

## CAPITULO 5

# EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

### 5.1 Panorama de la evaluación de la confiabilidad.

Al observar la actualidad de nuestro Sistema Eléctrico Nacional desde la generación hasta el consumo de la energía eléctrica se requiere que sea seguro, con una inversión aceptable, mantener el suministro en una forma continua, topologías con flexibilidad y expansión, eficiencia eléctrica, costos mínimos de mantenimiento, es decir, con un mínimo de interrupciones y en la cantidad que los distintos tipos de usuarios requieran, esto con la calidad de servicio apropiado.

Con estos objetivos estratégicos en beneficio de los sistemas de distribución se ha hecho necesario realizar estudios de confiabilidad en todas las partes del sistema eléctrico, sobre todo en la parte de distribución, debido a que las fallas que ocurren ahí, por lo general son las causas de falta de energía a los usuarios.

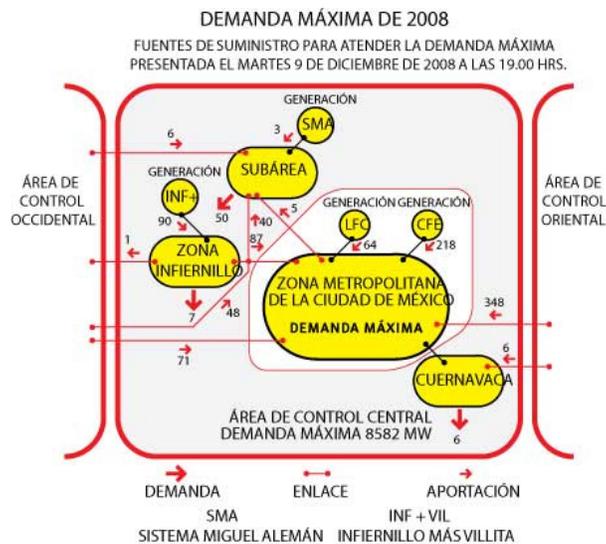
La configuración del sistema de distribución y su filosofía de operación afectan la confiabilidad, más aun los gastos de operación y mantenimiento que doblan a los de transmisión. Esto no nos sorprende dado el cambio de necesidades y expectativas respecto a la confiabilidad del suministro en zonas con distintas características como lo son: las zonas residenciales, industriales, comerciales, rurales. Además el análisis de la confiabilidad en los sistemas de distribución puede ayudar a mejorar su confiabilidad, dirigiendo los gastos y evitando la sobre inversión.

La distribución de energía a más de 5 millones 900 mil usuarios en la zona central del país que era parte del servicio de Luz y Fuerza del Centro, es decir, están incluidas todas las zonas que atiende 16 delegaciones en el DF, 86 municipios en el Estado de México, 46 en Hidalgo, cinco en Puebla y tres en Morelos, asentados en 23 mil 255 kilómetros cuadrados. Se efectúa a través de más de 244 subestaciones , cada uno de esos alimentadores aportan una determinada fracción al valor del tiempo de interrupción que sufren los usuarios (TIU).

## 5.2 Evaluación de la confiabilidad en alimentadores.

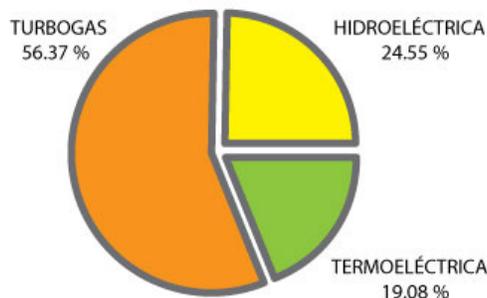
Este capítulo se enfoca en el análisis de sistemas de distribución que se encuentran en la zona central de México. Y por tanto es importante tomar los datos y valores que se han registrado a lo largo de los años en esta área del país.

Por ejemplo para el 2008, Luz y Fuerza del Centro contó con una capacidad instalada para generar energía eléctrica de 1,174.33 MW; de los cuales 288.33 MW son de Hidroeléctricas, 224 MW corresponden a una Central Termoeléctrica y 662 MW son del tipo Turbogas; la responsabilidad del mantenimiento y operación correspondía a la Gerencia de Generación.



Con la entrada en servicio de nueve unidades de Generación Distribuida, Atenco, Coyotepec 1 y 2, Cuautitlán, Ecatepec, Remedios, Victoria, Villa de las Flores y Vallejo de 32 MW, cada una y la repotenciación de la unidad 2 de la C.H. Lerma de 20 a 27 MW.

Generación por Tipo de Planta en LyFC



Para transportar la energía eléctrica desde las Centrales Generadoras y desde los puntos de recepción de energía con Comisión Federal de Electricidad hasta los centros de consumo, Luz y Fuerza del Centro contó con las redes de Transmisión y Transformación en alta, media y baja tensión como sigue:

La red de Transmisión está compuesta por líneas de 400, 230, 115 y 85 kV; al finalizar el 2007 se alcanzó una longitud de 3,376.69 km., desarrollándose como sigue:

| <b>Longitud de líneas del Transmisión</b> |             |           |             |           |             |           |             |           |
|---|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| <b>Nivel de Tensión (KV)</b>              | <b>2004</b> |           | <b>2005</b> |           | <b>2006</b> |           | <b>2007</b> |           |
|   | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> |
| 400                                       | 14          | 389.27    | 14          | 389.27    | 20          | 389.27    | 20          | 389.27    |
| 230                                       | 71          | 1075.75   | 71          | 1076.38   | 89          | 1127.52   | 89          | 1127.52   |
| 115                                       | 4           | 57.50     | 4           | 57.50     | 4           | 57.5      | 4           | 57.50     |
| 85  | 133         | 1803.02   | 133         | 1804.38   | 136         | 1874.38   | 139         | 1802.40   |
| Total                                     | 222         | 3325.54   | 222         | 3327.53   | 249         | 3448.67   | 252         | 3376.69   |

Puesto que la red eléctrica de Luz y Fuerza del Centro se encuentra en una zona densamente poblada, se cuenta además con una red de cables subterráneos de potencia de 230 y 85 kV, al finalizar el mes de junio del año 2007 se alcanzó una longitud de 161.33 km desarrollándose como sigue:

| <b>Longitud de Cables Subterráneos de Potencia</b> |             |           |             |           |             |           |             |           |
|--|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| <b>Nivel de Tensión (KV)</b>                       | <b>2004</b> |           | <b>2005</b> |           | <b>2006</b> |           | <b>2007</b> |           |
|  | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> | <b>No.</b>  | <b>Km</b> |
| 230  | 23          | 80.49     | 25          | 85.89     | 25          | 86.34     | 25          | 86.34     |
| 85   | 22          | 73.51     | 22          | 74.99     | 22          | 74.99     | 22          | 74.99     |
| Total  | 45          | 154.00    | 47          | 160.88    | 47          | 161.33    | 47          | 161.33    |

La transformación permite adecuar las características de tensión y corriente de la energía eléctrica que se produce en las Centrales Generadoras y que se transmite en altos voltajes por las líneas de transmisión a través de grandes distancias para entregar a los clientes la energía

eléctrica requerida para sus procesos. A continuación se indica la capacidad de transformación instalada en las subestaciones que tenía Luz y Fuerza del Centro:

| <b>Capacidad en Subestaciones (MVA)</b> |                   |                   |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Tipo de transformación</b>           | <b>2004</b>       | <b>2005</b>       | <b>2006</b>       | <b>2007</b>       |
| En servicio                             | 22,849.919        | 24,359.919        | 25,183.719        | 26,038.719        |
| Reserva                                 | 989.450           | 1099.450          | 1099.450          | 1099.450          |
| Servicio Estación                       | 51.431            | 53.231            | 53.681            | 108.131           |
| Bcos. de tierra                         | 131.250           | 131.250           | 131.250           | 161.250           |
| Reguladores Volt.                       | 110.968           | 113.968           | 113.968           | 113.968           |
| Bcos. de capacitores                    | 2,888.100         | 2,913.300         | 3,046.800         | 3,059.400         |
| Reactores                               | 85.560            | 85.560            | 85.560            | 85.560            |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>27,106.678</b> | <b>28,756.678</b> | <b>29,714.428</b> | <b>30,666.478</b> |
| <b>No. Subestaciones</b>                | <b>218</b>        | <b>233</b>        | <b>234</b>        | <b>244</b>        |

### 5.2.1 Alimentador aéreo.

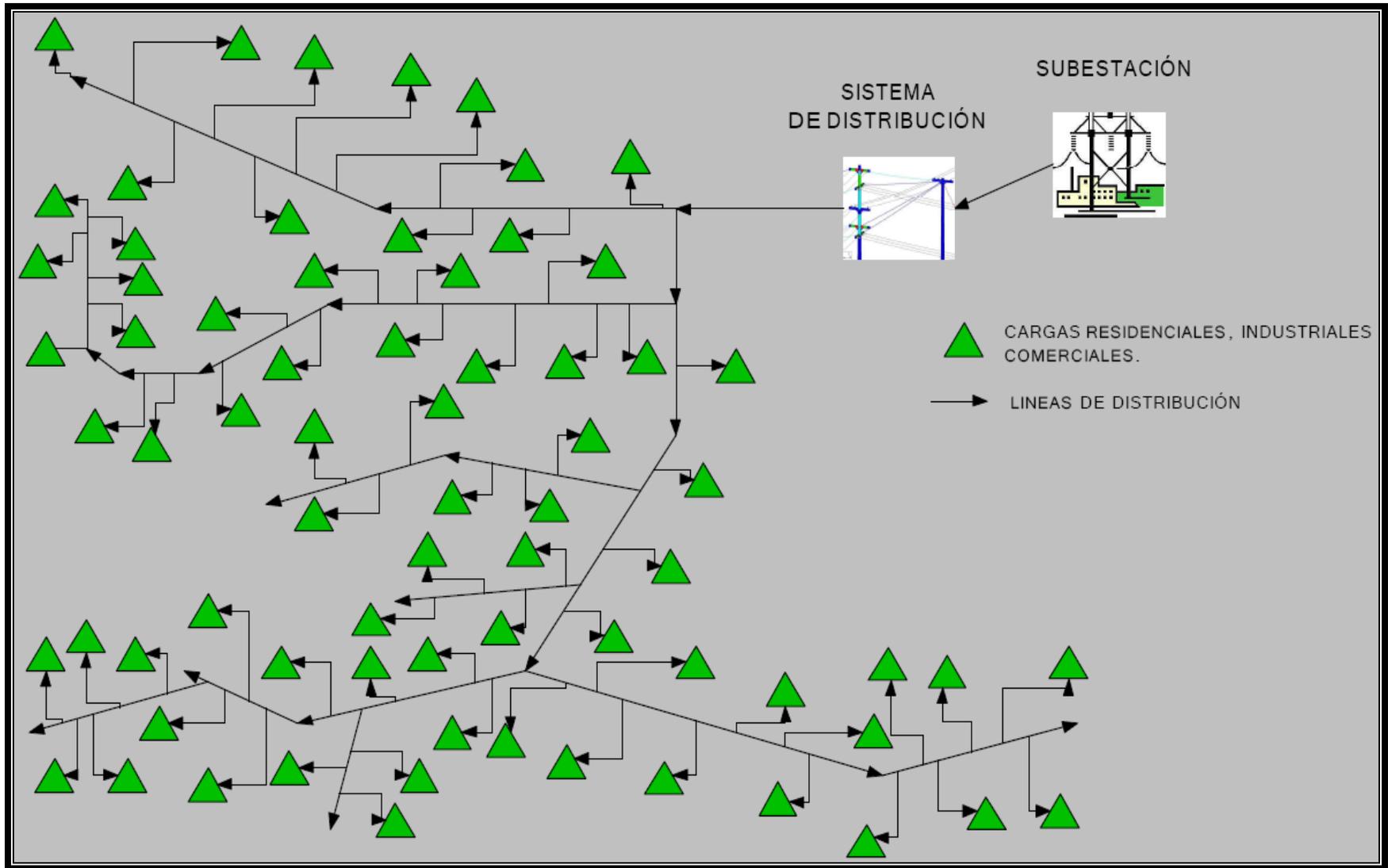
Se analizará a continuación una situación donde se hace uso de la evaluación de la confiabilidad, y en este caso se aplica sobre un alimentador que se encuentra operando bajo las condiciones actuales de México, Distrito Federal, es decir, se simula que el alimentador se ubica en esta región, bajo una altitud mínima de 2.200 metros sobre el nivel del mar. Hay que recordar que es una región con una alta densidad de población y necesidades de alta prioridad en donde un corte de la energía eléctrica repercute con consecuencias de alto precio en lo social y económico.

Se presenta para este alimentador 6 alternativas o propuestas posibles de elección, cada una con su respectivo estudio de confiabilidad y estudio técnico-económico. El diagrama de la siguiente página muestra la distribución de cargas que tiene este alimentador.

La descripción para este sistema de distribución es que tiene cargas residenciales, comerciales y de nivel industrial medio. Tiene una topología radial con una longitud aproximada de 22.6 km, esta longitud incluye troncal y ramal. El número de usuarios es de 11,103 en conjunto.

Al ver el diagrama del alimentador se puede observar que de forma esquemática se tienen los ramales y troncales en diferentes direcciones para poder llegar a sus cargas las cuales están simbolizadas a través de triángulos, en este caso, no se separaron las cargas residenciales, comerciales e industriales. De igual forma se observa la subestación encargada de darle energía a este alimentador en forma radial y a través de un alimentador aéreo.

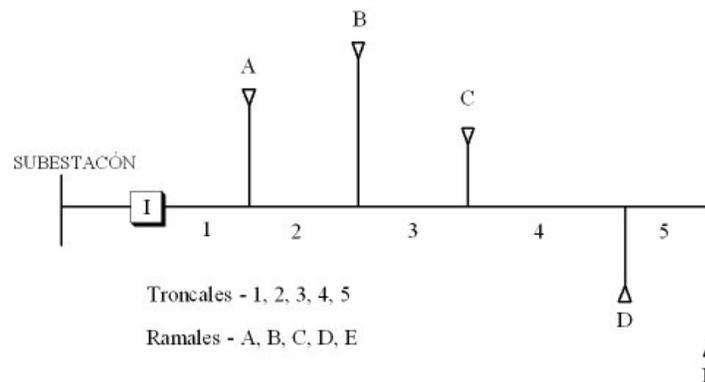
Para el análisis de este sistema de distribución es factible agrupar los elementos de éste. Por lo tanto, se hace necesario agrupar los ramales y troncales. La troncal, es dividida en el modelo en partes.



## 5.3 Desarrollo del estudio de la confiabilidad y sus alternativas.

La manera más eficiente de estudiar cada alternativa es hacer uso de los diagramas de confiabilidad los cuales buscan agrupar y tener como resultado un análisis compacto y claro. Una vez agrupado los ramales y los troncales, se acomodaron en un diagrama de confiabilidad para facilitar su estudio.

Ahora se tiene el diagrama de confiabilidad que utilizaremos para este análisis.



Nota: Existen usuarios tanto en los ramales como en los troncales, uniformemente distribuidos a lo largo de estos.

Datos generales del alimentador.

- Tensión VL = 23 kV.
- Corriente: I = 22 A.
- Longitud total del alimentador: 22.660 km.
- Número total de usuarios: 11103
- Interrupciones
  - Interrupciones transitorias: 10 / año
  - Interrupciones permanentes: 4 / año
- Potencia instalada

$$S = \sqrt{3}V_L I$$

$$S = (\sqrt{3})(23000)(292)$$

$$S = 11.63MVA$$

$$S = 10469kW$$

- Número de usuarios por kilómetro (N)

$$N = \frac{\text{No. de total de usuarios}}{\text{Longitud total del alimentador}}$$

$$N = \frac{11103}{22.660} = 490 \text{ usuarios / km}$$

- Tasas de falla por kilómetro.

$$\lambda_{tran} = \frac{\text{Interrupciones transitorias}}{\text{Longitud total del alimentador}}$$

$$\lambda_{tran} = \frac{10}{22.660} = 0.441 \text{ fallas / km - año}$$

$$\lambda_{per} = \frac{\text{Interrupciones permanentes}}{\text{Longitud total del alimentador}}$$

$$\lambda_{tran} = \frac{4}{22.660} = 0.176 \text{ fallas / km - año}$$

- Tiempos de reparación de las fallas.

r<sub>1</sub> = 5 hrs.- Localización, reparación y puesta en servicio.

r<sub>2</sub> = 1 hr.- Localización y apertura del equipo de seccionamiento.

- Longitud y número de usuarios de cada sección.

| Sección   | Longitud (km) | No. Usuarios |
|-----------|---------------|--------------|
| Troncal 1 | 0.492         | 241          |
| Troncal 2 | 0.608         | 298          |
| Troncal 3 | 0.716         | 351          |
| Troncal 4 | 1.632         | 800          |
| Troncal 5 | 1.496         | 733          |
| Ramal A   | 2.448         | 1199         |
| Ramal B   | 9.992         | 4896         |
| Ramal C   | 0.624         | 306          |
| Ramal D   | 1.176         | 576          |
| Ramal E   | 3.476         | 1703         |

Los índices más prácticos para evaluar adecuadamente un punto de carga son aquellos que indican que tan seguido y por cuanto tiempo pueden las fallas o salidas ocurrir en un punto dado de carga.

Un índice adicional anual es el tiempo esperado fuera (U) y esta directamente relacionado con la tasa de falla ( $\lambda$ ) y el tiempo medio de reparación (r). Este índice es la medida de la indisponibilidad o no disponibilidad del servicio en el punto de la carga, expresado en las unidades de tiempo apropiadas para el periodo.

El concepto de obtener un equivalente en términos de ( $\lambda$ ) y (r) para configuraciones simples de serie o paralelo. Estas ecuaciones están resumidas a continuación.

| Parámetro | Sistema Serie   | Sistema Paralelo                  |
|-----------|---|-----------------------------------|
| $\lambda$ | $\lambda_1 + \lambda_2$                                       | $\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)$ |
| r         | $\frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ | $\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$       |
| U         | $\lambda r$   | $\lambda r$                       |

La evaluación de los tres índices del punto de carga:  $\lambda$ , r y U es relativamente directa en una configuración radial. La idea básica es crear una tabla de modo de falla y efecto, en la que la contribución de cada evento pueda verse claramente así como calcular los índices de confiabilidad en sistemas de distribución.

Estos índices son los siguientes:

ACI Interrupciones anuales al usuario. (Annual Customer Interruption)

SAIFI Índice promedio de frecuencia de las interrupciones del sistema. (System Average Interruption Frequency Index)

CID Duración total de las interrupciones del usuario. (Customer Interruption Duration)

SAIDI Índice promedio de duración de las interrupciones del sistema. (System Average Interruption Durations Index)

CAIDI Índice promedio de duración de las interrupciones por usuario. (Customer Average Interruption Durations Index)

ASAI Índice promedio de la disponibilidad del servicio. (Average Service Availability Index)

TIU Tiempo de Interrupción por Usuario.

Se presenta las seis alternativas o soluciones que he propuesto para reducir el tiempo de interrupción a los usuarios.

Primeramente se mostrarán los diagramas de cada una de las alternativas y se explicará la manera en que operan, dependiendo del equipo de protección y seccionamiento con que cuentan. Posteriormente obtenemos las tablas de modo de falla y efecto de cada alternativa las cuales nos permitirán obtener los índices de confiabilidad necesarios para el estudio.

### 5.3.1 Alimentador aéreo, alternativa 1.

#### ALTERNATIVA 1.

En primera instancia para lograr tener una diagrama de confiabilidad fue necesario la agrupación de los componentes del sistema de distribución en estudio y para ello a continuación se muestra una secuencia de cómo se va obteniendo estos criterios y el diagrama. Además de la descripción de cada etapa de este proceso:

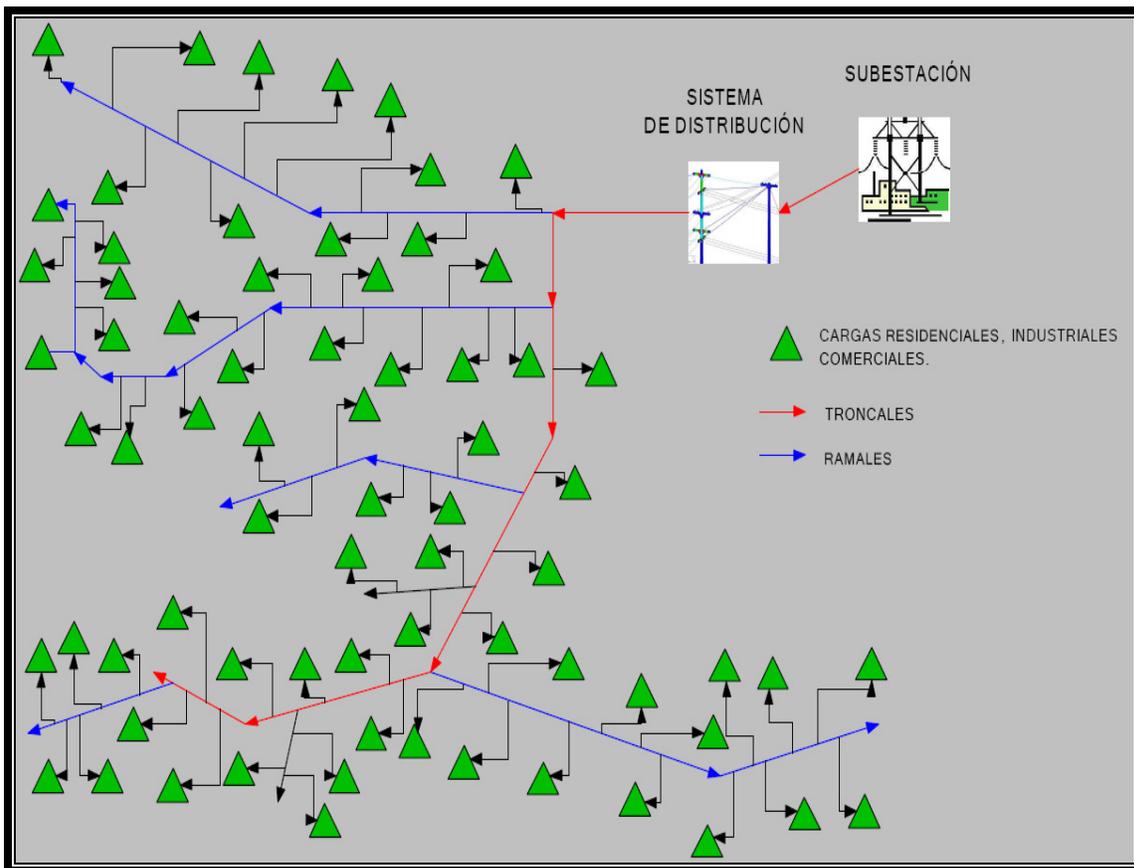


Diagrama 1.

En el primer diagrama se muestra el sistema de distribución separado en ramales y troncales se utilizaron dos colores para una fácil identificación. Así como también se agruparon y se identifican en un solo color todas las cargas sin hacer distinción en el tipo de servicio; ya que para los fines de esta evaluación nos interesa que en todas las cargas exista una confiabilidad no discriminadora.

En cuanto al segundo diagrama apoyado en el criterio del primer diagrama se logra visualizar de una manera más explícita la diferencia entre ramales y troncales, siendo el objetivo de este esquema, mostrar como se dividieron los troncales de este sistema de distribución con la ayuda de diferentes colores para cada troncal y además la asignación de números para lograr tener identificados por completo cada troncal. Y también están marcadas de un solo color todas las cargas de nuestro sistema.

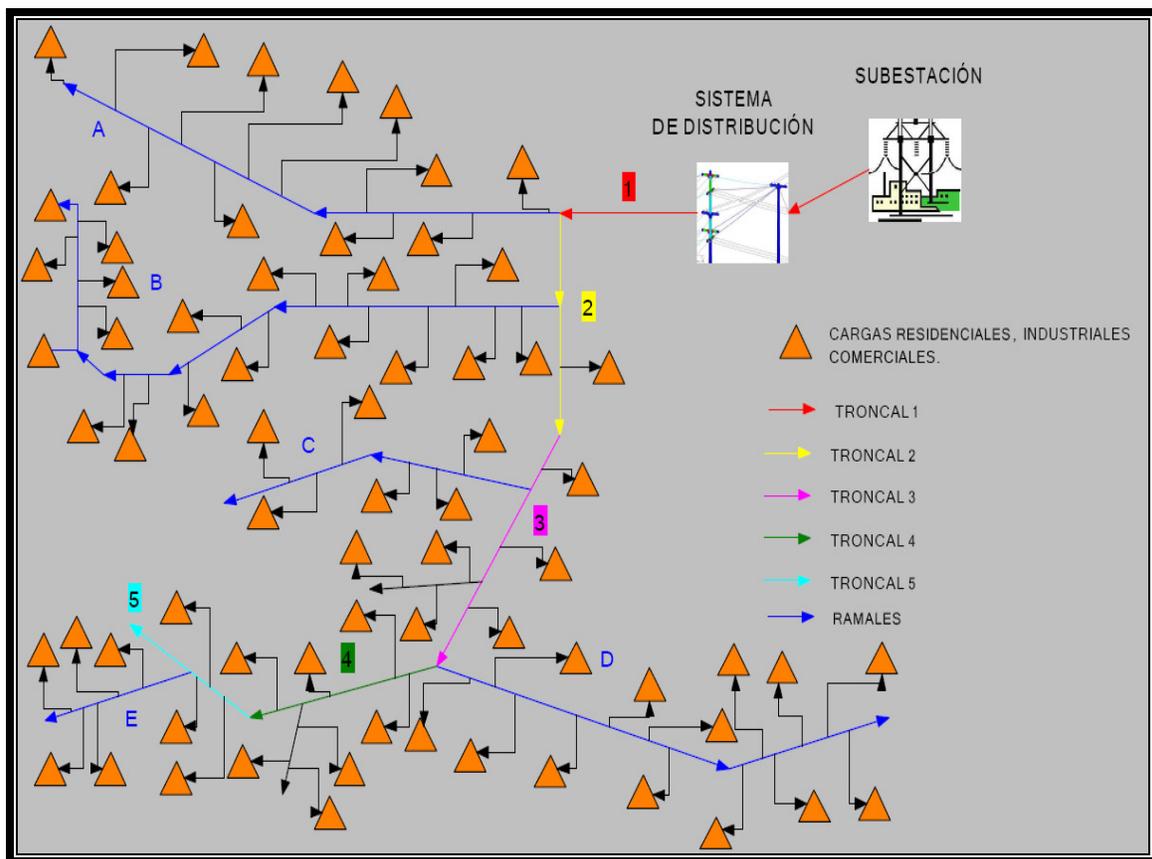


Diagrama 2.

Y en relación al último diagrama donde el objetivo es marcar por completo la plena identificación de los ramales que pertenecen al sistema de distribución evaluado. De igual forma que el anterior se utilizan distintos colores y ahora el uso de letras para cada ramal, pues así no existirá confusión con los nombres asignados a los troncales del sistema. Por supuesto que las cargas eléctricas en este diagrama siguen identificadas con un solo color.

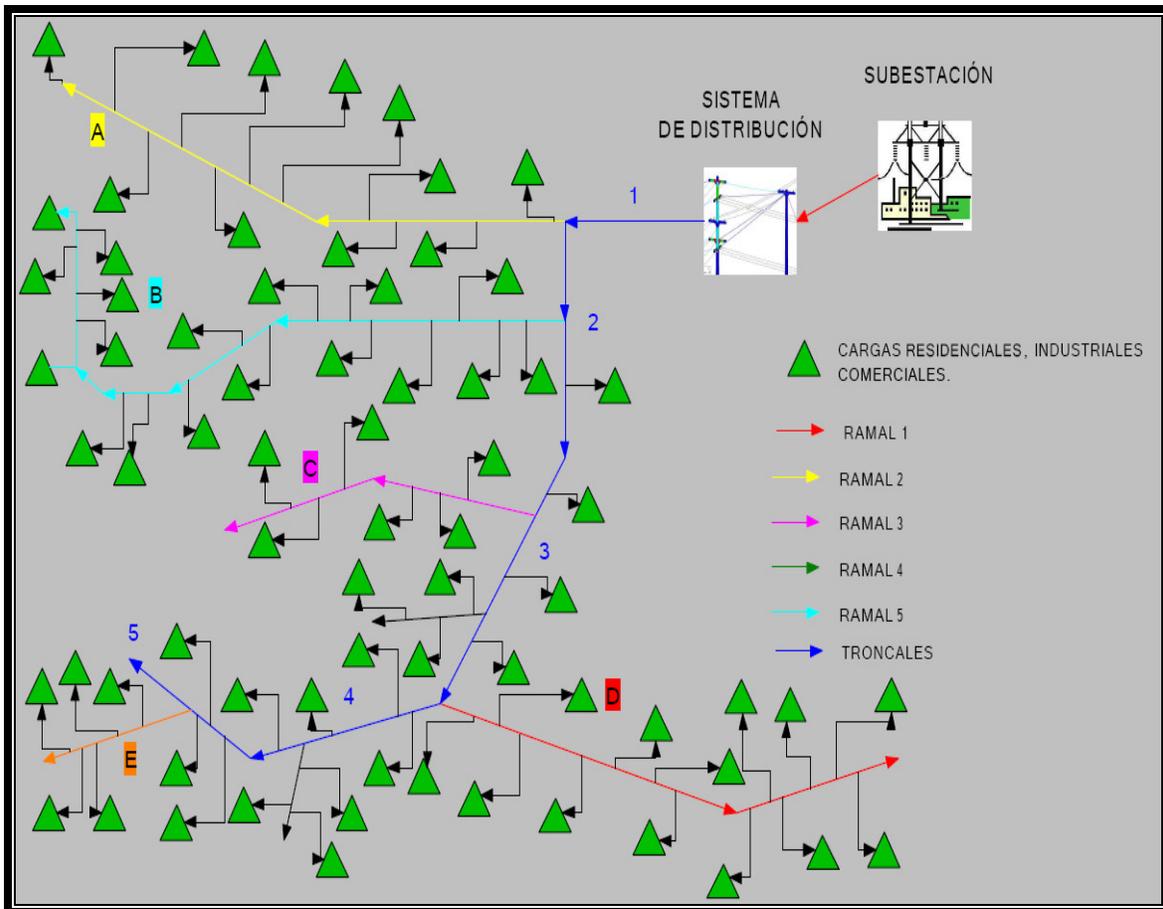
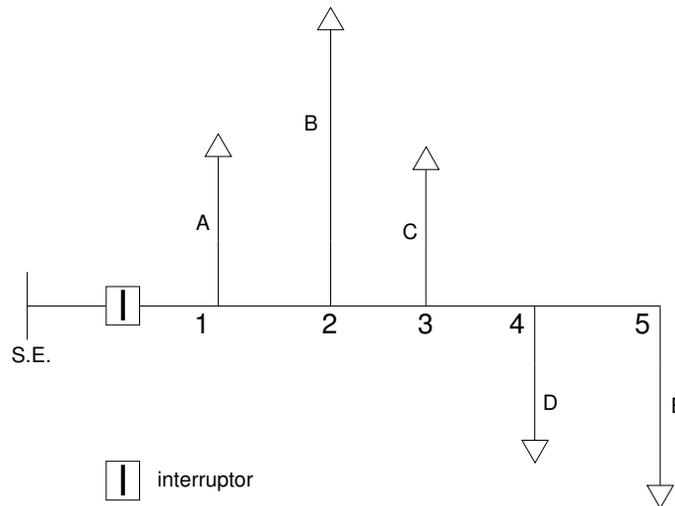


Diagrama 3.

Bajo estos criterios se conforma el diagrama de confiabilidad que corresponde a la alternativa 1 del sistema de distribución.

Ahora este es el diagrama de confiabilidad que se utilizará para la alternativa número 1, pero con la adición de un interruptor de potencia. Y así cada alternativa tendrá su propio diagrama de confiabilidad con la diferencia de que tendrán puesto diferentes equipos eléctricos de seccionamiento o protección ubicados en diferentes puntos dependiendo de la configuración propuesta.



La primera alternativa cuenta únicamente con un interruptor de potencia al principio del alimentador, con el fin de proteger a la subestación contra fallas que pudieran ocurrir en cualquier troncal o ramal. En este caso con cualquier falla que ocurriera (transitoria o permanente) en cualquier punto del alimentador, el interruptor abrirá dejando sin energía a todo el sistema hasta que no se repare la falla, esto debido a que no se cuenta con ningún equipo de seccionamiento a lo largo del mismo. Por lo que el tiempo que estará fuera depende únicamente del tiempo de reparación de la falla, y que como se vio anteriormente los tiempo de reparación y seccionamiento son de 5 y 1 horas respectivamente. Para realizar el estudio de confiabilidad de cada una de las alternativas nos podemos ayudar con las siguientes tablas, las cuales se explican a continuación. A la primera tabla trata acerca del modo de falla y efecto. El propósito de ésta es el de suponer que ocurren fallas en cada una de las secciones, ya sea en algún ramal o troncal, y ver en que manera son afectados todos los usuarios que dependen de este alimentador.

En la primera columna llamada componente en falla, se encuentran enlistadas cada una de las secciones del alimentador, como son los troncales 1, 2, 3, 4 y 5, y los ramales A, B, C, D y E, en las

cuales podría presentarse en cualquier momento alguna falla. En las siguientes tres columnas tenemos los datos de cada sección, como son, su longitud en kilómetros, el número de usuarios que están conectados en esta, así como su tasa de falla.

Para poder entender el procedimiento que se debe de seguir para llenar el resto de la tabla, mostramos un ejemplo. ¿Qué consecuencias tiene una falla que ocurre en el *troncal 1* en cada una de las secciones del alimentador? Primeramente realizaremos el análisis para el *ramal A*.

En este caso, necesitamos obtener los valores de la tasa de falla ( $\lambda$ ), el tiempo de reparación ( $r$ ) y la no disponibilidad ( $U = \lambda r$ ) para el *ramal A*; su tasa de falla se obtiene multiplicando la tasa de falla del alimentador, que es de 0.176 fallas / km, por la longitud de la sección en donde se supone que se presenta la falla, que en este caso es el *troncal 1* que tiene una longitud de 0.492 km, obteniendo como resultado  $\lambda = 0.087$  fallas / año.

El tiempo de reparación va a depender del equipo de seccionamiento con que se cuente, además del lugar en donde se presenta la falla, y que como ya hemos visto puede ser de 1 o 5 horas. En el caso de la alternativa 1 ya que no cuenta con equipo de seccionamiento, si se presenta una falla en cualquier sección, su tiempo de reparación será de  $r=5$  horas, que es el tiempo que tardaría el personal de la compañía suministradora en localizar la falla, repararla y poner nuevamente en servicio el sistema. Una vez obtenidos tanto la tasa de falla ( $\lambda$ ) como el tiempo de reparación ( $r$ ) podemos obtener la indisponibilidad ( $U$ ), que resulta de la multiplicación de estos dos valores, dando como resultado que la indisponibilidad del *ramal A*, cuando ocurre una falla en el *troncal 1* es  $U=0.433$  horas / año. De esta manera hemos obtenido los tres índices para el *ramal A* considerando que en el *troncal 1* se ha presentado una falla. Este mismo procedimiento se sigue para obtener los mismos índices para cada uno de los demás ramales y troncales.

Ya obtenidos los índices para todos los componentes, se realiza el mismo análisis, pero ahora considerando que la falla se presenta en el *troncal 2*, luego en el *troncal 3*, y así sucesivamente hasta suponer la falla en cada una de las secciones del alimentador.

La tabla 2 muestra el resumen de los resultados de la primer tabla, en donde tenemos la tasa de falla ( $\lambda$ ), el tiempo de reparación ( $r$ ), la no disponibilidad ( $U$ ) y la disponibilidad ( $A$ ) de cada una de

las secciones del alimentador. Por ejemplo, los parámetros totales para el *ramal A* los obtenidos de la siguiente forma.

$$\lambda_A = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E$$

$$\lambda_A = 0.087 + 0.107 + 0.126 + 0.287 + 0.263 + 0.431 + 1.759 + 0.110 + 0.207 + 0.612$$

$$\lambda_A = 3.988 \text{ f / año}$$

$$U_A = \sum_{i=1}^n U_i = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_A + U_B + U_C + U_D + U_E$$

$$U_A = 0.433 + 0.535 + 0.630 + 1.436 + 1.316 + 2.154 + 8.793 + 0.549 + 1.035 + 3.059$$

$$U_A = 19.941 \text{ h / año}$$

$$r_A = \frac{U_A}{\lambda_A} = \frac{19.941}{3.988} = 5 \text{ h / año}$$

$$A_A = \text{horas del año} - U_A = 8760 - 19.941 = 8740.06 \text{ h / año}$$

Por último tenemos la tabla 3, en la que mostramos los resultados de los índices de confiabilidad (ACI, SAIFI, CID, SAIDI, CAIDI y ASAI), que son calculados de la siguiente manera:

$$ACI = N_A \lambda_A + N_B \lambda_B + N_C \lambda_C + N_D \lambda_D + N_E \lambda_E + N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 + N_3 \lambda_3 + N_4 \lambda_4 + N_5 \lambda_5$$

$$ACI = (1199)(3.988) + (4896)(3.988) + (306)(3.988) + (576)(3.988) + (1703)(3.988) +$$

$$+ (241)(3.988) + (298)(3.988) + (351)(3.988) + (800)(3.988) + (733)(3.988)$$

$$ACI = 44280.54 \text{ usuarios - falla / año}$$

$$SAIFI = \frac{ACI}{\text{Total de usuarios}}$$

$$SAIFI = \frac{44278.76}{11103}$$

$$SAIFI = 3.99 \text{ fallas / años}$$

$$CID = N_A U_A + N_B U_B + N_C U_C + N_D U_D + N_E U_E + N_1 U_1 + N_2 U_2 + N_3 U_3 + N_4 U_4 + N_5 U_5$$

$$CID = (1199)(19.941) + (4896)(19.941) + (306)(19.941) + (576)(19.941) + (1703)(19.941) +$$

$$+ (241)(19.941) + (298)(19.941) + (351)(19.941) + (800)(19.941) + (733)(19.941)$$

$$CID = 221402.70 \text{ horas - usuario / año}$$

$$SAIDI = \frac{CID}{\text{Total de usuarios}}$$

$$SAIDI = \frac{221403.92}{11103}$$

$$SAIDI = 19.94 \text{ horas / año}$$

$$SAIDI = 1196.45 \text{ minutos / año}$$

$$CAIDI = \frac{CID}{ACI}$$

$$CAIDI = \frac{221403.92}{44278.76}$$

$$CAIDI = 5 \text{ horas / falla}$$

$$ASAI = \frac{(Total \cdot de \cdot usuarios)(8760) - CID}{(Total \cdot de \cdot usuarios)(8760)}$$

$$ASAI = \frac{(11103)(8760) - 221403.92}{(11103)(8760)}$$

$$ASAI = 0.997724$$

$$TIU = \frac{T_i * U_i}{U_i}$$

Donde  $T_i$  es la duración de la interrupción, expresada en minutos que ocurrió en el alimentador, para  $U_i$  representa los usuarios afectados por la interrupción y mientras tanto  $U_i$  son los usuarios totales al término del periodo en el que se hace esta evaluación.

$$\text{Como resultado se obtiene que } TIU = \frac{(1200 \text{ min})(11,103 \text{ usuarios})}{11,103 \text{ usuarios}}$$

$$TIU = 1200 \text{ min /año}$$

Este mismo procedimiento se sigue para cada una de las alternativas, tomando en cuenta que cada una de ellas tiene sus propios valores tanto de tasa de falla como tiempos de reparación.

TABLA 1.

| MODO DE FALLA Y EFECTO |             |                 |                     |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |           |   |         |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|-----------|---|---------|
| COMPONENTE EN FALLA    | LONGITUD KM | No. DE USUARIOS | $\lambda$ fallas/km | Ramal A   |   |         | Ramal B   |   |         | Ramal C   |   |         | Ramal D   |   |         | Ramal E   |   |         | Troncal 1 |   |         | Troncal 2 |   |         | Troncal 3 |   |         | Troncal 4 |   |         | Troncal 5 |   |         |
|                        |             |                 |                     | $\lambda$ | r | U       |
| Troncal 1              | 0.492       | 241             | 0.176               | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 | 0.086592  | 5 | 0.43296 |
| Troncal 2              | 0.608       | 298             | 0.176               | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 | 0.107008  | 5 | 0.53504 |
| Troncal 3              | 0.716       | 351             | 0.176               | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 | 0.126016  | 5 | 0.63008 |
| Troncal 4              | 1.632       | 800             | 0.176               | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 | 0.287232  | 5 | 1.43616 |
| Troncal 5              | 1.496       | 733             | 0.176               | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 | 0.263296  | 5 | 1.31648 |
| Ramal A                | 2.448       | 1199            | 0.176               | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 | 0.430848  | 5 | 2.15424 |
| Ramal B                | 9.992       | 4896            | 0.176               | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 | 1.758592  | 5 | 8.79296 |
| Ramal C                | 0.624       | 306             | 0.176               | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 | 0.109824  | 5 | 0.54912 |
| Ramal D                | 1.176       | 576             | 0.176               | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 | 0.206976  | 5 | 1.03488 |
| Ramal E                | 3.476       | 1703            | 0.176               | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 | 0.611776  | 5 | 3.05888 |
| TOTAL                  | 22.66       | 11103           |                     | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 | 3.98816   | 5 | 19.9408 |

TABLA 2.

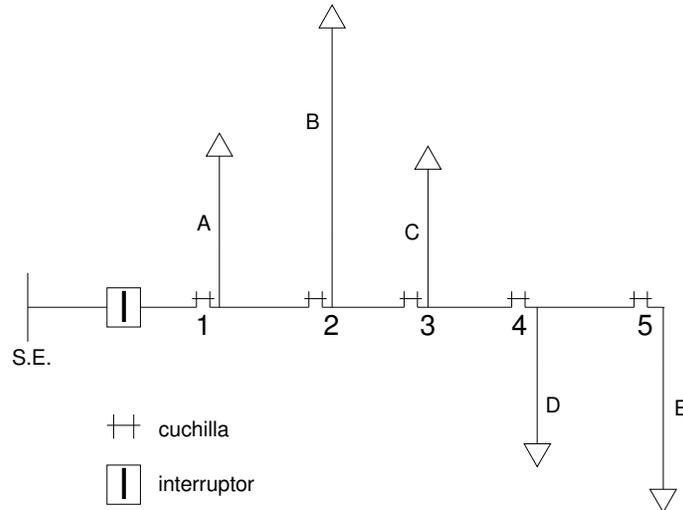
| RESUMEN DE RESULTADOS |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Parámetro             | Ramal   |         |         |         |         | Troncal |         |         |         |         |
|                       | A       | B       | C       | D       | E       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
| $\lambda$ (f/año)     | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  | 3.9881  |
| r (h/año)             | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       |
| U (h/año)             | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  | 19.940  |
| A (h/año)             | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 | 8740.05 |

TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 44280.54048 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 3.98816     | fallas/año         |
| CID                      | 221402.7024 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 19.9408     | horas/año          |
| CAIDI                    | 5           | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.997723653 |                    |
| TIU                      | 1200        | minutos / año      |

### 5.3.2 Alimentador aéreo, alternativa 2.

#### Alternativa 2.



Esta alternativa consiste en un alimentador en configuración radial con cuchillas en las secciones de cada troncal. Esta alternativa además del interruptor cuenta con cuchillas al final de cada uno de los 5 troncales con el fin de aislar las fallas que pudieran presentarse tanto en los ramales como en los troncales.

Si ocurre una falla, la cuchilla ubicada antes del punto en el que ocurre la falla deberá ser abierta para seccionar el alimentador y aislar la falla consiguiendo que los usuarios ubicados antes de la cuchilla queden con servicio y los demás usuarios queden sin servicio hasta que la falla sea reparada. Para observar esto hay que consultar las tablas que corresponden a esta alternativa.

De esta forma podemos deducir que entre más lejos de la subestación ocurra una falla será menor el número de usuarios afectados. Por el contrario si la falla ocurriera al principio del alimentador el número de usuarios afectados sería mucho mayor.

Evaluación de la Confiabilidad de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica.

TABLA 1.

MODO DE FALLA Y EFECTO

| COMPONENTE EN FALLA | LONG. KM | No. DE USUARIOS | λ fallas/km | Ramal A |     |         | Ramal B |   |        | Ramal C |     |        | Ramal D |     |        | Ramal E |   |         | Troncal 1 |     |         | Troncal 2 |     |         | Troncal 3 |   |         | Troncal 4 |     |         | Troncal 5 |     |         |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|---------|-----|---------|---------|---|--------|---------|-----|--------|---------|-----|--------|---------|---|---------|-----------|-----|---------|-----------|-----|---------|-----------|---|---------|-----------|-----|---------|-----------|-----|---------|
|                     |          |                 |             | λ       | r   | U       | λ       | r | U      | λ       | r   | U      | λ       | r   | U      | λ       | r | U       | λ         | r   | U       | λ         | r   | U       | λ         | r | U       | λ         | r   | U       | λ         | r   | U       |
| Troncal 1           | 0.492    | 241             | 0.176       | 0.0865  | 5   | 0.4329  | 0.0865  | 5 | 0.4329 | 0.0865  | 5   | 0.4329 | 0.0865  | 5   | 0.4329 | 0.0865  | 5 | 0.4329  | 0.0865    | 5   | 0.4329  | 0.0865    | 5   | 0.4329  | 0.0865    | 5 | 0.4329  | 0.0865    | 5   | 0.4329  | 0.0865    | 5   | 0.4329  |
| Troncal 2           | 0.608    | 298             | 0.176       | 0.1070  | 5   | 0.5350  | 0.1070  | 5 | 0.5350 | 0.1070  | 5   | 0.5350 | 0.1070  | 5   | 0.5350 | 0.1070  | 5 | 0.5350  | 0.1070    | 1   | 0.1070  | 0.1070    | 5   | 0.5350  | 0.1070    | 5 | 0.5350  | 0.1070    | 5   | 0.5350  | 0.1070    | 5   | 0.5350  |
| Troncal 3           | 0.716    | 351             | 0.176       | 0.1260  | 1   | 0.12601 | 0.1260  | 5 | 0.6300 | 0.1260  | 5   | 0.6300 | 0.1260  | 5   | 0.6300 | 0.1260  | 5 | 0.6300  | 0.1260    | 1   | 0.12601 | 0.12601   | 1   | 0.12601 | 0.12601   | 5 | 0.6300  | 0.12601   | 5   | 0.6300  | 0.12601   | 5   | 0.6300  |
| Troncal 4           | 1.632    | 800             | 0.176       | 0.2872  | 1   | 0.2872  | 0.2872  | 1 | 0.2872 | 0.2872  | 5   | 1.4361 | 0.2872  | 5   | 1.4361 | 0.2872  | 5 | 1.4361  | 0.2872    | 1   | 0.28723 | 0.28723   | 1   | 0.28723 | 0.28723   | 1 | 0.28723 | 0.28723   | 5   | 1.4361  | 0.28723   | 5   | 1.4361  |
| Troncal 5           | 1.496    | 733             | 0.176       | 0.2632  | 1   | 0.2632  | 0.2632  | 1 | 0.2632 | 0.2632  | 1   | 0.2632 | 0.2632  | 5   | 1.3164 | 0.2632  | 5 | 1.3164  | 0.2632    | 1   | 0.26329 | 0.26329   | 1   | 0.26329 | 0.26329   | 1 | 0.26329 | 0.26329   | 1   | 0.26329 | 0.26329   | 5   | 1.3164  |
| Ramal A             | 2.448    | 1199            | 0.176       | 0.4308  | 5   | 2.1542  | 0.4308  | 5 | 2.1542 | 0.4308  | 5   | 2.1542 | 0.4308  | 5   | 2.1542 | 0.4308  | 5 | 2.1542  | 0.4308    | 1   | 0.43084 | 0.43084   | 5   | 2.1542  | 0.43084   | 5 | 2.1542  | 0.43084   | 5   | 2.1542  | 0.43084   | 5   | 2.1542  |
| Ramal B             | 9.992    | 4896            | 0.176       | 1.7585  | 1   | 1.7585  | 1.7585  | 5 | 8.7929 | 1.7585  | 5   | 8.7929 | 1.7585  | 5   | 8.7929 | 1.7585  | 5 | 8.7929  | 1.7585    | 1   | 1.75859 | 1.75859   | 1   | 1.75859 | 1.75859   | 5 | 8.7929  | 1.75859   | 5   | 8.7929  | 1.75859   | 5   | 8.7929  |
| Ramal C             | 0.624    | 306             | 0.176       | 0.1098  | 1   | 0.1098  | 0.1098  | 1 | 0.1098 | 0.1098  | 5   | 0.5491 | 0.1098  | 5   | 0.5491 | 0.1098  | 5 | 0.5491  | 0.1098    | 1   | 0.10982 | 0.10982   | 1   | 0.10982 | 0.10982   | 1 | 0.10982 | 0.10982   | 5   | 0.5491  | 0.10982   | 5   | 0.5491  |
| Ramal D             | 1.176    | 576             | 0.176       | 0.2069  | 1   | 0.2069  | 0.2069  | 1 | 0.2069 | 0.2069  | 1   | 0.2069 | 0.2069  | 5   | 1.0348 | 0.2069  | 5 | 1.0348  | 0.2069    | 1   | 0.20697 | 0.20697   | 1   | 0.20697 | 0.20697   | 1 | 0.20697 | 0.20697   | 1   | 0.20697 | 0.20697   | 5   | 1.0348  |
| Ramal E             | 3.476    | 1703            | 0.176       | 0.6117  | 1   | 0.6117  | 0.6117  | 1 | 0.6117 | 0.6117  | 1   | 0.6117 | 0.6117  | 1   | 0.6117 | 0.6117  | 5 | 3.05888 | 0.6117    | 1   | 0.61177 | 0.61177   | 1   | 0.61177 | 0.61177   | 1 | 0.61177 | 0.61177   | 1   | 0.61177 | 0.61177   | 1   | 0.61177 |
| TOTAL               | 22.66    | 11103           |             | 3.988   | 2.2 | 6.48    | 3.988   | 3 | 14.024 | 3.988   | 3.8 | 15.61  | 3.988   | 4.6 | 17.49  | 3.988   | 5 | 19.9    | 3.988     | 1.4 | 4.33    | 3.988     | 2.2 | 6.48    | 3.988     | 3 | 14.024  | 3.988     | 3.8 | 15.61   | 3.988     | 4.6 | 17.4    |

TABLA 2.

| RESUMEN DE RESULTADOS |             |             |             |             |           |             |             |             |             |             |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Parametro             | Ramal       |             |             |             |           | Troncal     |             |             |             |             |
|                       | A           | B           | C           | D           | E         | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
| $\lambda$ (f/año)     | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816   | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816     | 3.98816     |
| r (h/año)             | 5           | 5           | 5           | 5           | 5         | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           |
| U (h/año)             | 6.485952    | 14.024384   | 15.612608   | 17.493696   | 19.9408   | 4.334528    | 6.485952    | 14.024384   | 15.612608   | 17.493696   |
| A (h/año)             | 8753.514048 | 8745.975616 | 8744.387392 | 8742.506304 | 8740.0592 | 8755.665472 | 8753.514048 | 8745.975616 | 8744.387392 | 8742.506304 |

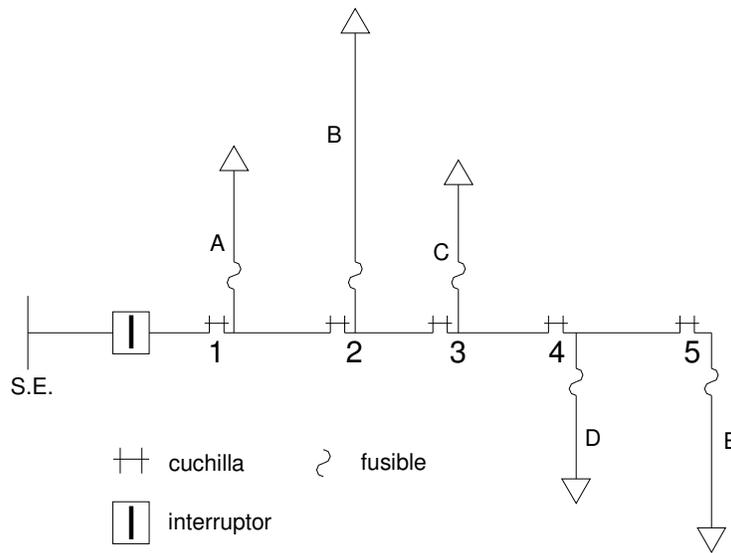
TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 44280.54048 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 3.98816     | fallas/año         |
| CID                      | 158466.0092 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 14.27235965 | horas/año          |
| CAIDI                    | 3.578682813 | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.998370735 |                    |
| TIU                      | 855         | min / año          |

### 5.3.3 Alimentador aéreo, alternativa 3.

#### Alternativa 3.

Esta alternativa consiste en un alimentador aéreo radial con cuchillas en los troncales y además fusibles en las ramas del sistema de distribución. Como se observa ya hay diferencias con respecto a la alternativa 2 y esto debido a que además de las cuchillas en los troncales se colocaron fusibles en los ramales, con el fin de seccionar más el alimentador y poder interrumpir el menor número de usuarios posibles en caso de ocurrir una falla.



Ahora describiendo la situación de falla, es que en caso de está, en cualquier ramal sólo serán afectados los usuarios que se encuentran en dicho ramal, sin que los usuarios situados en los otros ramales o troncales sufran alguna interrupción por causa de esa falla. Pero no debemos de olvidar que los fusibles son equipos de protección contra sobre corrientes, estos operan al detectar cualquier corriente de falla sin importar si se trata de una falla transitoria o permanente. Esto es, si al presentarse una falla que es clasificada como transitoria, como el fusible no tiene la capacidad de distinguir que tipo de falla es, éste opera dejando sin energía al ramal en donde ocurrió dicha falla, lo cual implica que para restaurar el servicio en dicho ramal, es necesario que el personal de la compañía suministradora tenga que ir a restablecer o reemplazar el fusible dañado, convirtiendo así una falla transitoria en permanente y como observaremos en las tablas que se generan para esta alternativa 3, esto aumenta el tiempo de reparación de la falla provocando que el tiempo de

interrupción del alimentador se incrementa y por ende disminuye su confiabilidad. Por lo que para esta alternativa se debe considerar:

Con los datos que pertenecen al alimentador, se tiene que el promedio de fallas que ocurren en este, son 14 en un año, de las cuales 10 son transitorias y otras 4 permanentes, esto da como resultado que las tasas de falla tengan los siguientes valores:

$$\lambda_{tran} = 0.441 \text{ _ fallas / km - año}$$

$$\lambda_{per} = 0.176 \text{ _ fallas / km - año}$$

En esta caso, en las secciones en donde se tengan fusibles ( ramales ), todas las fallas por pequeñas que sean, serán permanentes, entonces, las 10 fallas transitorias que se tiene al año, se convierten en permanentes, teniendo ahora un total de 14 fallas permanentes por año, por lo que la tasa de falla será:

$$\lambda_{fus} = 0.441 + 0.176$$

$$\lambda_{fus} = 0.617 \text{ _ fallas / km - año}$$

Entonces, esta tasa de falla (  $\lambda_{fus}$  ) se usará solo en los ramales A, B, C, D y E, que es donde se tienen fusibles, mientras que en los troncales se seguirá usando la tasa de falla permanente (  $\lambda_{per}$  ), la cual tiene el valor de 0.176 fallas/km-año.

TABLA 1.

| MODO DE FALLA Y EFECTO |             |                 |                     |           |     |       |           |     |       |           |     |       |           |   |       |           |   |       |           |     |       |           |     |       |           |     |       |           |     |       |           |   |       |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|---|-------|-----------|---|-------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|-----------|---|-------|
| COMPONENTE EN FALLA    | LONGITUD KM | No. DE USUARIOS | $\lambda$ fallas/km | Ramal A   |     |       | Ramal B   |     |       | Ramal C   |     |       | Ramal D   |   |       | Ramal E   |   |       | Troncal 1 |     |       | Troncal 2 |     |       | Troncal 3 |     |       | Troncal 4 |     |       | Troncal 5 |   |       |
|                        |             |                 |                     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r | U     | $\lambda$ | r | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r   | U     | $\lambda$ | r | U     |
| Troncal 1              | 0.492       | 241             | 0.176               | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5 | 0.432 | 0.086     | 5 | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5   | 0.432 | 0.086     | 5 | 0.432 |
| Troncal 2              | 0.608       | 298             | 0.176               | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5 | 0.535 | 0.107     | 5 | 0.535 | 0.107     | 1   | 0.107 | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5   | 0.535 | 0.107     | 5 | 0.535 |
| Troncal 3              | 0.716       | 351             | 0.176               | 0.126     | 1   | 0.126 | 0.126     | 5   | 0.630 | 0.126     | 5   | 0.630 | 0.126     | 5 | 0.630 | 0.126     | 5 | 0.630 | 0.126     | 1   | 0.126 | 0.126     | 1   | 0.126 | 0.126     | 5   | 0.630 | 0.126     | 5   | 0.630 | 0.126     | 5 | 0.630 |
| Troncal 4              | 1.632       | 800             | 0.176               | 0.287     | 1   | 0.287 | 0.287     | 1   | 0.287 | 0.287     | 5   | 1.436 | 0.287     | 5 | 1.436 | 0.287     | 5 | 1.436 | 0.287     | 1   | 0.287 | 0.287     | 1   | 0.287 | 0.287     | 1   | 0.287 | 0.287     | 5   | 1.436 | 0.287     | 5 | 1.436 |
| Troncal 5              | 1.496       | 733             | 0.176               | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 5 | 1.316 | 0.263     | 5 | 1.316 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 1   | 0.263 | 0.263     | 5 | 1.316 |
| Ramal A                | 2.448       | 1199            | 0.617               | 1.510     | 5   | 7.552 | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 | 0     | 0         | 0 | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 |       |
| Ramal B                | 9.992       | 4896            | 0.617               | 0         | 0   | 0     | 6.165     | 5   | 30.82 | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 | 0     | 0         | 0 | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 |       |
| Ramal C                | 0.624       | 306             | 0.617               | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0.385     | 5   | 1.925 | 0         | 0 | 0     | 0         | 0 | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 |       |
| Ramal D                | 1.176       | 576             | 0.617               | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0.725     | 5 | 3.627 | 0         | 0 | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 |       |
| Ramal E                | 3.476       | 1703            | 0.617               | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 | 0     | 2.144     | 5 | 10.72 | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0   | 0     | 0         | 0 |       |
| TOTAL                  | 22.66       | 11103           |                     | 2.380     | 3.8 | 9.19  | 7.03      | 4.6 | 32.9  | 1.25      | 4.1 | 5.22  | 1.59      | 5 | 7.97  | 3.014     | 5 | 15.07 | 0.870     | 1.3 | 1.2   | 0.870     | 1.8 | 1.64  | 0.870     | 2.4 | 2.1   | 0.870     | 3.7 | 3.2   | 0.87      | 5 | 4.35  |

TABLA 2.

| RESUMEN DE RESULTADOS |         |         |          |          |          |          |         |         |          |         |
|-----------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|---------|
|                       | Ramal   |         |          |          |          | Troncal  |         |         |          |         |
| Parametro             | A       | B       | C        | D        | E        | 1        | 2       | 3       | 4        | 5       |
| $\lambda$ (f/año)     | 2.38056 | 2.38056 | 2.38056  | 2.38056  | 2.38056  | 2.38056  | 2.38056 | 2.38056 | 2.38056  | 2.38056 |
| r (h/año)             | 3.86321 | 4.68698 | 4.16091  | 5        | 5        | 1.39805  | 1.88996 | 2.46925 | 3.78964  | 5       |
| U (h/año)             | 9.1966  | 32.9739 | 5.222576 | 7.97868  | 15.07418 | 1.216512 | 1.6445  | 2.1486  | 3.297536 | 4.350   |
| A (h/año)             | 8750.80 | 8727.02 | 8754.77  | 8752.021 | 8744.925 | 8758.78  | 8758.35 | 8757.85 | 8756.70  | 8755.64 |

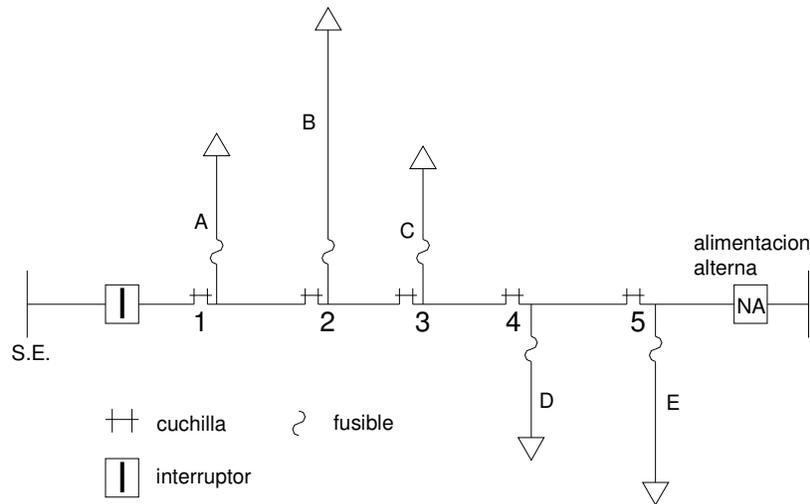
TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 45844.51488 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 4.129020524 | fallas/año         |
| CID                      | 211696.7816 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 19.06662898 | horas/año          |
| CAIDI                    | 4.61771233  | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.997823444 |                    |
| TIU                      | 1200        | min / año          |

### 5.3.4 Alimentador aéreo, alternativa 4.

#### Alternativa 4.

Para esta alternativa se plantea que se tenga el alimentador aéreo en análisis, con cuchillas en los troncales, fusibles en cada rama del este sistema de distribución y además una alimentación alterna.



Esta alternativa es parecida a la alternativa 3, sin embargo ahora se agrega una alimentación alterna y describiendo la alimentación alterna, se trata de un alimentador con la suficiente capacidad de suplir toda la carga del alimentador principal. Con el fin de que si ocurre una falla en los tramos troncales, dar el servicio a los usuarios que se encuentran al final del alimentador, que como se vio en las primeras alternativas, de no contar con la alimentación alterna quedarían sin servicio.

Esto ayudará a que el tiempo de reparación de fallas disminuya, esto por que se abrirán las cuchillas en el lugar de la falla seccionando al alimentador, pero ahora se tendrá la facilidad de alimentar a los demás usuarios con otra fuente de alimentación. Pero en caso de que ocurriera una falla en cualquier ramal de nada servirá la fuente alterna ya que el fusible se encarga de aislar este ramal y con una sola fuente de alimentación podríamos seguir dando servicio a todos los demás usuarios.

TABLA 1.

| MODO DE FALLA Y EFECTO |             |                 |             |         |     |       |         |     |       |         |     |       |         |      |       |         |      |       |           |      |       |           |       |       |           |       |       |           |       |       |           |        |        |   |        |
|------------------------|-------------|-----------------|-------------|---------|-----|-------|---------|-----|-------|---------|-----|-------|---------|------|-------|---------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|--------|--------|---|--------|
| COMPONENTE EN FALLA    | LONGITUD KM | No. DE USUARIOS | λ fallas/km | Ramal A |     |       | Ramal B |     |       | Ramal C |     |       | Ramal D |      |       | Ramal E |      |       | Troncal 1 |      |       | Troncal 2 |       |       | Troncal 3 |       |       | Troncal 4 |       |       | Troncal 5 |        |        |   |        |
|                        |             |                 |             | λ       | r   | U     | λ       | r   | U     | λ       | r   | U     | λ       | r    | U     | λ       | r    | U     | λ         | r    | U     | λ         | r     | U     | λ         | r     | U     | λ         | r     | U     | λ         | r      | U      |   |        |
| Troncal 1              | 0.492       | 241             | 0.176       | 0.086   | 1   | 0.086 | 0.086   | 1   | 0.086 | 0.086   | 1   | 0.086 | 0.0865  | 1    | 0.086 | 0.086   | 1    | 0.086 | 0.086     | 5    | 0.43  | 0.086     | 1     | 0.086 | 0.086     | 1     | 0.086 | 0.086     | 1     | 0.086 | 0.086     | 1      | 0.086  |   |        |
| Troncal 2              | 0.608       | 298             | 0.176       | 0.107   | 5   | 0.53  | 0.107   | 1   | 0.107 | 0.107   | 1   | 0.107 | 0.107   | 1    | 0.107 | 0.107   | 1    | 0.107 | 0.107     | 1    | 0.107 | 5         | 0.53  | 0.107 | 1         | 0.107 | 0.107 | 1         | 0.107 | 0.107 | 1         | 0.107  | 0.107  | 1 | 0.1070 |
| Troncal 3              | 0.716       | 351             | 0.176       | 0.126   | 1   | 0.126 | 0.126   | 5   | 0.63  | 0.126   | 1   | 0.126 | 0.126   | 1    | 0.126 | 0.126   | 1    | 0.126 | 0.126     | 1    | 0.126 | 1         | 0.126 | 0.126 | 5         | 0.63  | 0.126 | 1         | 0.126 | 0.126 | 1         | 0.1260 |        |   |        |
| Troncal 4              | 1.632       | 800             | 0.176       | 0.287   | 1   | 0.287 | 0.287   | 1   | 0.287 | 0.287   | 5   | 1.43  | 0.287   | 1    | 0.287 | 0.287   | 1    | 0.287 | 0.287     | 1    | 0.287 | 1         | 0.287 | 0.287 | 1         | 0.287 | 0.287 | 1         | 0.287 | 0.287 | 5         | 1.436  | 0.287  | 1 | 0.2872 |
| Troncal 5              | 1.496       | 733             | 0.176       | 0.263   | 1   | 0.263 | 0.263   | 1   | 0.263 | 0.263   | 1   | 0.263 | 0.263   | 5    | 1.31  | 0.263   | 1    | 0.263 | 0.263     | 1    | 0.263 | 0.26      | 1     | 0.263 | 0.263     | 1     | 0.263 | 0.263     | 1     | 0.263 | 0.263     | 5      | 1.3164 |   |        |
| Ramal A                | 2.448       | 1199            | 0.617       | 1.510   | 5   | 7.55  | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0       | 0    | 0     | 0       | 0    | 0     | 0         | 0    | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0      | 0      |   |        |
| Ramal B                | 9.992       | 4896            | 0.617       | 0       | 0   | 0     | 6.165   | 5   | 30.82 | 0       | 0   | 0     | 0       | 0    | 0     | 0       | 0    | 0     | 0         | 0    | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0      | 0      |   |        |
| Ramal C                | 0.624       | 306             | 0.617       | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0.385   | 5   | 1.92  | 0       | 0    | 0     | 0       | 0    | 0     | 0         | 0    | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0      | 0      |   |        |
| Ramal D                | 1.176       | 576             | 0.617       | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0.725   | 5    | 3.62  | 0       | 0    | 0     | 0         | 0    | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0      | 0      |   |        |
| Ramal E                | 3.476       | 1703            | 0.617       | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0       | 0   | 0     | 0       | 0    | 0     | 2.14    | 5    | 10.72 | 0         | 0    | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0     | 0     | 0         | 0      | 0      |   |        |
| TOTAL                  | 22.66       | 11103           |             | 2.3     | 3.7 | 8.85  | 7.0     | 4.5 | 32.19 | 1.2     | 3.1 | 3.94  | 1.5     | 3.47 | 5.55  | 3.01    | 3.84 | 11.59 | 0.87      | 1.39 | 1.21  | 0.87      | 1.49  | 1.29  | 0.87      | 1.57  | 1.37  | 0.87      | 2.32  | 2.01  | 0.87      | 2.2    | 1.92   |   |        |

TABLA 2.

| RESUMEN DE RESULTADOS |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Parametro             | Ramal     |           |           |           |           | Troncal   |           |           |           |           |
|                       | A         | B         | C         | D         | E         | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
| $\lambda$ (f/año)     | 2.38056   | 7.035208  | 1.255152  | 1.595736  | 3.014836  | 0.870144  | 0.870144  | 0.870144  | 0.870144  | 0.870144  |
| r (h/año)             | 3.71772   | 4.5769120 | 3.1423381 | 3.4788260 | 3.8455173 | 1.3980582 | 1.4919093 | 1.5792880 | 2.320388  | 2.2103559 |
| U (h/año)             | 8.850256  | 32.199528 | 3.944112  | 5.551288  | 11.593604 | 1.216512  | 1.298176  | 1.374208  | 2.019072  | 1.923328  |
| A (h/año)             | 8751.1497 | 8727.8004 | 8756.0558 | 8754.4487 | 8748.4063 | 8758.7834 | 8758.7018 | 8758.6257 | 8757.9809 | 8758.0766 |

TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 45844.51488 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 4.129020524 | fallas/año         |
| CID                      | 196596.1337 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 17.70657783 | horas/año          |
| CAIDI                    | 4.288324006 | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.997978701 | min / año          |
| TIU                      | 1062        |                    |

### 5.3.5 Alimentador aéreo, alternativa 5.

#### Alternativa 5.

Acorde a las posibilidades de este sistema de distribución se sigue en la búsqueda de optimizar su funcionamiento, es por esta razón que ahora el alimentador en configuración radial con cuchillas sin los fusibles y de igual forma con el alimentador alterno. La razón para utilizar esta configuración es para quitar los fusibles los cuales causan que aumente los tiempos de reparación debido a que nos convierten una falla transitoria en permanente. Y al realizar esta acción se reduce el tiempo de reparación por que se puede seccionar el alimentador y darle servicio a la otra parte de este con el otro alimentador alterno. Es así, que se llegan a las tablas en donde se observa que casi todos los tiempos de reparación son de una hora, que es el tiempo que tardan en abrir el equipo de seccionamiento. Es decir, si ocurre una falla en cualquier troncal solo quedará fuera este y el ramal que le corresponde a ese troncal y si se da el caso de que la falla se presente en algún ramal este se quedará sin suministro de energía eléctrica así como su troncal correspondiente con excepción del troncal 1 y el ramal E que sólo afectan a sus propios usuarios debido a que estos se encuentran situados inmediatamente después de las fuentes de alimentación y además existe una cuchilla después de estos, logrando de esta forma aislarlos del resto del alimentador. Finalmente, si se logra reducir los tiempo de reparación de las fallas ocurridas tanto en los troncales como en los ramales reducimos la no disponibilidad y aumentamos por lo tanto la confiabilidad, que es el objetivo que se persigue en el planteamiento de esta tesis.

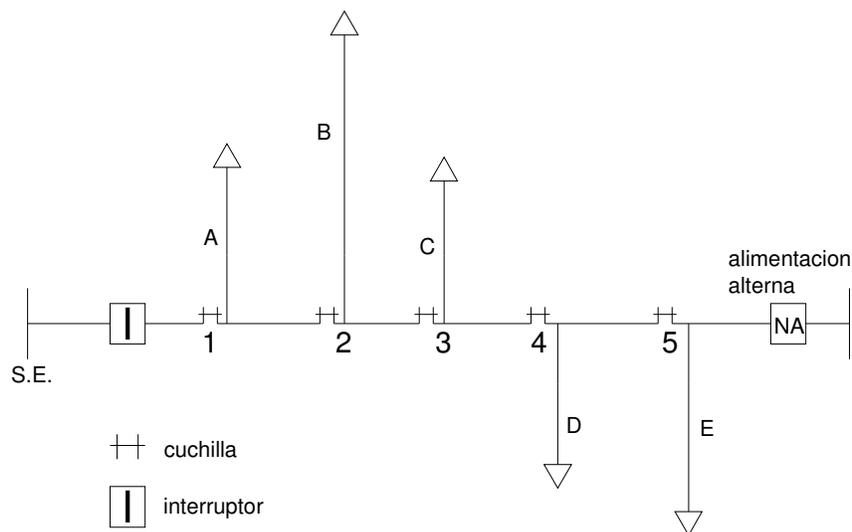


TABLA 1.

| MODO DE FALLA Y EFECTO |             |                 |                     |           |     |      |           |     |      |           |     |      |           |     |      |           |     |      |           |     |      |           |      |      |           |      |      |           |      |      |           |      |      |      |      |       |
|------------------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|------|------|-------|
| COMPONENTE EN FALLA    | LONGITUD KM | No. DE USUARIOS | $\lambda$ fallas/km | Ramal A   |     |      | Ramal B   |     |      | Ramal C   |     |      | Ramal D   |     |      | Ramal E   |     |      | Troncal 1 |     |      | Troncal 2 |      |      | Troncal 3 |      |      | Troncal 4 |      |      | Troncal 5 |      |      |      |      |       |
|                        |             |                 |                     | $\lambda$ | r   | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    | $\lambda$ | r    | U    |      |      |       |
| Troncal 1              | 0.492       | 241             | 0.176               | 0.08      | 1   | 0.08 | 0.08      | 1   | 0.08 | 0.08      | 1   | 0.08 | 0.08      | 1   | 0.08 | 0.08      | 1   | 0.08 | 0.08      | 5   | 0.43 | 0.08      | 1    | 0.08 | 0.08      | 1    | 0.08 | 0.08      | 1    | 0.08 | 0.08      | 1    | 0.08 | 0.08 | 1    | 0.08  |
| Troncal 2              | 0.608       | 298             | 0.176               | 0.10      | 5   | 0.53 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 5         | 0.53 | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 1    | 0.10 | 0.10  |
| Troncal 3              | 0.716       | 351             | 0.176               | 0.12      | 1   | 0.12 | 0.12      | 5   | 0.63 | 0.12      | 1   | 0.12 | 0.12      | 1   | 0.12 | 0.12      | 1   | 0.12 | 0.12      | 1   | 0.12 | 1         | 0.12 | 0.12 | 5         | 0.63 | 0.12 | 1         | 0.12 | 0.12 | 1         | 0.12 | 0.12 | 1    | 0.12 | 0.12  |
| Troncal 4              | 1.632       | 800             | 0.176               | 0.28      | 1   | 0.28 | 0.28      | 1   | 0.28 | 0.28      | 5   | 1.43 | 0.28      | 1   | 0.28 | 0.28      | 1   | 0.28 | 0.28      | 1   | 0.28 | 0.28      | 1    | 0.28 | 0.28      | 1    | 0.28 | 0.28      | 5    | 1.43 | 0.28      | 1    | 0.28 | 0.28 | 1    | 0.28  |
| Troncal 5              | 1.496       | 733             | 0.176               | 0.26      | 1   | 0.26 | 0.26      | 1   | 0.26 | 0.26      | 1   | 0.26 | 0.26      | 5   | 1.31 | 0.26      | 1   | 0.26 | 0.26      | 1   | 0.26 | 0.26      | 1    | 0.26 | 0.26      | 1    | 0.26 | 0.26      | 1    | 0.26 | 0.26      | 1    | 0.26 | 0.26 | 5    | 1.316 |
| Ramal A                | 2.448       | 1199            | 0.176               | 0.43      | 5   | 2.15 | 0.43      | 1   | 0.43 | 0.43      | 1   | 0.43 | 0.43      | 1   | 0.43 | 0.43      | 1   | 0.43 | 0.43      | 1   | 0.43 | 5         | 2.15 | 0.43 | 1         | 0.43 | 0.43 | 1         | 0.43 | 0.43 | 1         | 0.43 | 0.43 | 1    | 0.43 | 0.43  |
| Ramal B                | 9.992       | 4896            | 0.176               | 1.75      | 1   | 1.75 | 1.75      | 5   | 8.79 | 1.75      | 1   | 1.75 | 1.75      | 1   | 1.75 | 1.75      | 1   | 1.75 | 1.75      | 1   | 1.75 | 1         | 1.75 | 1.75 | 5         | 8.79 | 1.75 | 1         | 1.75 | 1.75 | 1         | 1.75 | 1.75 | 1    | 1.75 |       |
| Ramal C                | 0.624       | 306             | 0.176               | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 5   | 0.54 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 0.10      | 1   | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 1         | 0.10 | 0.10 | 5         | 0.54 | 0.10 | 1    | 0.10 |       |
| Ramal D                | 1.176       | 576             | 0.176               | 0.20      | 1   | 0.20 | 0.20      | 1   | 0.20 | 0.20      | 1   | 0.20 | 0.20      | 5   | 1.03 | 0.20      | 1   | 0.20 | 0.20      | 1   | 0.20 | 1         | 0.20 | 0.20 | 1         | 0.20 | 0.20 | 1         | 0.20 | 0.20 | 1         | 0.20 | 0.20 | 5    | 1.03 |       |
| Ramal E                | 3.476       | 1703            | 0.176               | 0.61      | 1   | 0.61 | 0.61      | 1   | 0.61 | 0.61      | 1   | 0.61 | 0.61      | 1   | 0.61 | 0.61      | 5   | 3.05 | 0.61      | 1   | 0.61 | 0.61      | 1    | 0.61 | 0.61      | 1    | 0.61 | 0.61      | 1    | 0.61 | 0.61      | 1    | 0.61 | 0.61 | 1    | 0.61  |
| TOTAL                  | 22.66       | 11103           |                     | 3.98      | 1.5 | 6.13 | 3.98      | 2.8 | 11.5 | 3.98      | 1.3 | 5.5  | 3.98      | 1.4 | 5.8  | 3.98      | 1.6 | 6.4  | 3.98      | 1.0 | 4.3  | 3.98      | 1.5  | 6.1  | 3.98      | 2.8  | 11.5 | 3.9       | 1.3  | 5.5  | 3.9       | 1.4  | 5.86 |      |      |       |

TABLA 2.

| RESUMEN DE RESULTADOS |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Parametro             | Ramal    |          |          |          |          | Troncal  |          |          |          |          |
|                       | A        | B        | C        | D        | E        | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
| $\lambda$ (f/año)     | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   | 3.9881   |
| r (h/año)             | 1.539452 | 2.890203 | 1.398234 | 1.471668 | 1.613592 | 1.086849 | 1.53945  | 2.890203 | 1.398234 | 1.471668 |
| U (h/año)             | 6.13958  | 11.5265  | 5.57638  | 5.86924  | 6.43526  | 4.33452  | 6.13958  | 11.52659 | 5.57638  | 5.86924  |
| A (h/año)             | 8753.860 | 8748.473 | 8754.423 | 8754.130 | 8753.564 | 8755.665 | 8753.860 | 8748.473 | 8754.423 | 8754.130 |

TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 44280.54048 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 3.98816     | fallas/año         |
| CID                      | 95525.18765 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 8.603547478 | horas/año          |
| CAIDI                    | 2.157272396 | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.99901786  |                    |
| TIU                      | 516         | min / año          |

### 5.3.6 Alimentador aéreo, alternativa 6.

Alternativa 6.

Para esta alternativa se considera un alimentador que esta en forma radial con restaurador en alguna parte del trocal, colocado en una ubicación estratégica y además seccionadores en cada ramal de este sistema de distribución. Siendo la mejor posición para el restaurador a la mitad del alimentador debido a que podría restaurar a la mitad de los usuarios totales que tiene este alimentador, es decir, la mitad de la carga total y esto se verifica al revisar los datos del alimentador, en donde se puede observar que la mayor parte de usuarios se encuentran en los ramales A y B, representando algo más del 54 % del total de ellos.

Cabe la aclaración, de que un análisis de confiabilidad se enfoca a la búsqueda de la mejora y el aumento de mejor desempeño del alimentador y esto, a través de equipos de protección y seccionamiento, ya que para colocarlos adecuadamente se debe de realizar un estudio bastante minucioso, para saber si es posible ubicarlos en la forma que aquí se sugiere y además habría que hacer una coordinación de protecciones para el alimentador.

Suponiendo que ocurre una falla en los primeros troncales ubicados antes del restaurador, todo el alimentador quedaría sin servicio, pero si la falla se presentará en el resto de los troncales, debido a la ubicación del restaurador, tanto los troncales como los ramales antes de éste, no sufrirían ninguna interrupción, debido a que el seccionamiento se realiza de manera automática, evitando de esta forma el tiempo de seccionamiento manual que es de 1 hora, pero tanto en los troncales como en los ramales que se encuentran después del restaurador si sufrirían la interrupción que duraría lo que se tardaran en reparar la misma, que en este caso es de 5 horas.

Pero podría surgir otro caso, en el cual de surgir una falla en cualquiera de los ramales, solo se verán afectados los ramales en los cuales sucede la falla, pero al resto de los ramales y los troncales no presentarían ninguna interrupción debido a que los ramales cuentan con seccionadores, los cuales seccionan el ramal de manera automática.

No se debe dejar de lado, que los tiempos de reparación en todos los casos son de 5 horas, que es el tiempo que se tardarían en reparar esa falla. Aquí no se cuenta con tiempos de 1 hora, ya que como mencionamos anteriormente el seccionamiento es automático, tanto por el restaurador como por los seccionadores, y este solo se toma unos cuantos segundos que no son tomados en cuenta para el estudio. Es decir, se deben eliminar los tiempos de seccionamiento manuales, con los que podemos aumentar la confiabilidad y disminuir la no disponibilidad del alimentador dentro de nuestro sistema de distribución.

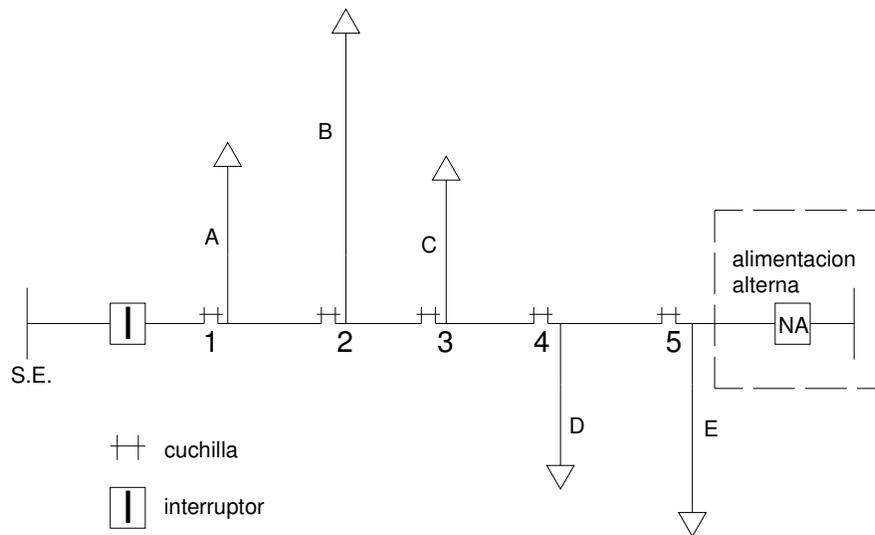


TABLA 1.

| COMPONENTE EN FALLA | LONGITUD KM | No. DE USUARIOS | $\lambda$ fallas/km | MODO DE FALLA Y EFECTO |   |     |           |   |     |           |   |     |           |   |     |           |   |     |           |   |     |           |   |     |           |   |      |           |   |      |           |   |      |
|---------------------|-------------|-----------------|---------------------|------------------------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|-----|-----------|---|------|-----------|---|------|-----------|---|------|
|                     |             |                 |                     | Ramal A                |   |     | Ramal B   |   |     | Ramal C   |   |     | Ramal D   |   |     | Ramal E   |   |     | Troncal 1 |   |     | Troncal 2 |   |     | Troncal 3 |   |      | Troncal 4 |   |      | Troncal 5 |   |      |
|                     |             |                 |                     | $\lambda$              | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U   | $\lambda$ | r | U    | $\lambda$ | r | U    | $\lambda$ | r | U    |
| Troncal 1           | 0.492       | 241             | 0.176               | 0.08                   | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.4 | 0.08      | 5 | 0.43 | 0.08      | 5 | 0.43 |           |   |      |
| Troncal 2           | 0.608       | 298             | 0.176               | 0.10                   | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.5 | 0.10      | 5 | 0.53 | 0.10      | 5 | 0.53 |           |   |      |
| Troncal 3           | 0.716       | 351             | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.12      | 5 | 0.6 | 0.12      | 5 | 0.6 | 0.12      | 5 | 0.6 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.12      | 5 | 0.6  | 0.12      | 5 | 0.63 | 0.12      | 5 | 0.63 |
| Troncal 4           | 1.632       | 800             | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.87      | 5 | 1.4 | 0.28      | 5 | 1.4 | 0.28      | 5 | 1.4 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.28      | 5 | 1.4  | 0.28      | 5 | 1.43 | 0.28      | 5 | 1.43 |
| Troncal 5           | 1.496       | 733             | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.26      | 5 | 1.3 | 0.26      | 5 | 1.3 | 0.26      | 5 | 1.3 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.26      | 5 | 1.3  | 0.26      | 5 | 1.31 | 0.26      | 5 | 1.3  |
| Ramal A             | 2.448       | 1199            | 0.176               | 0.43                   | 5 | 2.1 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 |      |
| Ramal B             | 9.992       | 4896            | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 1.75      | 5 | 8.7 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 |      |
| Ramal C             | 0.624       | 306             | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.10      | 5 | 0.5 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 |      |
| Ramal D             | 1.176       | 576             | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.20      | 5 | 1.0 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 |      |
| Ramal E             | 3.476       | 1703            | 0.176               | 0                      | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0.61      | 5 | 3.0 | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0   | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 | 0    | 0         | 0 |      |
| TOTAL               | 22.66       | 11103           |                     | 0.62                   | 5 | 3.1 | 1.95      | 5 | 9.7 | 0.97      | 5 | 4.8 | 1.07      | 5 | 5.3 | 1.48      | 5 | 7.4 | 0.19      | 5 | 0.9 | 0.19      | 5 | 0.9 | 0.87      | 5 | 4.3  | 0.87      | 5 | 4.35 | 0.87      | 5 | 4.35 |

TABLA 2.

| RESUMEN DE RESULTADOS |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Parametro             | Ramal   |         |         |         |         | Troncal |         |         |         |         |
|                       | A       | B       | C       | D       | E       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
| $\lambda$ (f/año)     | 0.624   | 1.952   | 0.979   | 1.077   | 1.481   | 0.1936  | 0.1936  | 0.8701  | 0.8701  | 0.8701  |
| r (h/año)             | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       |
| U (h/año)             | 3.122   | 9.7609  | 4.8998  | 5.385   | 7.409   | 0.968   | 0.968   | 4.3507  | 4.3507  | 4.3507  |
| A (h/año)             | 8756.87 | 8750.23 | 8755.10 | 8754.61 | 8752.59 | 8759.03 | 8759.03 | 8755.64 | 8755.64 | 8755.64 |

TABLA 3.

| INDICES DE CONFIABILIDAD |             |                    |
|--------------------------|-------------|--------------------|
| INDICE                   | RESULTADO   | UNIDADES           |
| ACI                      | 15494.34797 | Usuarios-falla/año |
| SAIFI                    | 1.395510039 | fallas/año         |
| CID                      | 77471.73984 | horas-usuario/año  |
| SAIDI                    | 6.977550197 | horas/año          |
| CAIDI                    | 5           | horas/falla        |
| ASAI                     | 0.999203476 |                    |
| TIU                      | 414         | min / año          |

Con las alternativas que se presentaron anteriormente se llega a resultados concretos y que dan un panorama de cómo está el análisis de confiabilidad de este sistema de distribución. Para que los resultados sean más claros, compactos y entendibles, estos se presentan en una tabla con los resultados de cada alternativa.

Como resumen y recordatorio se enlista a continuación las alternativas que se analizaron para este sistema de distribución:

- \* alimentador radial (alternativa 1).
- \* Alimentador radial con cuchillas en los troncales (alternativa 2).
- \* Alimentador radial con cuchillas en los troncales y fusibles en los ramales (alternativa 3).
- \* Alimentador radial con cuchillas en los troncales, fusibles en los ramales y alimentador alterno (alternativa 4).
- \* Alimentador radial con cuchillas en los troncales y alimentador alterno (alternativa 5).
- \* Alimentador radial con restaurador en el troncal y seccionadores en los ramales (alternativa 6).

| INDICE | ALTERNATIVA |            |            |            |           |           | UNIDADES           |
|--------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|--------------------|
|        | 1           | 2          | 3          | 4          | 5         | 6         |                    |
| ACI    | 44,280.54   | 44,280.54  | 45,844.51  | 45,844.51  | 44,280.54 | 15494.35  | USUARIOS-FALLA/AÑO |
| SAIFI  | 3.99        | 3.99       | 4.13       | 4.13       | 3.99      | 1.4       | FALLAS/AÑO         |
| CID    | 221,402.7   | 158,466.01 | 211,696.78 | 196,596.13 | 95,525.19 | 77,471.74 | HORAS-USUARIO/AÑO  |
| SAIDI  | 19.94       | 14.27      | 19.07      | 17.71      | 8.6       | 6.98      | HORAS/AÑO          |
| CAIDI  | 5           | 3.58       | 4.62       | 4.29       | 2.16      | 5         | HORAS/FALLA        |
| ASAI   | 0.9977      | 0.9983     | 0.9978     | 0.9979     | 0.999     | 0.9992    |                    |
| TIU    | 1200        | 855        | 1200       | 1062       | 516       | 414       | MIN / AÑO          |

Acorde con las alternativas presentadas para el análisis de la confiabilidad del sistema de distribución, se tiene una tabla de resultados. Además el estudio de confiabilidad arroja conclusiones importantes.

Al hacer este análisis se busca tener todas las consideraciones y alternativas para configurar un sistema de distribución que sea confiable y con servicio continuo. Es decir, que el estudio determina con cual alternativa podemos reducir el tiempo de interrupción a los usuarios, conocido como índice de confiabilidad TIU, asimismo tomamos otro índice, llamado SAIDI que nos da el promedio de la duración de interrupciones al año que se presentan en el sistema de distribución.

Con la tabla que se expone anteriormente se observa que las mejores alternativas que ofrece un análisis de confiabilidad, son las alternativas 5, 6, debido a que presentan los menores tiempos de interrupción. Y de igual forma, del para un análisis de confiabilidad, las alternativas con mayores tiempos de interrupción son la 1, 3. Y si bien es cierto que algunos resultados parecen obvios en un estudio de este tipo, se tienen que analizar todas las alternativas. Ya que la alternativa 1 por ejemplo, no cuenta con ningún equipo de seccionamiento y se afectaría de manera total el servicio continuo al presentarse una falla.

Y para la alternativa 3, que tiene fusibles y que resultan no efectivos, ya que una falla transitoria se convierte en una falla permanente, y esto recae directamente en el tiempo de reparación de la falla. Así que representa un costo mayor si lo comparamos con la alternativa 2, que solo cuenta con cuchillas desconectadoras. Así que la confiabilidad se obtiene con equipos que son más efectivos acorde a la configuración del sistema de distribución y no siempre por tener más equipo se hace más confiable el sistema de distribución.

Finalmente, la mejor opción es la alternativa 6, con el menor tiempo de interrupción y esto gracias a las características propias de los equipos de seccionamiento instalados y así se mejora el servicio continuo del sistema de distribución.

## 5.4 Análisis económico de las alternativas para el sistema de distribución.

La práctica de la ingeniería comprende muchas elecciones entre diseños, procedimientos, planes y métodos alternativos. Ya que los diferentes cursos de acción alternativos, comprenden diferentes cantidades o montos de inversión, y diferentes ingresos y costos de operación.

Solo hay que comprobar si esto es rentable. Así que la forma de juzgar si determinado procedimiento propuesto, resultará económico a la larga, en comparación con otras alternativas posibles, no debe estar basado, en conocimientos empíricos, sin ninguna base, sino que requiere un estudio económico.

Un estudio económico de acuerdo a los libros de ingeniería económica, puede ser definido como una comparación entre opciones, en las cuales, la diferencia entre dichas alternativas se presenta en términos monetarios. Si entran consideraciones técnicas, la comparación puede llamarse estudio de ingeniería económica.

Las decisiones se toman con relación a alternativas, por lo que es deseable que estas sean definidas con claridad y que se tomen muy en cuenta las desventajas y ventajas de todas ellas.

Suele suceder que un estudio cuidadoso se demuestra que una alternativa que primero fue rechazada arbitrariamente, proporciona la solución más económica a un problema dado.

Por lo general se requieren dos etapas antes de que las diferencias manifestadas con palabras, puedan ser cotejables unas con otras. Primero, las diferencias deben ser expresadas en sus unidades físicas apropiadas. Después, las unidades físicas deben convertirse en cifras que tienen relación con las unidades de dinero.

Por ejemplo, los cables y los conductores para instalaciones eléctricas tienen varias medidas y diámetros; las luminarias, sistemas de puesta a tierra y parrarayos para las cuales existen de distintos tipos y tamaños; las horas hombre que se invierten en la instalación y mantenimiento; y los

kilowatts-hora de energía eléctrica, no son cotejables entre sí hasta que se convierten a una unidad común, es decir, en lo que financiara nuestros proyectos, el dinero.

Pero no basta con estimar las cantidades de ingreso y egreso de dinero, que dependen de una decisión; también es necesario estimar los tiempos de los flujos de efectivo. Debido a que el dinero tiene un valor en el tiempo, una unidad monetaria ( por ejemplo, dólar, euro, yen), en una fecha tal, no es directamente comparable con la misma unidad monetaria en otra fecha.

La mayoría de los problemas de economía, comprenden la determinación de lo que es económico a largo plazo, es decir, sobre un periodo considerable de tiempo. En dichos problemas, es preciso reconocer el valor del dinero en el tiempo; debido a la existencia de intereses, una unidad monetaria vale más ahora que la posibilidad de recibirla al cabo de un año o más.

#### **5.4.1 Desarrollo del análisis económico.**

Para el desarrollo, se considera el estudio de confiabilidad presentado anteriormente con sus 6 alternativas, con el fin de mejorar la confiabilidad de dicho alimentador y acorde con los resultados que están representados en las tablas, se logra separar y entender cuales son las mejores opciones para nuestro sistema de distribución, acorde a los criterios que tiene la confiabilidad.

Para cada caso propuesto, se realiza un análisis económico para ver la inversión económica que hay que hacer para cada alternativa, tanto inicial como a largo plazo.

#### **5.4.2 Costo inicial.**

Para realizar este estudio, es necesario tener los precios de cada uno de los equipos con que cuentan las alternativas, como lo son : cuchillas, fusibles, restauradores, seccionadores, interruptores y alimentador alterno, sin olvidar la línea de 23 kV.

Por lo tanto, se presenta una tabla con la información de los costos de inversión inicial acorde a información consultada a Luz y Fuerza del Centro en su catalogo de precios unitarios para media y baja tensión y esto aplicado a cada una de las alternativas presentadas, las cuales depende del

equipo con el que se cuentan. La tabla tiene la siguiente información: descripción , equipos de protección y seccionamiento y el alimentador alterno. Además también se complementa esta información con la cantidad y costo unitario en pesos de cada equipo, enseguida se tiene las cantidades de dinero por separado que se invierten en cada alternativa, las cuales son posteriormente sumadas para obtener la inversión inicial en millones de pesos de cada caso propuesto.

Debe destacarse que estos costos incluyen, equipo, material y trabajos de instalación.

| equipo eléctrico | costo por equipo | cantidad | Alternativas<br>(millones de pesos) |       |       |        |        |       |
|------------------|------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|
|                  |                  |          | 1                                   | 2     | 3     | 4      | 5      | 6     |
| línea de 23 kV   | 150, 000/ km     | 22.66 km | 3.399                               | 3.399 | 3.399 | 3.399  | 3.399  | 3.399 |
| interruptor      | 487,466          | 1        | 0.487                               | 0.487 | 0.487 | 0.487  | 0.487  | 0.487 |
| cuchillas        | 6,609            | 5        |                                     | 0.033 | 0.033 | 0.033  | 0.033  |       |
| fusible          | 1,563            | 5        |                                     |       | 0.007 | 0.007  |        |       |
| alim. Alterno    | 12,981,816       | 1        |                                     |       |       | 12.981 | 12.981 |       |
| restaurador      | 243,733          | 1        |                                     |       |       |        |        | 0.244 |
| seccionador      | 94,815           | 5        |                                     |       |       |        |        | 0.474 |
| Resultados       |                  |          | 3.886                               | 3.919 | 3.926 | 16.907 | 16.9   | 4.604 |

El costo del alimentador alterno se obtuvo de la siguiente manera, considerando que debe tener la capacidad para alimentar toda la carga del alimentador.

$$\text{Potencia} = 1240 \text{ \$/km} \rightarrow S = \sqrt{3} * V_{\text{línea}} * I * F.P.$$

$$S = \sqrt{3} * 23 \text{ kv} * 292 \text{ A} * 0.9 \rightarrow 10469.207 \text{ kW}$$

$$\text{\$ Alim. Alt.} = 1240 * 10469.207$$

$$\text{\$ Alim. Alt.} = \$12,981.816$$

De los resultados de la tabla anterior, se observa que la alternativa 1 es aparentemente la más económica desde el punto de vista de costo inicial, sin embargo, considerando los tiempos de interrupción de cada una de ellas (SAIDI), es necesario hacer una evaluación de costo de interrupciones que en conclusión son resultados de un sistema no confiable.

### 5.4.3 Costos por duración.

Acorde a información consultada a Luz y Fuerza del Centro, el costo de la energía de 0.5 \$/ kW-hr y una repercusión económica a los usuarios por no suministrar la energía de 20 veces el costo de ésta y el resultado es 10 \$/kW-hr.

En la siguiente tabla se observa que se tiene los tiempos de interrupción de cada una de las alternativas (SAIDI).

| ALTERNATIVA | TIU (SAIDI) |           |
|-------------|-------------|-----------|
|             | MINUTOS/AÑO | HORAS/AÑO |
| 1           | 1196.45     | 19.94     |
| 2           | 856.34      | 14.27     |
| 3           | 1144        | 19.07     |
| 4           | 1062.39     | 17.71     |
| 5           | 516.21      | 8.6       |
| 6           | 418.65      | 6.98      |

Con estos datos es posible obtener el costo que se da al no tener una buena confiabilidad en nuestro sistema de distribución, en cada una de las alternativas propuestas para un tiempo de duración de un año. Además de que en esta tesis se hará posteriormente para un periodo de 10 años.

Para la alternativa 1 se tiene lo siguiente:

$(10469\text{kW}) (19.94 \text{ h}) = 208751.8 \text{ kW-h} \times 10$  (valor de pérdida económica)

Resultado = 2, 087, 518 \$/año.

Para la alternativa 2 se tiene lo siguiente:

$(10469 \text{ kW}) (14.27\text{h}) = 147392.6 \text{ kW-h} \times 10$  (valor de pérdida económica)

Resultado = 1, 493, 926 \$/año

Para la alternativa 3 se tiene lo siguiente:

$(10469 \text{ kW}) (19.07\text{h}) = 199643.8 \text{ kW-h} \times 10$  (valor de pérdida económica)

Resultado = 1, 996, 438 \$/año

Para la alternativa 4 se tiene lo siguiente:

$(10469\text{kW}) (17.71\text{h}) = 185405.9 \text{ kw-h} \times 10$  (valor de pérdida económica)

Resultado = 1, 854, 089 \$/año

Para la alternativa se tiene lo siguiente:

$$(10469 \text{ kW}) (8.60 \text{ h}) = 90033.4 \text{ kW-h} \times 10 \text{ (valor de pérdida económica)}$$

$$\text{Resultado} = 900,334 \text{ \$/año}$$

Para la alternativa 6 se tiene lo siguiente:

$$(10469 \text{ kW}) (6.98\text{h}) = 73073.6 \text{ kW-h} \times 10 \text{ (valor de pérdida económica)}$$

$$\text{Resultado} = 730.736 \text{ \$/año}$$

Es así, que al obtener estos resultados se observa que los costos que repercuten en el sistema de distribución son variados al no tener la suficiente confiabilidad y esto cambia acorde a la alternativa que se seleccione. Sin olvidar que estos resultados son aplicables con un tiempo de duración de un año.

| alternativa | millones de pesos |
|-------------|-------------------|
| 1           | 2.087             |
| 2           | 1.493             |
| 3           | 1.996             |
| 4           | 1.854             |
| 5           | 0.9               |
| 6           | 0.73              |

Por otro lado, es posible hacer este análisis para distintos periodos de tiempo así que a continuación se presenta para una duración de 10 años. Y es que para saber el verdadero costo de cada una de las alternativas, es necesario realizar este estudio para un periodo de tiempo mayor, que en este

caso será de 10 años, con el fin de poder visualizar de una mejor manera las pérdidas económicas que nos ocasionarán cada una de estas alternativas. Es así que es necesario traer a valor presente el costo de no tener confiabilidad en el sistema que se obtendrá en el periodo de 10 años. ( tiempo establecido para un análisis de confiabilidad ), considerando una tasa de interés del 12%.

Para este fin, se utiliza una ecuación que nos dará el valor presente (P) de una serie anual uniforme equivalente (A), que comienza al final del año 1 y se extiende durante (n) años a una tasa de interes (i). La expresión acotada por los corchetes se llama factor valor presente serie uniforme (FVPSU).

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Donde:

P: Valor o suma de dinero en el presente [\$]

A: Serie consecutiva de flujos exactamente iguales al final de cada período [\$/tiempo]

n: Número de períodos [tiempo]

i: Tasa de interés [%/tiempo]

La ecuación, puede expresarse en notación estándar, la cual es una representación práctica para manejar de manera más fácil dicha ecuación. Esta notación incluye también la tasa de interés y el número de períodos y se expresa en la forma general siguiente:

$$X = Y(X/Y, i\%, n)$$

X representa la variable que se quiere calcular, Y representa la variable que se conoce a una tasa de interés i y n es el número de períodos a considerar.

Aplicando lo anterior a la ecuación, obtendríamos la siguiente ecuación equivalente escrita en notación estándar:

$$P = A(P/A, i\%, n)$$

Ahora bien, para el manejo de información se hace uso de una herramienta muy útil para la ingeniería, se hace uso de los flujos de efectivo (ingresos o egresos) que ocurren cada lapso o

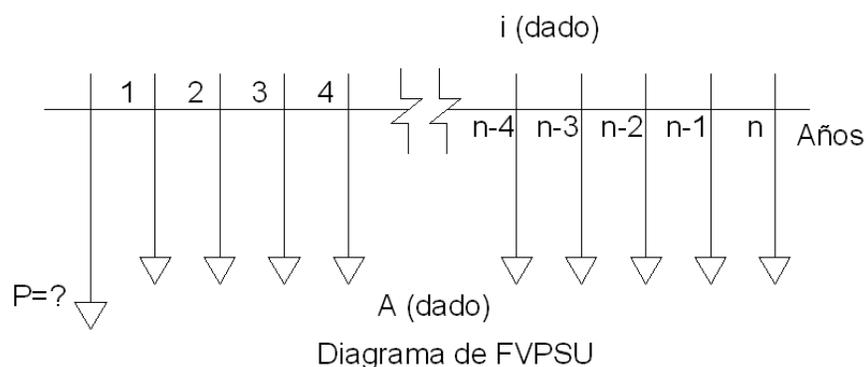
tiempo dado se pueden representar gráficamente en una escala de tiempo. Un flujo de caja normalmente toma lugar en diferentes intervalos de tiempo dentro de un período de interés, un supuesto para simplificar es el de que todos los flujos de caja ocurren al final de cada período de interés. Esto se conoce como convención de fin de periodo.

Un diagrama de flujo de caja es una herramienta valiosa para la solución de problemas en ingeniería económica. Representa el planteamiento del problema y muestra los datos con que se cuenta y las incógnitas que han de resolverse, lo que permite al analista resolver el problema prácticamente al mirar el diagrama, el tiempo 0 (cero) es considerado el presente y el tiempo 1, representa el final del período 1.

En un diagrama de flujo, el sentido de las flechas es importante para la solución del problema. Por convención, una flecha hacia arriba indicará un flujo de caja positivo (ingreso), e inversamente, una flecha hacia abajo, un flujo de caja negativo (gasto).

En la elaboración de un diagrama de flujo se deberá tener cuidado de mantener una adecuada proporción entre los tamaños de las flechas que se representan los flujos de efectivo.

El diagrama de flujo de caja para la ecuación se ve a continuación.



Haciendo uso de la ecuación propuesta se sustituyen los siguientes valores:

N= 10 años.

i= 12 %.

$$P = A \left[ \frac{(1 + 0.12)^{10} - 1}{0.12(1 + 0.12)^{10}} \right]$$

$$P = A[5.650]$$

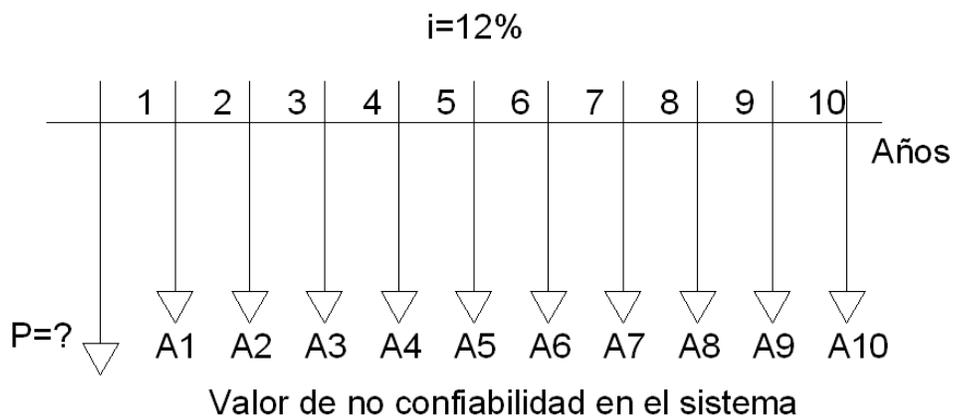
Existen tablas para poder obtener en forma directa el valor de 5.650 llamadas tablas de valor de interés compuesto, las cuales tiene distintos valores de n y de i y que con solo conocer estos, podemos obtener directamente el valor buscado.

Aplicando la ecuación:

$$P = A(P/A, 12\%, 10)$$

Donde el valor de (P/A, 12%, 10), que se obtiene de una tabla que se presenta en la siguiente pagina, al ser multiplicado por un valor A conocido, permite obtener el valor o suma del dinero en el presente P para los próximos 10 años si la tasa de interés anual es de 12%.

El diagrama de flujo de efectivo o de caja para el valor presente de la no confiabilidad sería el siguiente:



Factores de interés compuesto 12%

| n  | Pago único                 |                              | Serie uniforme                  |                                       |                            |                              |
|----|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
|    | Factor de valor futuro F/P | Factor de valor PRESENTE P/F | Factor de fondo acumulativo A/F | Factor de recuperación de capital A/P | Factor de valor futuro F/A | Factor de valor presente P/A |
| 1  | 1.12                       | 0.8929                       | 1                               | 1.12                                  | 1                          | 0.893                        |
| 2  | 1.2544                     | 0.7972                       | 0.4717                          | 0.5917                                | 2.12                       | 1.69                         |
| 3  | 1.4049                     | 0.7118                       | 0.29635                         | 0.41635                               | 3.374                      | 2.402                        |
| 4  | 1.5735                     | 0.6355                       | 0.20923                         | 0.32923                               | 4.779                      | 3.037                        |
| 5  | 1.7623                     | 0.5674                       | 0.15741                         | 0.27741                               | 6.353                      | 3.605                        |
| 6  | 1.9728                     | 0.5066                       | 0.12323                         | 0.24323                               | 8.115                      | 4.11                         |
| 7  | 2.2107                     | 0.4523                       | 0.09912                         | 0.21912                               | 10.089                     | 4.564                        |
| 8  | 2.476                      | 0.4039                       | 0.0813                          | 0.2013                                | 12.3                       | 4.968                        |
| 9  | 2.7731                     | 0.3606                       | 0.06768                         | 0.18768                               | 14.776                     | 5.328                        |
| 10 | 3.1058                     | 0.322                        | 0.05698                         | 0.17698                               | 17.549                     | 5.65                         |
| 11 | 3.4785                     | 0.2875                       | 0.04842                         | 0.16842                               | 20.655                     | 5.938                        |
| 12 | 3.896                      | 0.2567                       | 0.04144                         | 0.16144                               | 24.133                     | 6.194                        |
| 13 | 4.3635                     | 0.2292                       | 0.03568                         | 0.15568                               | 28.029                     | 6.424                        |
| 14 | 4.8871                     | 0.2046                       | 0.03087                         | 0.15087                               | 32.293                     | 6.628                        |
| 15 | 5.4736                     | 0.1827                       | 0.02682                         | 0.14682                               | 37.28                      | 6.811                        |
| 16 | 6.1304                     | 0.1631                       | 0.02339                         | 0.14339                               | 42.753                     | 6.974                        |
| 17 | 6.866                      | 0.1456                       | 0.02046                         | 0.14046                               | 48.884                     | 7.12                         |
| 18 | 7.69                       | 0.13                         | 0.01794                         | 0.13794                               | 55.75                      | 7.25                         |
| 19 | 8.6128                     | 0.1161                       | 0.01576                         | 0.13576                               | 63.44                      | 7.366                        |
| 20 | 9.6463                     | 0.1037                       | 0.01388                         | 0.13388                               | 72.052                     | 7.469                        |
| 21 | 10.8038                    | 0.0926                       | 0.01224                         | 0.13224                               | 81.699                     | 7.562                        |
| 22 | 12.1003                    | 0.0826                       | 0.01081                         | 0.13081                               | 82.503                     | 7.645                        |
| 23 | 13.5523                    | 0.0738                       | 0.00956                         | 0.12956                               | 104.603                    | 7.718                        |
| 24 | 15.1786                    | 0.0659                       | 0.00846                         | 0.12846                               | 118.155                    | 7.784                        |
| 25 | 17.0001                    | 0.0588                       | 0.0075                          | 0.1275                                | 133.334                    | 7.843                        |
| 26 | 19.0401                    | 0.0525                       | 0.00665                         | 0.12665                               | 150.334                    | 7.896                        |
| 27 | 21.3249                    | 0.0469                       | 0.0059                          | 0.1259                                | 169.374                    | 7.843                        |
| 28 | 23.8839                    | 0.0419                       | 0.00524                         | 0.12524                               | 1.90.699                   | 7.948                        |
| 29 | 26.7499                    | 0.0374                       | 0.00466                         | 0.12466                               | 214.583                    | 8.022                        |
| 30 | 29.9599                    | 0.0334                       | 0.00414                         | 0.12414                               | 241.333                    | 8.055                        |
| 31 | 33.5551                    | 0.0298                       | 0.00369                         | 0.12369                               | 271.292                    | 8.085                        |
| 32 | 37.5817                    | 0.0266                       | 0.00328                         | 0.12328                               | 304.847                    | 8.112                        |
| 33 | 42.0915                    | 0.0238                       | 0.00292                         | 0.12292                               | 342.429                    | 8.135                        |
| 34 | 47.1425                    | 0.0212                       | 0.0026                          | 0.1226                                | 384.52                     | 8.157                        |
| 35 | 52.7996                    | 0.0189                       | 0.00232                         | 0.12232                               | 431.663                    | 8.176                        |
| 40 | 93.051                     | 0.017                        | 0.0013                          | 0.1213                                | 767.091                    | 8.244                        |
| 45 | 163.9876                   | 0.0061                       | 0.00074                         | 0.12074                               | 1358.23                    | 8.288                        |
| 50 | 289.0022                   | 0.0035                       | 0.00042                         | 0.12042                               | 2400.018                   | 8.305                        |

Los costos de no tener confiabilidad en nuestro sistema de distribución en cada una de las alternativas propuestas, que se obtuvieron para un tiempo de 1 año, serian los valores de A, los

cuales al multiplicarlos por el valor de 5.650, se obtiene los costos de no tener confiabilidad en valor presente, para 10 años y se observan a continuación.

| <b>alternativa</b> | <b>millones de pesos</b> |
|--------------------|--------------------------|
| 1                  | 11.794                   |
| 2                  | 8.44                     |
| 3                  | 11.279                   |
| 4                  | 10.475                   |
| 5                  | 5.086                    |
| 6                  | 4.128                    |

#### 5.4.4 Costo Global.

Para obtener el costo global de cada una de las alternativas, hay que sumarle a los valores obtenidos en la tabla anterior sus costos de inversión inicial correspondientes a cada uno. En la tabla que se presenta a continuación se tienen ya los costos globales de cada una de las alternativa que fueron propuestas para mejorar la confiabilidad del sistema de distribución.

| <b>alternativa</b> | <b>millones de pesos</b> |
|--------------------|--------------------------|
| 1                  | 15.68                    |
| 2                  | 12.359                   |
| 3                  | 15.205                   |
| 4                  | 27.382                   |
| 5                  | 21.986                   |
| 6                  | 8.732                    |

Estos son los costos globales de cada alternativa, considerando las pérdidas económicas que se generan de cada una de ellas dependiendo de su tiempo de interrupción al usuario (TIU) que como podrá verse tiene una gran repercusión económica a largo plazo.