665369	0,063346311
ATU	99,85354836	0,146451639	99,85354836	0,146451639	99,85354836	0,146451639
ATR	99,3533815	0,646618497	99,3533815	0,646618497	99,3533815	0,646618497
<b>Total</b>	<b>99,01697374</b>	<b>0,983026265</b>	<b>99,01661119</b>	<b>0,98338881</b>	<b>99,0172751</b>	<b>0,982724887</b>

Comparando los resultados del caso actual con la alternativa 1 se tiene:

- En el patio de 230 kV el valor de la confiabilidad es menor al valor de la confiabilidad del caso actual.
- La confiabilidad total de la subestación Pascuales con la alternativa 1 no mejora, lo que

implica que no es conveniente realizar dicha configuración.

Comparando los resultados del caso actual con la alternativa 2 se tiene lo siguiente:

- Los valores de confiabilidad para el nivel de 138 kV y 69 kV son mayores que los valores encontrados para el caso actual. Este resultado es aceptable ya que teóricamente la configuración de doble barra brinda más confiabilidad a un sistema.
- La confiabilidad total de la subestación Pascuales mejora, lo que implica que es conveniente realizar dicha configuración.

### Costo de la energía no suministrada

Los valores obtenidos de la energía no suministrada y el costo en los puntos de entrega para cada análisis se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 6: Resumen de la Energía no Suministrada**

	RESUMEN TOTAL				
	Punto Determinado	CONFIABILIDAD [%]	INDISPONIBILIDAD [%]	ENS [kwh-año]	COSTO [dólares]
ACTUAL	1	99,678419	0,3215809646	11.662.582,87	5.831.291,44
	2	99,0169737	0,983026265	46.346.070,86	23.173.035,43
ALTERNATIVA 1	1	99,6780541	0,3219459308	11.675.819,9	5.837.909,95
	2	99,0161119	0,98338881	46.363.163,52	23.181.581,76
ALTERNATIVA 2	1	99,6785171	0,321482897	11.659.027,34	5.829.513,67
	2	99,0172751	0,982724887	46.331.861,99	23.165.930,99

Comparando el resultado del costo de la energía no suministrada del caso actual con la alternativa 1 se tiene que:

- En la alternativa 1, el valor de la energía no suministrada para los puntos de entrega 1 y 2 respectivamente son altos comparados con el caso actual.

Comparando los resultados del caso actual y la alternativa 2 se tiene lo siguiente:

- Para la alternativa 2 el sistema mejora su confiabilidad.
- Para la energía no suministrada en el punto 1 y 2, por ende en sus costos, se obtienen valores menores comparados con el caso actual.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Los valores encontrados de confiabilidad y de costos dependen de la veracidad de la información sobre la bitácora de fallas y datos históricos relacionados con las salidas de

servicio del sistema, con precisas especificaciones de tiempo y causas de las fallas.

- Con los datos estadísticos de fallas obtenidos, el ATR resulta ser el elemento menos confiable por tener un tiempo de indisponibilidad mayor que los otros equipos primarios de la subestación.
- Los índices de confiabilidad definen una alternativa conveniente para el mejor desempeño del abastecimiento de energía, pero este criterio debe complementarse con el costo de inversión de implementar dicha alternativa.
- En concordancia con los índices de confiabilidad y los costos se puede concluir que la alternativa 2; con las configuraciones de doble barra para cada nivel de voltaje es la mejor alternativa a implementar.

## Recomendaciones

- Pese a que las fallas fueron escasas se recomienda crear una buena base de datos con el objetivo de obtener mejor información de estos eventos.
- Se recomienda efectuar un buen mantenimiento en los equipos primarios, ya que la confiabilidad depende del buen estado y de la vida útil en que los elementos constitutivos se encuentren.

## 6. Bibliografía

- [1] DANIEL NACK, RELIABILITY OF SUBSTATION CONFIGURATIONS, Iowa State University, 2005.
- [2] JULIO C. SUY YUCUTÈ, ANÀLISIS DE CONFIABILIDAD DE LA LINEA ESCUINTLA – GUATEMALA SUR EN 230 KV, Universidad San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Guatemala, 2005.
- [3] OSCAR DAVID FLÓREZ CEDIEL, CONFIABILIDAD DE SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN MEDIANTE EL METODO DE ÁRBOLES DE FALLA, Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Bogotá, 2005.
- [4] F. ECHEVERRIA, ESTUDIO DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN SUBESTACIONES DEL SISTEMA NACIONAL DE TRANSMISION, EPN, Quito, 2008.
- [5] ZAPATA C., ESTIMACIÓN DE TASAS DE FALLAS DE COMPONENTES EN CASOS DE AUSENCIA DE DATOS O CANTIDADES LIMITADAS DE DATOS, Scientia et Technica Año XI, N° 27, Abril 2005. UTP. ISSN 0122-1701