

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.**

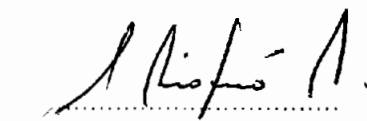
**SELECCIÓN ECONÓMICA DE LA CONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS DE
DISTRIBUCIÓN PRIMARIA.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN LA
ESPECIALIZACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.**

**GEOVANNY C. VELÁSTEGUI J.
QUITO, OCTUBRE DE 1998.**

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el presente trabajo de tesis ha sido realizado en forma total por el señor: Geovanny Velástegui Jaramillo, bajo mi dirección.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Riofrío', written over a horizontal dotted line.

Ing. Carlos Riofrío.

DIRECTOR DE TESIS.

DEDICATORIA.

A mi familia y a todos los pobres de mi país que dejan de percibir beneficios sociales del estado para que personas como yo pueda realizar una carrera en una universidad estatal..

INTRODUCCIÓN.

El diseño de circuitos de distribución primaria se ha generalizado en el Ecuador estableciendo como idónea una configuración que satisfaga la carga proyectada para un determinado tiempo que suele ser diez o quince años.

Pero esta manera de establecer la configuración primaria de distribución para servicio de una determinada curva carga no considera un estricto cálculo económico que establezca que su montaje y operación a lo largo de un tiempo de análisis represente el óptimo, pues solamente se cumple con satisfacer la carga en un instante de tiempo determinado.

Dentro de los aspectos que se deben considerar para establecer un cálculo económico óptimo está el que no basta con tener una configuración que satisfaga económicamente un valor de carga determinado sino que se debe recopilar los costos por pérdidas que se producen en la red a lo largo de un tiempo de análisis además de la inversión que se debe hacer por el montaje de la red.

Las empresas de distribución a este nivel requieren de un método adecuado que determine la configuración o configuraciones que establezcan el mayor ahorro económico, pues contrariamente hasta la actualidad se construyen circuitos de distribución primaria que no se justifican en todos los aspectos.

ALCANCE Y OBJETIVOS

Este trabajo desarrolla una base de datos que contiene los costos, datos e índices que permiten constituir un circuito de distribución primaria.

Se establece una metodología en el tratamiento de los costos referentes a la construcción, pérdidas, desmontajes y cambios de configuraciones de distribución primaria, planteando matrices que incluyen estos costos para utilizarlos en el cálculo de óptimos económicos.

Se establece un método que determina rangos de carga inicial, para los cuales una determinada configuración resulta más económica en comparación de otra, sujetas a una proyección del crecimiento de la carga en un tiempo de análisis determinado.

Otra metodología permite determinar sistemas escalonados de configuraciones que satisfacen la carga en el tiempo de manera óptima, este análisis considera los respectivos costos de posibles cambios de una configuración por otra cuando por efectos del crecimiento de la carga se justifican, dentro del tiempo de análisis fijado.

Se desarrollan los algoritmos matemáticos teóricos y se realiza una aplicación computarizada que permita la simulación de los casos descritos. Además se desarrolla un análisis de sensibilidad sobre las principales variables en cada caso y la incidencia de la variación de estas sobre los resultados obtenidos.

INDICE.

INTRODUCCIÓN.

ALCANCE Y OBJETIVOS.

CAPÍTULO I. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS DE CONFIGURACIONES DE CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA. 1

1. Configuraciones de circuitos primarios a analizarse.	1
2. Conductores.	4
3. Postería.	5
4. Estructuras de suspensión y tensores.	5
5. Aisladores.	6

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE COSTOS POR KILÓMETRO PARA LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE REDES Y POSIBLES CAMBIOS ENTRE ELLAS. 7

1. Costos de inversión en la construcción y operación de primarios de distribución.	7
2. Costos directos.	8
2.1. Costo de conductores de fase y neutro por kilómetro de red.	9
2.2. Costo de estructuras de soporte de la red.	9
2.2.1. Costo de postes de la configuración.	9
2.2.2. Costo de estructuras de la configuración.	10
2.2.3. Costo de aisladores.	11
2.3. Costo de montaje de configuraciones primarias de distribución.	12
2.4. Costo de diseño de la red [7].	13
3. Costos indirectos.	13
3.1. Costos indirectos de construcción.	14
3.2. Costos variables de operación [6].	14
3.2.1. Costos de pérdidas de potencia[6].	15
3.2.2. Costo de pérdidas de energía[6].	16
4. Consideraciones referentes a los costos de remoción o cambio entre configuraciones de distribución primaria (Crem).	17
4.1. Valor residual de una configuración al final del tiempo de análisis.	17
4.2. Cambio de una configuración por otra [11].	18
5. Ejemplo.	19

CAPÍTULO III. MODELO DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ECONÓMICA PARA UNA DETERMINADA APLICACIÓN. 22

1. Consideraciones Generales.	22
------------------------------------	----

2. Análisis con carga variable en el tiempo.	22
2.1. Determinación de la relación entre el costo operacional total en valor presente y la corriente inicial de carga variable en el tiempo.	22
2.1.1. Evaluación de los costos de instalación de la configuración de distribución primaria. C_{inst} [7].	23
2.1.2. Evaluación de los costos de pérdidas acumuladas en valor presente a tiempo cero de construcción de la configuración de distribución primaria. $C_{perd_{vp}}$	23
3. Equivalencia entre la carga de la configuración y la corriente de línea.	26
4. Ejemplo.	27
CAPÍTULO IV. MODELO DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ESCALONADA ECONÓMICAMENTE ÓPTIMA MEDIANTE EL USO DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA.	33
1. Consideraciones Generales.	33
2. Planteamiento del problema.	33
3. Programación dinámica [12].	36
4. Estructuración del problema de selección escalonada.	37
5. Metodología en la evaluación de la matriz de costos unitarios para las diferentes configuraciones de redes y posibles cambios entre ellas.	42
5.1. Matriz de costos de instalación.	43
5.2. Matriz de costos de remoción o cambio y valor residual.	45
5.3. Matriz de costos de pérdidas.	46
5.4. Matriz de análisis escalonado [11].	48
6. Ejemplo.	49
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.	52
1. Sensibilidad en el caso individual.	52
1.1. Sensibilidad respecto del vano medio de las configuraciones.	52
1.2. Sensibilidad respecto del factor de pérdidas.	53
1.3. Sensibilidad respecto del costo de demanda.	55
1.4. Sensibilidad respecto de la tasa de crecimiento de carga.	56
2. Sensibilidad en el caso escalonado.	57
2.1. Sensibilidad respecto del vano medio.	57
2.2. Sensibilidad respecto de los años de análisis.	59
2.3. Sensibilidad respecto de la tasa de crecimiento de carga anual.	60
2.4. Sensibilidad respecto de la carga inicial.	62
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	65
APENDICE A. DESCRIPCIÓN DEL LIBRO DE CÁLCULO GCVJ.	68
1. Características de GCVJ.	68
2. Estructura del libro de cálculo GCVJ.	69
2.1. Hojas de cálculo.	69

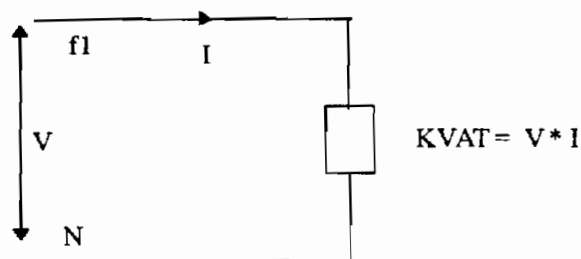
2.2. Hojas de gráfico.....	70
2.3. Hojas de diálogo.....	70
2.4. Módulos.....	70
2.5. Barras de menú.....	71
3. Descripción del libro de cálculo GCVJ.....	71
3.1. Descripción de la base de datos.....	71
3.1.1. Menú.....	71
3.1.2. Hojas de cálculo.....	71
3.1.3. Procedimientos y funciones.....	73
3.2. Descripción del caso individual.....	76
3.2.1. Menú.....	76
3.2.2. Hojas de cálculo.....	76
3.2.3. Hojas de diálogo.....	78
3.2.4. Procedimientos y funciones.....	79
3.3. Descripción del caso escalonado.....	81
3.3.1. Menú.....	81
3.3.2. Hojas de cálculo.....	82
3.3.3. Hojas de diálogo.....	83
3.3.4. Procedimientos y funciones.....	84
3.4. Descripción de elementos generales del libro de cálculo.....	88
3.4.1. Menú.....	88
3.4.2. Hojas de cálculo.....	88
3.4.3. Hojas de diálogo.....	89
3.4.4. Procedimientos y funciones.....	89
4. ¿Cómo utilizar el libro de cálculo GCVJ?.....	90
4.1. Base de datos.....	90
4.2. Caso Individual.....	93
4.3. Caso Escalonado.....	95
ANEXO 1. ESTRUCTURAS DE SUSPENSIÓN Y TENSORES.....	98

CAPÍTULO I. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL ANÁLISIS DE CONFIGURACIONES DE CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA.

1. Configuraciones de circuitos primarios a analizarse.

Se determinan las configuraciones primarias que se analizarán, para este efecto se revisan las normas de la empresa eléctrica Quito S.A. y del INECEL, y de igual forma se consideran los calibres de conductor que para tal efecto se utilizarán, de esta forma se detalla las diferentes configuraciones voltajes y calibres de conductor a analizar.

- a. Configuraciones monofásicas, distribución a través de una fase y el neutro, los niveles de voltaje son 7.6 kV y 13.2 kV y los conductores se describen a continuación:

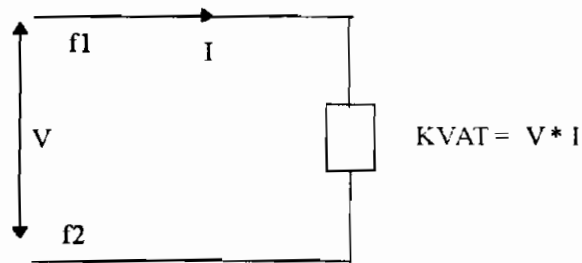


1f x 4 AWG y 1Neutro x 4 AWG

1f x 2 AWG y 1N x 4 AWG

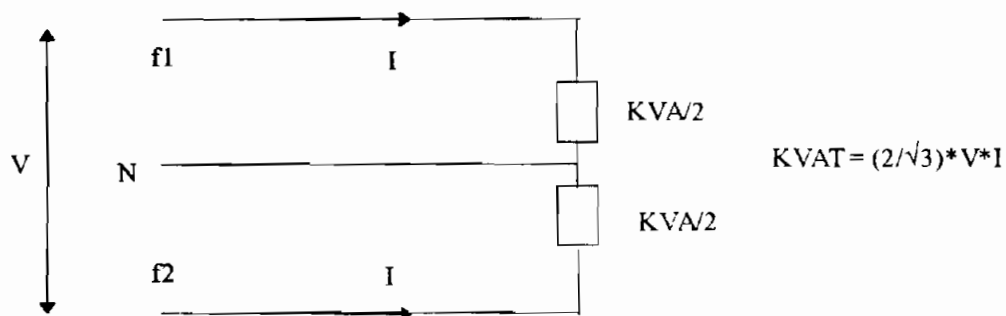
1f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG

- b. Configuraciones bifásicas, distribución a través de las dos fases, el nivel de voltaje considerado es de 6.3 kV y los conductores se describen a continuación.



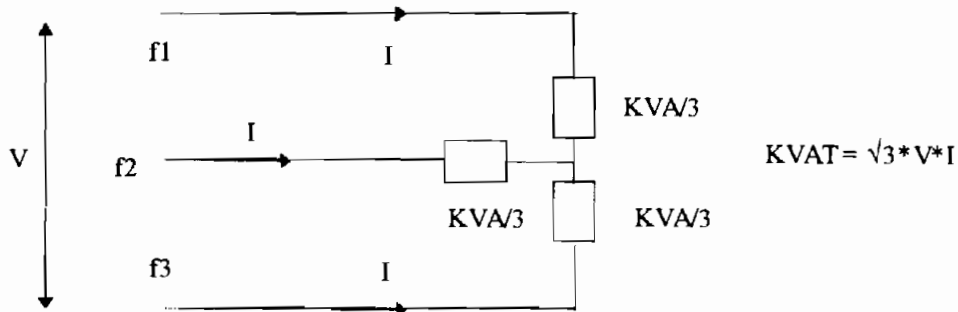
2f x 4 AWG
 2f x 2 AWG
 2f x 1/0 AWG

- c. Configuraciones bifásicas, distribución a través de dos fases y el neutro, los niveles de voltaje entre fases a considerar son 13.2 kV y 23 kV y los conductores a considerar son los siguientes:



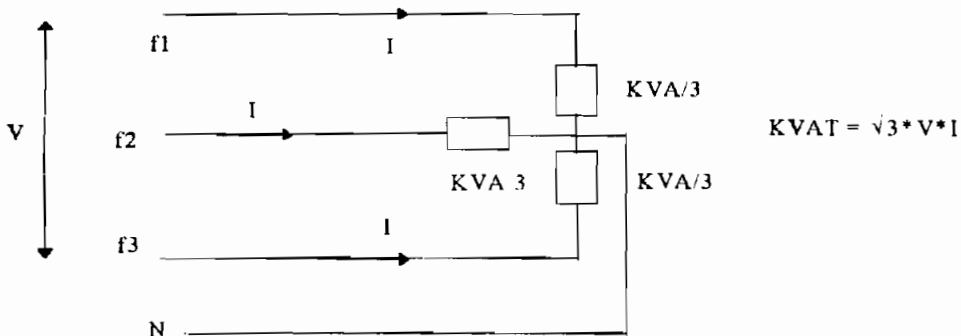
2f x 4 AWG y 1Neutro x 4 AWG
 2f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
 2f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG

- d. Configuraciones trifásicas, distribución a través de las tres fases, el nivel de voltaje es de 6.3 kV entre fases, y los conductores considerados son los siguientes:



- 3f x 4 AWG
- 3f x 2 AWG
- 3f x 1/0 AWG
- 3f x 2/0 AWG
- 3f x 4/0 AWG

- e. Configuraciones trifásicas, distribución a través de las tres fases y el neutro, los niveles de voltaje son 13.2 kV y 23 kV entre fases, los conductores a considerar son los siguientes:



3f x 4 AWG y 1Neutro x 4 AWG

3f x 2 AWG y 1N x 4 AWG

3f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG

3f x 2/0 AWG y 1Neutro x 2 AWG

3f x 4/0 AWG y 1N x 1/0 AWG

Para considerar estas configuraciones, niveles de voltaje y calibres de conductores se ha hecho un repaso de las normas de la E.E.Q.S.A. y del INECEL, las cuales consideran este conjunto de configuraciones como las representativas para la distribución de energía eléctrica en primarios. De todo lo anterior se desprenden 30 diferentes configuraciones que serán nuestro motivo de análisis.

2. Conductores.

Se considera cualquier tipo de conductor para las configuraciones de análisis. Simplemente en la base de datos los costos de conductores deben ser modificados de acuerdo al tipo a utilizarse esto para todos los calibres. Los calibres considerados para las diferentes configuraciones están basados en las recomendaciones de las normas INECEL.

Dentro de los factores más importantes que determinan la economía de una configuración de distribución están el conductor y el nivel de voltaje utilizado, en cuanto al conductor utilizado solo basta analizar los costos debido a este parámetro para verificar esta incidencia.

Si se considera de manera general en la constitución de una configuración dos parámetros el conductor utilizado y las estructuras que lo sostienen, se puede deducir sin mayor análisis la influencia en los costos de materiales del parámetro costo de conductor, de esta forma el hecho de determinar lo más exactamente el costo del conductor en la configuración y el calibre del mismo apropiado determinará una economía importante.

Se puede señalar que el costo del conductor en algunas configuraciones puede representar mas del 50% del costo total de materiales.

3. Postería.

Se analiza dos tipos de estructuras de soporte para primarios de distribución, estos son sobre postes de madera y sobre postes de hormigón. En cuanto a los costos se puede determinar que los postes de hormigón son más caros que los de madera, pero las características de uno y otro son diferentes y por ende la utilización de uno y otro es necesaria de acuerdo al caso.

En el Ecuador la producción de madera permite contar con una serie variada de tipos tales como el eucalipto, bálsamo, guayacán, laurel, mangle, los cuales ya han sido probados en su empleo.

En los lugares donde las condiciones ambientales producirán el deterioro rápido del poste de madera se considera el empleo de postes de hormigón, pues además la vida útil del poste de hormigón es al menos 5 veces mayor.

Otro factor a considerar es el ornamento que se puede tener con postes de hormigón, es así que en carreteras de primer orden y en la mayor parte de zonas pobladas se los emplea.

4. Estructuras de suspensión y tensores.

Las configuraciones de distribución en cuanto a estructuras de suspensión se conforman de manera general por estructuras tangentes, estructuras de retención (angulares), y estructuras de fin de línea, en cuanto a estructuras tensores se generalizó para este análisis de acuerdo a la configuración, por tal razón se detalla en el Anexo 1 los diferentes tipos de estructuras de acuerdo al nivel de voltaje de la configuración. Estas estructuras de suspensión son consideradas tipo para nuestro estudio, y se fundamentan en las normas de la Empresa Eléctrica Quito. S. A.

Para facilitar la determinación de costos individuales las estructuras del ANEXO 1 no comprenden posteria ni aisladores, los cuales se determinan independientemente en los rubros de postes y aisladores respectivamente, evaluados en el capítulo dos de este trabajo.

5. Aisladores.

Los aisladores que no están considerados en las estructuras antes detalladas se pueden generalizar en una tabla que se obtiene de las normas del INECEL, y que son los mismos que utiliza la Empresa Eléctrica Quito, para las diferentes estructuras tipo, y con las que se trabajará en lo posterior.

AISLADORES (ANSI).		
VOLTAJE NOMINAL(kV)	TIPO PIN	CADENA DE RETENCION
23/13.2	56-1	3 x 52-1
13.2/7.6 y 6.3	55-4	2 x 52-1

CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE COSTOS POR KILÓMETRO PARA LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE REDES Y POSIBLES CAMBIOS ENTRE ELLAS.

1. Costos de inversión en la construcción y operación de primarios de distribución.

Estos costos en su forma más general pueden dividirse en dos grandes grupos, los costos directos en el diseño y construcción de una red de distribución primaria, y los costos indirectos de construcción y operación de la red de distribución.

Todos los costos que se plantean calcular, se los hace tomando como referencia la unidad de un kilómetro de distancia, para que de esta forma todos ellos estén bajo un mismo parámetro de análisis.

Costos directos.

Dentro de este rubro se encuentran todos los costos involucrados en la instalación de la red, como:

- A. Costo del conductor utilizado.
- B. Costo de estructuras que sostienen al conductor.
- C. Costos de montaje de configuración.

Dentro de estos costos de estructuras que sostienen al conductor se encuentran los siguientes rubros:

- B1. Costos de postes sean, hormigón o madera.
- B2. Costos de aisladores, de acuerdo al nivel de voltaje de la configuración.
- B3. Costos de estructuras tipo, sean estas de retención angulares, estructuras tangentes, y estructuras de fin de línea.
- B4. Costos de estructuras tensores tipo para cada nivel de voltaje.

Dentro de los costos de montaje de la configuración primaria se incluyen los siguientes:

- C1 Replanteo de la red
- C2 Transporte de postes, sean estos postes de madera ó postes de hormigón.
- C3 Excavacion de hoyos para los diferentes postes.
- C4 Erección de postes, diferenciando entre postes de madera y de hormigón.
- C5 Ensamblaje de estructuras de soporte, sean estas de retención angular, tangentes ó fin de línea, asi como también ensamblaje de estructuras de tensor, diferenciándose los costos entre cada nivel de voltaje que se considere y si van montados sobre postes de hormigón ó madera.
- C6 Transporte, tendido y regulado de conductores.

Como último costo directo debemos considerar, el costo de diseño de la red.

Costos indirectos.

Dentro de estos costos se incluyen los siguientes rubros.

- A. Costos indirectos de construcción.
- B. Costos variables de operación, como son los costos de pérdidas de potencia y energía de la configuración en funcionamiento.

Una vez evaluados los dos grandes costos y considerando que cada uno de ellos se obtiene considerando una unidad de distancia de un kilómetro, se puede determinar el costo total por kilómetro de la red de distribución primaria como la suma del costo directo y el costo indirecto.

Hasta el momento solo se han fijado cuales serán los costos a considerarse en el cálculo, el paso posterior es detallar individualmente la manera de evaluar los mismos, los parámetros a considerar y mas aspectos al respecto.

2. Costos directos.

Estos costos se han dividido por rubros y para cada uno de ellos se dispone de una serie de fórmulas y métodos empíricos frecuentemente utilizados para proyectos ya elaborados los cuales se fundamentan en la referencia [7], estos a continuación son detallados.

2.1. Costo de conductores de fase y neutro por kilómetro de red.

Para considerar aspectos como empalmes, retaceo, vanos flojos, etc., se aumenta un 3% del costo normal de conductor de fase y 1% para el conductor de neutro, pero además un factor importante en la determinación del costo de conductor es el número de fases de la configuración, al cuál se designa como N_f , y además si existe neutro en la configuración la variable N_n será igual a 1.

$$C_c = 1.03 * N_f * \text{Costo del conductor de fase por Km} + \\ 1.01 * N_n * \text{Costo del conductor de neutro por Km.}$$

Donde:

C_c : Costo total de conductor (Dólar/Km)

N_f : Número de fases.

N_n : Si existe neutro en la configuración $N_n = 1$ si no existe $N_n = 0$.

2.2. Costo de estructuras de soporte de la red.

2.2.1. Costo de postes de la configuración.

Para evaluar estos costos una variable de entrada importante es el vano medio de la configuración, el cual permitirá determinar el número de postes que se encuentran en un kilómetro de línea (N_p). Así como el tipo de postes a utilizarse, sean estas de hormigón ó de madera. De esta forma el número de postes por kilómetro se determinará así:

$$N_p = [1000/V] + 1$$

Donde:

N_p : Número de postes por kilómetro de línea.

V : Vano promedio de diseño (m).

De esta forma el costo de postes de la red será:

$$C_p = N_p * \text{Costo por unidad de poste. (hormigón ó madera)}$$

Donde:

C_p : Costo total de postes de hormigón ó madera por Km de línea.

2.2.2. Costo de estructuras de la configuración.

Para este efecto es importante determinar cuatro factores que determinen la frecuencia de determinadas estructuras a lo largo de un kilómetro de línea, estas frecuencias serán variables de entrada y consideradas estadísticamente de acuerdo al sistema, las cuales dependerán de la naturaleza del terreno donde la configuración se implantará. Las frecuencias a considerar estarán en por unidad por kilómetro de línea. Y son:

- Para estructuras tangentes de suspensión la variable será f_t .
- Para estructuras de retención la variable será f_r .
- Para estructuras de fin de línea la variable será f_f .
- Para estructuras de tensores tipo considerado, la variable será f_T .

En el anexo 1 de este trabajo se han detallado una serie de estructuras tipo para cada nivel de voltaje así como para cada tipo de estructura de suspensión de la red y de tensores. Así la evaluación de costos individual de cada una de las estructuras antes señaladas nos permitirá determinar el costo total de estructuras de soporte de la red y tensores de la siguiente manera:

$$C_{est} = N_p [(f_t * \text{Costo por unidad de estructura tangente de suspensión}) + (f_r * \text{Costo por unidad de estructura de retención}) + (f_f * \text{Costo por unidad de estructura de fin de línea}) + (f_T * \text{Costo por unidad de estructura de tensor})]$$

Donde:

C_{est} : Costo de estructuras de soporte de línea y tensores (Dólar/Km)

f_t, f_r, f_f, f_T : Frecuencias de estructuras en un kilómetro de línea (p.u.)

2.3. Costo de montaje de configuraciones primarias de distribución.

Este parámetro de costos evaluará principalmente mano de obra en la construcción de la configuración, así como transporte, y montaje de las diferentes estructuras de la configuración. Dentro de este costo es conveniente tomar en cuenta la diferencia que habrá entre configuraciones a diferentes voltajes, así como también la diferencia entre si el montaje se realiza con postes de madera o de hormigón. De igual forma que en los casos anteriores es importante tener en cuenta la unidad de distancia de un kilómetro para la evaluación de los diferentes rubros que se incluyen en este costo.

$$\text{Cmdo} = \text{CR} + \text{Np} * [\text{Tp} + \text{Eh} + \text{Ep} + \text{fT} * \text{ET} + \text{ft} * (\text{Et} + \text{TTRt}) + \text{fr} * (\text{Er} + \text{TTRr}) + \text{ff} * (\text{Ef} + \text{TTRf})]$$

Donde:

Cmdo : Costo total de mano de obra por kilómetro de línea. (Dólar/Km)

CR : Costo de replanteo de la línea por Km de línea (Dólar/Km).

Np : Número de postes por Km de línea.

Tp : Costo de transporte de postes, diferenciando si son de hormigón o madera. (Dólar/poste)

Eh : Costo de excavación de hoyos por unidad. (Dólar/unidad).

Ep : Costo de erección de poste, diferenciando entre hormigón o madera. (Dólar/poste).

ET, Et, Er, Ef : Costo de ensamblaje de estructuras, tensor, tangente, retención o fin de línea respectivamente. (Dólar/unidad).

TTRt, TTRr, TTRf : Costo de transporte, tendido y regulación de conductores en cada estructura tipo, tangente, retención o fin de línea, respectivamente. (Dólar/unidad).

fT, ft, fr, ff : Frecuencias de estructuras tensores, tangente, retención o fin de línea respectivamente, en cada kilómetro. (p.u.).

2.4. Costo de diseño de la red [7].

Este rubro será un 10% a 15% de los costos directos de construcción de la red de distribución, para este caso se consideró un 10% de costo de diseño, y se determinará así:

$$Cdr = (0.1/0.9) (Cc + Cest + Cp + Cais + Cmdo)$$

Donde:

Cdr : Costo de diseño de la red. (Dólar/Km).

Cc : Costo de conductor. (Dólar/Km).

Cest. : Costo de estructuras de suspensión y tensores.(Dólar/Km).

Cp : Costo de postes. (Dólar/Km).

Cais. : Costo de aisladores. (Dólar/Km).

Cmdo: Costo de mano de obra.(Dólar/Km).

De todo lo anteriormente señalado se puede evaluar los costos directos totales por kilómetro de línea en la construcción y diseño de una red de distribución primaria así:

$$CDT = Cc + Cest + Cp + Cais + Cmdo + Cdr$$

Donde.

CDT : Costos directos totales en construcción y diseño de la red.(Dólar/Km).

3. Costos indirectos.

Los costos indirectos de una configuración de igual forma que en los casos anteriores se determinará sobre la base de la unidad de un kilómetro de distancia, para que de esta manera estén dentro del mismo parámetro de comparación para el análisis y son obtenidos de las referencias [6] y [7].

3.1. Costos indirectos de construcción.

Los costos indirectos de construcción resulta ser un 40% de los costos directos de construcción y diseño, este 40% se ha dividido entre gastos de administración, dirección técnica y utilidades, en los siguientes rubros [7]:

- Personal técnico y administrativo = 15%.
- Rentas de bodegas = 1 %.
- Planos y más papelería = 2%.
- Gastos financieros, seguros, teléfonos = 6%.
- Vehículos = 1%.
- Utilidades = 12%.
- Imprevistos = 3%.

3.2. Costos variables de operación [6].

Dentro de este se incluyen los costos referentes a las pérdidas de potencia y de energía que se producen en una configuración de distribución, estos referentes al efecto de la resistencia que opone el conductor al paso de corriente.

Estos costos son siempre función de un número de fases equivalente (N_{feq}), que incluye el efecto de las pérdidas en los conductores de fase así como las pérdidas en el conductor neutro de la configuración si existe, y si hay circulación de corriente a través de este, de esta forma se analiza el valor del número de fases equivalente de acuerdo a la configuración de distribución que se esté analizando.

A. Configuración monofásica [11].

En este caso si el neutro es puesto a tierra en la carga y además en múltiples sitios de su recorrido la impedancia equivalente será la del conductor de fase mas la impedancia equivalente del camino de retorno, que dependerá del número y tipo de puestas a tierra y de la resistividad del suelo.

$$C_{pp} = N_{feq} * R_j * I_{max}^2 * C_{dem}.$$

Donde

C_{pp} : Costo anual de pérdidas de potencia por kilómetro de línea.(Dólar/Km).

N_{feq} : Número de fases equivalente de la configuración.

R_j : Resistencia por unidad de distancia del conductor utilizado.(Ohm/Km).

I_{max} : Corriente máxima de la curva de carga proyectada anualmente.(A).

C_{dem} : Costo marginal de la potencia, a nivel de distribución.(Dólar/KW/año).

3.2.2. Costo de pérdidas de energía[6].

De igual forma que en el caso de las pérdidas de potencia, se establece una unidad de tiempo en la que se determina las pérdidas de energía, esta unidad de tiempo es de un año, y la razón es que así posteriormente se podrá analizar la variación del costo en función del tiempo de acuerdo a la demanda creciente proyectada. Pero en este momento interesa determinar las pérdidas anuales de energía por kilómetro de línea de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{pe} = N_{feq} * R_j * f_p * I_{max}^2 * 8760 * C_{en}$$

Donde:

C_{pe} : Costo anual de pérdidas de energía por kilómetro de línea.(Dólar/Km).

N_{feq} : Número de fases equivalente de la configuración.

R_j : Resistencia por unidad de distancia del conductor utilizado.(Ohm/Km).

I_{max} : Corriente máxima de la curva de carga proyectada anualmente.(A).

f_p : Factor de pérdidas de la carga.

C_{en} : Costo de pérdidas de energía, tarifa establecida por la empresa de distribución.(Dólar/KW-h)

4. Consideraciones referentes a los costos de remoción o cambio entre configuraciones de distribución primaria (Crem).

De igual forma que los costos de montaje o instalación de una configuración determinada, debe considerarse la posibilidad de remoción o cambio de una configuración a otra de mayor capacidad, esto cuando el sistema escalonado lo solicite económicamente o simplemente porque alguna configuración llegó a su límite operativo. Para este análisis se debe determinar los rubros que intervienen en el cambio, además, al final de un determinado tiempo de análisis la configuración que esté montada no se desmontará sino que permanecerá en el lugar, de esta forma lo que se debe considerar al final del tiempo de análisis es el valor residual de dicha instalación.

4.1. Valor residual de una configuración al final del tiempo de análisis.

Si se considera como vida útil de los materiales de este tipo de configuraciones treinta años, se puede plantear una depreciación lineal para determinar este valor residual así: [11]

$$C_s = [1 - (L / 30)] (C_{conf.})$$

Donde:

C_s : Valor residual de la configuración al final del tiempo de análisis (Dólar/Km).

$C_{conf.}$: Costo de la configuración que incluye, materiales, mano de obra, diseño, etc. (Dólar/Km.)

L : Tiempo de análisis (años).

De esta forma, se establece como un costo de remoción o cambio de una configuración al final del tiempo de análisis, para efectos de la modelación, lo siguiente:

$$C_{rem} = - C_s$$

Donde:

C_{rem} : Costo de remoción de una configuración al final del tiempo de análisis. (Dólar/Km).

4.2. Cambio de una configuración por otra [11].

En este caso se pueden considerar dos configuraciones (**A**) y (**B**), las cuales pueden tener una base común entre ellas, esta base común al momento del cambio no se altera, pero además se debe considerar la posibilidad de que cada una de estas configuraciones tengan una parte de material diferente entre ellas, que para este caso serán, (**a**) la parte no común de la configuración (**A**) con la configuración (**B**), y (**b**) será la parte no común de la configuración (**B**) con la (**A**).

Ahora si se plantea el cambio de la configuración (**A**) a la (**B**), se debe tomar en cuenta los rubros correspondientes a:

- Costo de mano de obra en la remoción de (**a**) que es la parte no común de (**A**) que no tiene (**B**).
- Además un ingreso que resulta un costo negativo por venta del material (**a**). Que se considera un 20% del costo del material nuevo.
- También se deben considerar los costos de material nuevo y la mano de obra en la instalación de (**b**) que es la parte no común de la configuración (**B**) que no tiene (**A**).

En el capítulo cuarto de este trabajo se establece los grupos de configuraciones entre las que se pueden realizar cambios, las dos posibilidades que pueden ser el material no común (**a**) que sale de una configuración (**A**) de menor capacidad para que entre una configuración (**B**) de mayor capacidad, son en el caso de que se pase de una configuración a otra que tiene el mismo calibre de conductor aunque diferente número de fases, (**a**) es nada pues todo el material de (**A**) se mantiene, y si el caso es que se pasa de una configuración a otra que tienen diferente calibre de conductor lo que tiene que salir de (**A**) es el conductor, ya sea este de fase o de neutro.

Este análisis nos sirve para determinar el costo para el cambio de una configuración a otra como la diferencia entre los costos de instalación de la configuración (**B**) menos el costo de instalación de la configuración (**A**) mas el costo de mano de obra el desmontaje de (**a**), mas el costo de mano de obra en la instalación de (**a**), y mas el 80% del costo del material (**a**), que es la parte no común de (**A**) que tiene que salir

Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Configuración 1	1f x 4AWG + N x 4 ^a WG
Configuración 2	1f x 2AWG + N x 4 ^a WG
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h

a. Estos datos y todos los costos de la base de datos de GCVJ determinan los siguientes costos individuales y totales de las configuraciones antes señaladas. Se debe indicar que el costo total de la tabla no solo representa la suma de los costos parciales de materiales y mano de obra, pues además se incluye el costo de diseño y costos indirectos de construcción.

Configuración	MATERIALES	MANO DE OBRAS	ESTRUCTURAS	MANO DE OBRAS	TOTAL
Configuración 1	839.5	402.6	3,904.5	1,108.4	9,730.0
Configuración 2	1,047.7	402.6	3,904.5	1,108.4	10,063.9

b. En cuanto al cambio de la configuración 1 por la configuración 2, la teoría desarrollada en el inciso 4.2. de este capítulo determina un valor parcial que no incluye el costo de instalación de la configuración entrante, la hoja de cálculo COSTOS de GCVJ tiene en sus celdas este costo así:

PARCIAL	CONFIG. ENTRA	
		2f x 2
CONFIG. SALE	2f x 4	-3238.3

Para determinar el costo del cambio de la configuración 1 por la 2 es necesario sumar a la cantidad señalada en la tabla anterior, el costo de los materiales y mano de obra de la configuración 2 que es la entrante, estos costos se muestran en la tabla de la sección (a) de este ejemplo, es así que el costo del cambio en dólares es:

CAMBIO	CONFIG. ENTRA	
		2f x 2
CONFIG. SALE	2f x 4	3224.9

2.1. Determinación de la relación entre el costo operacional total en valor presente y la corriente inicial de carga variable en el tiempo.

Es fundamental considerar el caso general en que la carga va creciendo en el tiempo, es así que se determinará en primera instancia un costo operacional en valor presente de todos los costos

incidentes en la instalación y operación de una configuración de distribución primaria, el costo operacional se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$C_{op_{VP}} = C_{inst} + C_{perd_{VP}}$$

Donde :

$C_{op_{VP}}$: Costos operacionales en valor presente para una configuración de distribución primaria, (Dólar/Km).

C_{inst} : Costo de instalación de la configuración de distribución a tiempo cero.(Dólar/Km).

$C_{perd_{VP}}$: Costo en valor presente acumulado, de pérdidas de potencia y energía a lo largo de un tiempo de análisis.(Dólar/Km).

2.1.1. Evaluación de los costos de instalación de la configuración de distribución primaria. C_{inst} [7].

Este costo representa todos los aspectos que intervienen en la construcción de la configuración de distribución, como son materiales, mano de obra, diseño y costos indirectos de construcción, los cuales fueron determinados en el capítulo dos de este trabajo, estos fueron determinados en valor presente a tiempo cero de construcción de la configuración, como un costo en Dólar por kilómetro de línea.

$$C_{inst} = (14 / 9) (\text{Costo de material} + \text{Costo de mano de obra})$$

Hay que resaltar que el efecto de los costos de diseño y los costos indirectos de construcción de acuerdo al capítulo dos, se reflejan en un factor sobre los costos de material y mano de obra, y este factor es de (14 / 9).

2.1.2. Evaluación de los costos de pérdidas acumuladas en valor presente a tiempo cero de construcción de la configuración de distribución primaria. $C_{perd_{VP}}$.

En el capítulo dos de este trabajo se describe la forma de evaluar los costos anuales por pérdidas de potencia y energía en la red de distribución, pero para el análisis presente es

necesario determinar acumulados estos costos a lo largo del tiempo de análisis establecido, en valor presente a tiempo cero de construcción de la misma, considerando una curva de carga creciente en el tiempo de acuerdo a una tasa de crecimiento de carga t_c , la cual incrementa la carga anualmente a través de la siguiente relación:

$$I_n = I_o (1 + t_c)^n$$

Donde :

I_n : Es la corriente máxima proyectada al año n de acuerdo al crecimiento considerado. (A)

I_o : Es la corriente máxima correspondiente al tiempo cero de construcción de la configuración. (A).

t_c : Tasa de crecimiento anual de la carga. (p.u.).

n : Año en el que se pretende determinar el valor de la corriente máxima de carga.

Para efecto de remontar todos los costos por pérdidas anuales a un valor a tiempo cero es necesario emplear las ecuaciones de ingeniería económica que convierten un costo en valor futuro a un costo en valor presente dado.

Así que se parte de la ecuación de costos por pérdidas anuales que es.

$$C_{perd} = N_{feq} * R_j * I_{max}^2 * K_{per}$$

Ahora se aplica la ecuación que acumula los costos de pérdidas anuales, a un costo en valor presente de pérdidas totales así:

$$C_{perVP} = \sum_{n=1}^L N_{feq} * R_j * K_{per} * I_{n-1}^2 * (1 + i)^{-n}$$

$$C_{perVP} = N_{feq} * R_j * K_{per} * I_o^2 * \sum_{n=1}^L [(1 + t_c)^{2n-2} * (1 + i)^{-n}]$$

$$K_{per} = [C_{dem} + f_p * 8760 * C_{en}]$$

Donde :

$C_{per_{VP}}$: Costo en valor presente acumulado, de pérdidas de potencia y energía a lo largo de un tiempo de análisis requerido. (Dólar/Km).

N_{feq} : Número de fases equivalente de la configuración.

R_j : Resistencia por unidad de distancia del conductor utilizado. (Ohm/Km).

I_o : Es la corriente máxima correspondiente al tiempo cero de construcción de la configuración. (A).

t_c : Tasa de crecimiento anual de carga. (p.u.).

n : Año en el que se pretende determinar el valor de la corriente máxima de carga.

K_{per} : Constante que agrupa los valores fijos del análisis, costo de demanda, factor de pérdidas, costo de energía.

L : Tiempo de análisis, (años).

i : Tasa de descuento. (p.u.).

C_{dem} : Costo de pérdida de potencia, tarifa establecido por la empresa de distribución para un año de consumo. (Dólar/KW)(anual).

f_p : Factor de pérdidas de la configuración analizado como proyección de la demanda.

C_{en} : Costo de pérdidas de energía, tarifa establecida por la empresa de distribución. (Dólar/KW-h)

De esta forma se puede determinar el costo operacional total en valor presente a tiempo cero de construcción de la configuración en (Dólar/Km), como la suma de los costos de instalación y los costos de pérdidas así:

$$C_{op_{VP}} = C_{inst} + N_{feq} * R_j * K_{per} * I_o^2 * \sum_{n=1}^L [(1 + t_c)^{2n-2} * (1 + i)^{-n}]$$

Ahora se podrá desarrollar una serie de curvas que relacionen los costos operacionales en valor presente de la configuración con los valores iniciales de corriente máxima en la línea, para

diferentes curvas de crecimiento de carga de acuerdo a la tasa de crecimiento que se considere, esto por kilómetro de línea, en este caso se tendrá la información considerando todos los costos a lo largo de un tiempo de análisis fijado por el usuario en el libro de cálculo GCVJ, es decir es posible considerar una configuración en el que la carga varía en el tiempo de año en año y no es una constante.

Pero para el desarrollo de las curvas Cop_{VP} vs. I_o , se debe considerar que el crecimiento de la corriente máxima que soporta la línea con el crecimiento de la carga, no es ilimitado sino mas bien tiene un límite operativo que no puede ser rebasado, es así que para el desarrollo se considerará máximo un 70% del límite térmico y que para cargas iniciales en las que de acuerdo a la tasa de crecimiento de carga tal o cual configuración llegue a su límite operativo antes del total de años de análisis no se haga el estudio por exceder condiciones técnicas.

3. Equivalencia entre la carga de la configuración y la corriente de línea.

Hasta el momento se desarrolló una serie de ecuaciones las cuales son función de la corriente de línea que soporta cada conductor de fase de la configuración de distribución, pero se debe tomar en cuenta que la corriente de fase de cada conductor no es un parámetro general de referencia de la carga que puede abastecer dicha configuración, pues si bien una corriente de línea determinada de una configuración monofásica alimentará una menor carga en KVA, que la misma corriente de línea en el caso de una configuración trifásica. Así que es necesario establecer el análisis basándose en la carga que puede abastecer una configuración, para de esta forma poder comparar entre ellas. En este punto se establece las relaciones que vinculan la corriente de línea en amperios con la carga total en KVA que puede suplir la red.

A. Configuración monofásica a 7.6 y 13.2 kV de voltaje fase neutro.

- A 7.6 kV. Entonces $I = KVA / 7.6$
- A 13.2 kV. Entonces $I = KVA / 13.2$

B. Configuración bifásica sin neutro a 6.3 kV de voltaje fase fase.

- $I = KVA / 6.3$

C. Configuración bifásica con neutro a 13.2 y 23 kV de voltaje fase fase.

- A 13.2 kV. Entonces $I = (\sqrt{3} / 2)(KVA / 13.2)$.
- A 23 kV. Entonces $I = (\sqrt{3} / 2)(KVA / 23)$.

D. Configuración trifásica con o sin neutro a 6.3, 13.2 y 23 kV de voltaje fase fase.

- A 6.3 kV. Entonces $I = (1/\sqrt{3})(KVA / 6.3)$
- A 13.2 kV. Entonces $I = (1/\sqrt{3})(KVA / 13.2)$
- A 23 kV. Entonces $I = (1/\sqrt{3})(KVA / 23)$

4. Ejemplo.

Como ejemplo de este capítulo presentamos los siguientes casos.

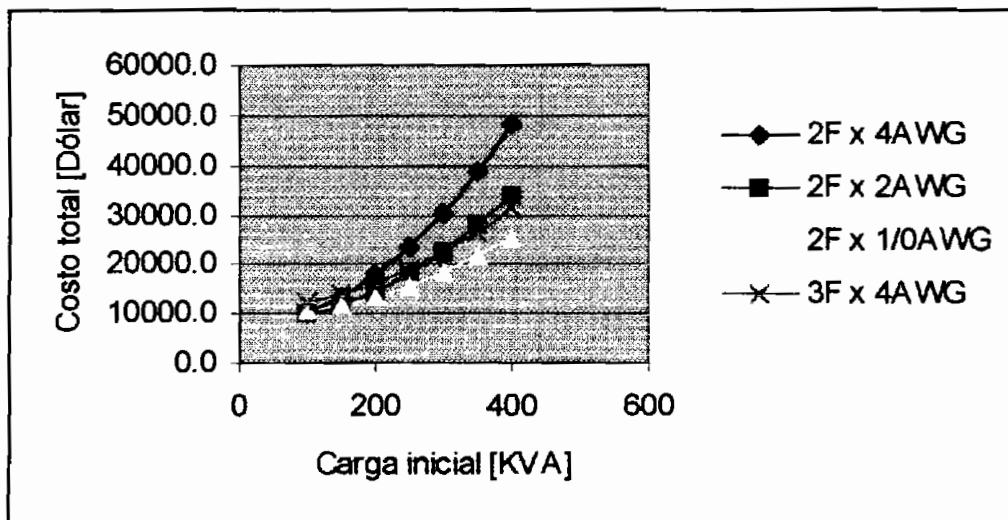
Datos.

Voltaje	6.3 kV.
Rango de carga límite	[0 a 1] MVA.
Postería	Madera.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Años de análisis	20
Tasa de descuento	10%.

Resultados.

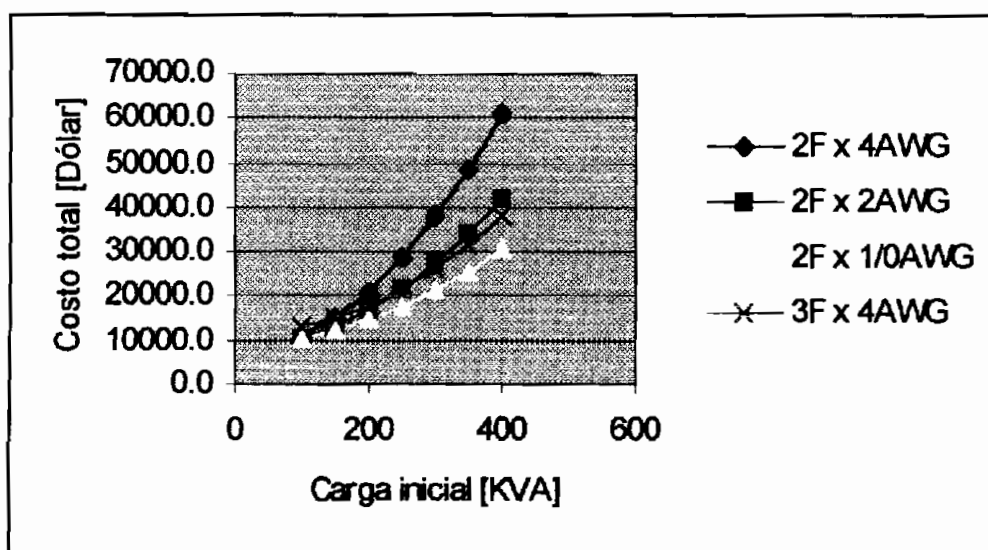
i) Para tasa de crecimiento de carga de 0%.

	10292.3	10005.8	10456.5	12469.2
	13434.4	11979.9	11698.2	14040.3
	17833.3	14743.7	13436.7	16239.8
	23489.1	18297.2	15671.9	19067.7
	30401.7	22640.3	18403.8	22524.0
	38571.2	27773.0	21632.3	26608.7
	47997.5	33695.4	25357.6	31321.6
	58680.6	40407.5	29579.6	36663.4
	70620.6	47909.2	34298.3	42633.4
	83817.5	56200.6	39513.7	49231.8
	98271.1	65281.6	45225.8	56458.6
		75152.3	51434.6	64313.9
		85612.6	58140.1	72797.6



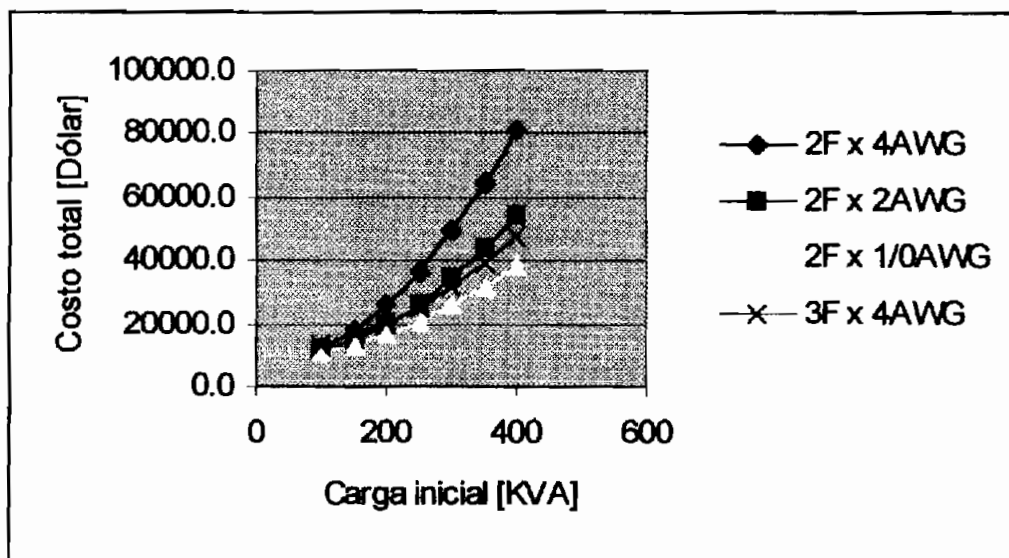
ii) Para tasa de crecimiento de carga de 2%.

	11106.6	10517.4	10778.3	12876.4
	15266.7	13131.1	12422.3	14956.4
	21090.7	16790.3	14724.0	17868.4
	28578.7	21484.9	17683.3	21612.5
	37730.6	27245.0	21300.2	26166.5
	48546.8	34040.6	25574.7	31596.5
	61026.9	41881.6	30506.8	37836.5
	75170.9	50766.1	36096.6	44906.6
	90979.0	60700.1	42343.9	52812.6
	108451.1	71677.5	49248.9	61548.6
	127587.2	83700.5	56811.5	71116.7
		96768.9	65031.7	81516.7
		110862.7	73906.6	92748.8



iii) Para tasa de crecimiento de carga de 4%.

	12373.7	11313.5	11279.0	13509.9
	18117.5	14922.3	13549.0	16361.9
	26158.9	19974.5	16727.0	20402.5
	36497.8	26470.3	20812.9	25572.0
	49134.2	34409.6	25806.8	31890.2
	64068.1	43792.4	31708.7	39357.2
	81299.6	54618.7	38518.6	47972.9
		66888.5	46236.5	57737.4
		80801.8	54882.4	68650.7
			64396.3	80712.7
			74838.1	93923.5
			86187.9	108283.1
				123791.4



Análisis de resultados.

- Como se espera de acuerdo a como crece la tasa de crecimiento de carga anual, las configuraciones llegan más rápido al límite operativo para una determinada carga inicial. De esta manera son menos los valores de carga inicial para los cuales en el tiempo de análisis establecido no se llega al límite operativo.
- De igual forma mientras la tasa de crecimiento de carga crece, los rangos de carga inicial entre los cuales una configuración es económica se estrechan notoriamente. Este estrechamiento se explica porque el efecto de incrementar la tasa de crecimiento de carga afecta en lo económico, en mayor proporción a las configuraciones de menor capacidad de carga que a las configuraciones de mayor capacidad.
- El calibre del conductor establece si se producen mas o menos pérdidas en las configuraciones, de esta forma para cada punto de carga inicial el efecto de una mayor tasa de crecimiento de carga es un mayor costo de pérdidas y por ende un mayor costo total, en definitiva este efecto determina una mayor pendiente en las curvas (Carga inicial vs. Costo total), y de esta forma el efecto general por efecto de una mayor tasa de crecimiento de carga, es que los rangos de carga inicial en los que una configuración es más económica que otra disminuyen.
- Para estos ejemplos la tendencia general es que la configuración [2F x 1/0AWG], sea la más económica a lo largo del rango de cargas iniciales que se tienen en este grupo de configuraciones, esta tendencia se acentúa mientras la tasa de crecimiento de carga crece, pues para los casos de 0% y 2% de tasas de crecimiento de carga, para una carga inicial de 100KVA, resulta ser más económica la configuración [2F x 2AWG], de esta forma se mantiene la tendencia de que cargas iniciales menores son satisfechas por configuraciones de menor capacidad de carga, mientras para cargas iniciales mayores satisfacen económicamente configuraciones de mayor capacidad y además estos rangos de carga inicial se estrechan mientras la tasa de crecimiento de carga aumenta.

CAPÍTULO IV. MODELO DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ESCALONADA ECONÓMICAMENTE ÓPTIMA MEDIANTE EL USO DE LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA.

1. Consideraciones Generales.

En este capítulo se pretende establecer como solución a una curva de carga determinada un esquema escalonado de configuraciones en el tiempo, las cuales serán las que económicamente resulten menos costosas. Hasta el momento en el capítulo tres, se estableció como solución de una determinada curva de carga una sola configuración la cuál determina los menores costos de instalación y operación a lo largo del tiempo de análisis. Sin embargo es necesario considerar que una configuración que tendrá la capacidad de suplir una determinada carga en el futuro, inicialmente estará sub utilizada y tal vez el costo mayor de montar dicha configuración no resulte conveniente, mientras que inicialmente se podría suplir la carga con una configuración de menor capacidad y por tanto de menor costo de montaje, pero mientras la carga se incrementa en el tiempo las pérdidas de la configuración menor aumentarán, o tal vez esta configuración menor llegue a su límite operativo de funcionamiento, en estos casos convendrá cambiar a una configuración de mayor capacidad, pero el análisis económico desprenderá si nos conviene realizar este cambio de configuraciones o no, pues se deberá tomar en cuenta los costos representativos de desmontar una configuración menor y montar otra mayor.

2. Planteamiento del problema.

Se ha establecido el problema que se pretende analizar, en el capítulo uno de este trabajo se han determinado las diferentes configuraciones de redes de distribución primaria que se tomarán en cuenta para el análisis, pero se deberán establecer grupos de configuraciones entre las cuales se podrá realizar cambios de una configuración a otra, si bien el enfoque general incluye configuraciones de distribución primaria, básicamente el análisis se lo realiza en cuanto a redes de distribución y todos los elementos que lo sostienen, es decir postiería, aisladores, estructuras de soporte y tensores, este enfoque no incluye la posibilidad de cambiar de nivel de voltaje a la configuración, por que para dicho efecto se debería tomar en cuenta la sustitución de

transformadores y más dispositivos relacionados con el nivel de voltaje, de esta forma se restringe el análisis a tres grupos entre los cuales se podría efectuar el cambio de configuración.

a. Configuraciones a 6.3 kV de voltaje fase-fase.

- A. 2f x 4 AWG
- B. 2f x 2 AWG
- C. 2f x 1/0 AWG
- D. 3f x 4 AWG
- E. 3f x 2 AWG
- F. 3f x 1/0 AWG
- G. 3f x 2/0 AWG
- H. 3f x 4/0 AWG

b. Configuraciones a 7.6 kV Voltaje fase-neutro y 13.2 kV Voltaje fase-fase.

- A. 1f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- B. 1f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
- C. 1f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- D. 2f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- E. 2f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
- F. 3f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- G. 2f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- H. 3f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
- I. 3f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- J. 3f x 2/0 AWG y 1N x 2 AWG
- K. 3f x 4/0 AWG y 1N x 1/0 AWG

c. Configuraciones a 13.2 kV Voltaje fase-neutro y 23 kV Voltaje fase-fase.

- A. 1f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- B. 1f x 2 AWG y 1N x 4 AWG

- C. 1f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- D. 2f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- E. 2f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
- F. 3f x 4 AWG y 1N x 4 AWG
- G. 2f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- H. 3f x 2 AWG y 1N x 4 AWG
- I. 3f x 1/0 AWG y 1N x 4 AWG
- J. 3f x 2/0 AWG y 1N x 2 AWG
- K. 3f x 4/0 AWG y 1N x 1/0 AWG

Cada configuración tiene diferente capacidad de transmisión y por ende diferente capacidad de suplir carga, es así que en cada caso para una máxima corriente de línea se podría ordenar las configuraciones en orden ascendente, de acuerdo a la mayor carga que se podría suplir, ese orden se tomo en cuenta para listar los grupos anteriores. De esta forma solo se puede establecer posibles cambios de configuraciones de una de menor capacidad a otra de mayor capacidad, esta es una forma natural de cambios que regirá el establecimiento de un procedimiento en la determinación de una estructura escalonada de configuraciones que satisfagan una curva de carga determinada. Posteriormente esta asunción permitirá establecer un proceso ordenado en la determinación de dicho escalonamiento.

Pero además se debe tomar en cuenta el límite operativo del conductor que forma la configuración, para determinar hasta cuando dicho conductor podría mantenerse en la red, este aspecto es considerado posteriormente en el análisis. Sin embargo cabe señalar que dicho tiempo dependerá de la curva de carga que se debe atender, la cual es:

$$I_n = I_o (1 + tc)^n$$

Donde :

I_n : Es la corriente máxima proyectada al año n de acuerdo al crecimiento considerado.(A)

I_o : Es la corriente máxima correspondiente al tiempo cero de construcción de la configuración. (A).

tc : Tasa de crecimiento anual de carga. (p.u.).

n : Año en el que se pretende determinar el valor de la corriente máxima de carga.

De esta forma el año en el que la configuración deja de ser útil por límite operativo será como se señaló antes cuando se llegue al 70% del límite térmico de corriente dado por:

$$n = [\ln(I_{\max} / I_0) / \ln(1+tc)]$$

Donde:

I_{\max} : 70% del límite térmico de corriente del conductor empleado.(A).

3. Programación dinámica [12].

Básicamente la programación dinámica resuelve el problema de optimización discretizando el problema original en una secuencia de problemas menores, y de esta forma reduciendo el problema de n variables a la resolución de un problema a la vez de una sola variable.

El problema puede dividirse en etapas o actividades, los cuales requieren de una política de decisión en cada una, por tanto serán n etapas.

Cada etapa tiene cierto número de estados asociados a esta, los cuales son función de la variable de decisión x_i , que será la cantidad de recursos asignados a dicha actividad.

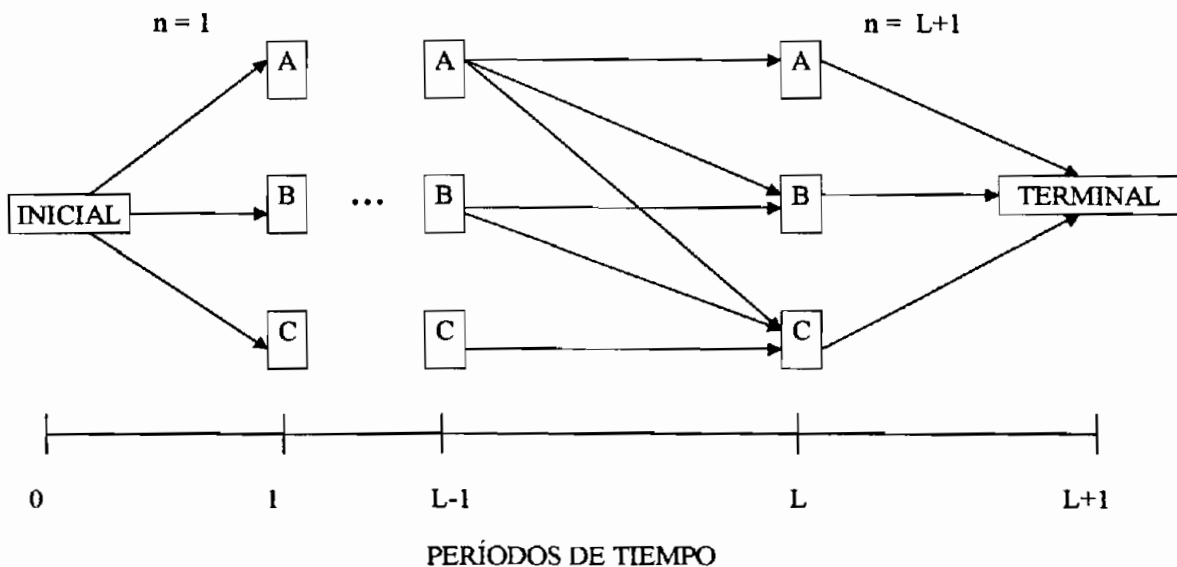
Es conocida la función $g_i(x_i)$, la cual establece la maximización o minimización según el caso, debido a la asignación de x_i recursos a la actividad i.

Una de las aplicaciones prácticas de la programación dinámica es la determinación de la ruta óptima a través de una serie de etapas con múltiples estados dentro de ellas, en nuestro caso la ruta más corta en cuanto a la minimización de costos será la alternativa que la programación dinámica aplique para determinar la alternativa escalonada óptima económica.

4. Estructuración del problema de selección escalonada.

Una vez establecidos los grupos de configuraciones entre las cuales se podría efectuar el cambio para optimizar económicamente la instalación y operación de una parte de la red de distribución primaria, es necesario plantear el problema para que la aplicación del algoritmo de la ruta más corta sea factible.

Para dicho efecto es necesario generalizar el análisis a través de un ejemplo hipotético, en el cual se considera tres configuraciones A, B y C, ordenadas ascendentemente de acuerdo a la capacidad de carga que puede tomar una u otra configuración, estas configuraciones como en el caso real presentan las siguientes características de cambio de una configuración a otra:



Descripción de los nodos que conforman la red:

- De esta forma se establece un nodo inicial en el año 0 del cual parten todos los caminos hacia un óptimo económico.

- Luego se establece en cada periodo de análisis tres nodos que es el número igual al de configuraciones posibles, este número será el mismo en todos los periodos de análisis excepto cuando se llegue a los límites de corriente en el tiempo, es así que para este efecto desaparecerán los nodos correspondientes a cada configuración que ha llegado a su límite operativo.
- De igual forma se establece un nodo de llegada que es el terminal, al cual confluyen todos los nodos posibles y que todavía pueden mantenerse sin llegar a su límite operativo.

Descripción de los arcos C_{ij} que unen los nodos que conforman la red:

- a. Costos C_{ij} en el primer período de análisis; $n = 1$.

Estos costos están definidos por el nodo de llegada así, sea este nodo X .

C_{ij} : Costos de instalar la configuración X a tiempo cero, mas Costo de pérdidas de la configuración X a lo largo del tiempo que dura el primer período en valor presente.

- b. Costos C_{ij} en los períodos desde 2 hasta (L) . (L tiempo de análisis).

En los períodos desde dos hasta (L) , de acuerdo a lo estructurado por la naturaleza de los nodos (X), solo existirá enlace entre nodos de menor capacidad a nodos de igual o mayor capacidad y nunca de nodos de mayor capacidad a nodos de menor capacidad. Es decir existirá arcos entre A y A , A y B , A y C , pero nunca existirán arcos de un nodo B a un nodo A por ejemplo. Esto por como están ordenadas las configuraciones.

- Si el arco C_{ij} une dos nodos de igual capacidad este incluye los siguientes costos:
 C_{ij} : Costo de pérdidas de la configuración X , a lo largo del período de análisis, en valor presente.
- Si el arco C_{ij} une dos nodos, uno de menor capacidad (X) a otro de mayor capacidad (Y), este incluye los siguientes costos:

C_{ij} : Costo de pérdidas de la configuración Y , en el período correspondiente al cambio, en valor presente, más el costo de cambio de una configuración X a otra configuración Y , en el instante que caracteriza al nodo de partida, esto en valor presente. Este costo de cambio esta detallado en el capítulo dos sección 4.2.

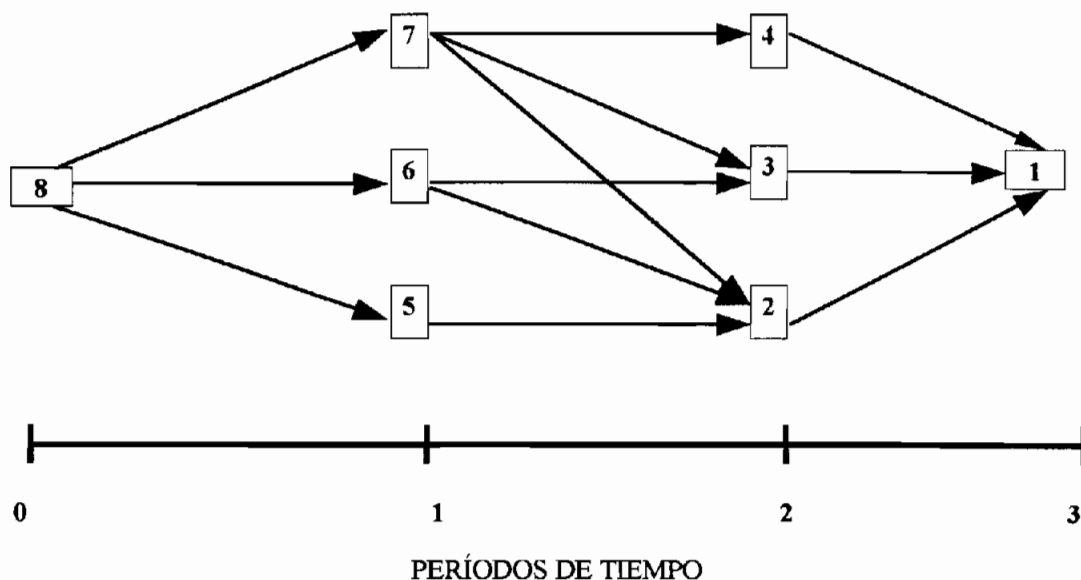
c. Costos C_{ij} en el período final, período $L+1$.

Estos costos estarán determinados por el nodo de partida, pues si el caso es un nodo de partida (X) esto significa que viene montado una configuración X .

C_{ij} : Costo residual de la configuración X al inicio de este período que representa el instante final del tiempo de análisis, que se refiere al valor residual del material montado en la configuración al final del tiempo de análisis, de igual forma en valor presente, estos costos están detallados en el capítulo dos sección 4.1.

Es importante señalar en este punto, en el que todas las características que describen la red a ser optimizada están detalladas, como incluir la condición de que las configuraciones puedan llegar a un límite operativo de funcionamiento y que posterior a ese instante no se puede mantener la red con tal o cual conductor, el inconveniente radica en que de acuerdo a la curva de carga considerada se llega mas o menos pronto a un límite operativo, se asume que cabe la posibilidad de que un conductor pueda llegar a su límite en un instante intermedio entre dos etapas de análisis, es así que si esto ocurre se anulan todos los nodos que en el instante de análisis posterior al momento de llegar al límite operativo plantean la posibilidad de mantener dicha configuración. En el ejemplo planteado se puede asumir que entre dos instantes de análisis cualquiera t_1 y t_2 , se llega al límite operativo de la configuración A por ejemplo, si este es el caso desde el instante t_2 en adelante se deberían eliminar todos los nodos que sean de la forma (A), de igual forma los arcos que parten o llegan a estos nodos en diferentes instantes de tiempo hacia el futuro desde t_2 .

En la siguiente red acíclica se establece un procedimiento que determinará la ruta más corta como solución.



Procedimiento:

1. Numere los nodos del 1 a n, tal que en un arco cualquiera (i,j) sea $i > j$. Esto se hace determinando el nodo terminal como 1 (este nodo debe tener solo arcos orientados a si mismo), retirar todos estos arcos orientados hacia 1, de esta forma estará determinado el nodo 2 como aquel que haga las veces de nodo terminal es decir tenga todos los arcos orientados hacia si mismo, de esta forma sucesivamente se enumerará los demás nodos del sistema hasta el nodo terminal, en este caso el nodo 8 [12].
2. El siguiente algoritmo determinará la ruta más corta[12].

$$y_1 = 0 \text{ (para nodo terminal)}$$

$$y_i = \text{Mín}_{(i, j < i)} [C_{ij} + y_j]$$

Para $i = 2, 3, 4, \dots, n$

En este ejemplo los lazos entre nodos C_{ij} , donde i es el nodo de partida y j es el nodo de llegada son:

$$C_{21} = 2; C_{31} = 3; C_{41} = 5; C_{52} = 8; C_{62} = 1; C_{72} = 4; C_{63} = 5; C_{73} = 2; C_{74} = 9; C_{85} = 1; C_{86} = 6;$$

$$C_{87} = 1$$

Aplicando este algoritmo a la red de ejemplo, tenemos.

$$y_1 = 0$$

$$y_2 = \text{Min} [C_{21} + y_1] = [2 + 0] = 2$$

$$y_3 = \text{Min} [C_{31} + y_1] = [3 + 0] = 3$$

$$y_4 = \text{Min} [C_{41} + y_1] = [5 + 0] = 5$$

$$y_5 = \text{Min} [C_{52} + y_2] = [8 + 2] = 10$$

$$y_6 = \text{Min} [(C_{62} + y_2); (C_{63} + y_3)] = \text{Min}[(1 + 2); (5 + 3)] = 3$$

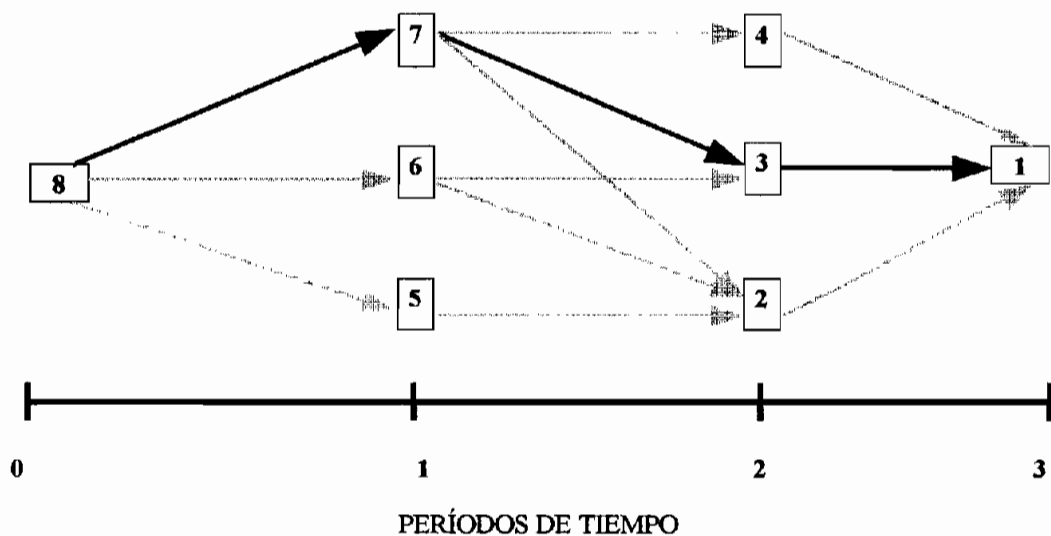
$$y_7 = \text{Min} [(C_{72} + y_2); (C_{73} + y_3); (C_{74} + y_4)] = \text{Min}[(4 + 2); (2 + 3); (9 + 5)] = 5$$

$$y_8 = \text{Min} [(C_{85} + y_5); (C_{86} + y_6); (C_{87} + y_7)] = \text{Min}[(1 + 10); (6 + 3); (1 + 5)] = 6$$

De esta forma la ruta mínima será:

8 - 7 - 3 - 1, para la cual la solución mínima es $y_8 = 6$

El siguiente gráfico establece la ruta mínima.



5. Metodología en la evaluación de la matriz de costos unitarios para las diferentes configuraciones de redes y posibles cambios entre ellas.

De acuerdo al enfoque planteado en este capítulo se ha diferenciado el análisis de acuerdo al nivel de voltaje que caracteriza tal o cual configuración, es así que se determinó tres grupos de análisis entre los cuales se pueden efectuar cambios de una configuración a otra entre configuraciones a 6.3kV, 13.2kV y 23kV fase-fase, de esta forma las matrices que permitirán evaluar una selección escalonada óptima económicamente en el tiempo se diferenciarán de acuerdo al nivel de voltaje.

La matriz que tendrá toda la información sobre la cual se aplicará el algoritmo de la ruta mas corta se identifica con la letra S, y esta matriz será la resultante de tres matrices previas, la matriz de costos de instalación que se identifica con la letra I, la matriz de costos de remoción o cambio que se identifica con la letra R y la matriz de costos de pérdidas que la se identifica con la letra P. De tal forma que:

$$S = I + R + P$$

Donde:

S : Matriz de costos para el análisis escalonado. (Dólar/Km).

I : Matriz de costos de instalación. (Dólar/Km)

R : Matriz de costos de remoción o cambio y valor residual.(Dólar/Km).

P : Matriz de costos de pérdidas.(Dólar/Km).

La teoría desarrollada en el capítulo dos permitirá la evaluación de todos los costos que forman parte de estas matrices, así como también el hecho de considerar todos los costos a un mismo instante de tiempo, que para el caso será el tiempo cero, es decir todos los costos estarán referidos a valor presente.

De acuerdo como ha sido planteada en el inciso cuatro de este capítulo, la red donde se aplica la ruta mas corta y establecidos tres grupos de estudio cada uno a diferente voltaje, para cada caso el orden de las matrices estarán determinados por el tiempo de análisis en años (L), pues se considera como período de estudio entre estados y estados de transición un año, así:

- Para configuraciones a 6.3kV, que son 8 diferentes configuraciones, el orden de acuerdo al planteamiento de la red del inciso cuatro es de $36 \times (L+1)$.
- Para configuraciones a 13.2kV, que son 11 diferentes configuraciones, el orden de acuerdo al planteamiento de la red del inciso cuatro es de $66 \times (L+1)$.
- Para configuraciones a 23kV, que son 11 diferentes configuraciones, el orden de acuerdo al planteamiento de la red del inciso cuatro es de $66 \times (L+1)$.

De esta forma se establece que las matrices distribuyen sus elementos en filas de acuerdo a la rama de transición de un estado a otro en la red de análisis, mientras que en columnas está determinado por los diferentes periodos de análisis, que para nuestro caso será de un año.

5.1. Matriz de costos de instalación.

En estas matrices constarán los costos totales de instalación de una configuración determinada en valor presente. Como se determinó el orden depende del tiempo de análisis y del voltaje el que determina si son ocho u once las configuraciones a tomarse en cuenta, de esta forma la estructura de la red planteada en el inciso cuatro de este capítulo establece dos casos.

Caso 1. Si las configuraciones a compararse son ocho, de tal forma el orden de la matriz I será $36 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento del inciso dos de este capítulo de acuerdo a la capacidad máxima de carga de cada configuración se tiene que serán A, B, C, D, E, F, G, H y se ordenarán así:

- Para la primera columna de la matriz $n = 1$, en las filas $m = 1, 9, 16, 22, 27, 31, 34, 36$ se ubicarán los diferentes costos de instalación de las determinadas configuraciones en orden ascendente a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero de análisis.
- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos de instalación de las configuraciones siguientes, para las filas:

$m = 2$. La configuración B.

$m = 3, 10$. La configuración C.

$m = 4, 11, 17$. La configuración D.

$m = 5, 12, 18, 23$. La configuración E.

$m = 6, 13, 19, 24, 28$. La configuración F.

$m = 7, 14, 20, 25, 29, 32$. La configuración G.

$m = 8, 15, 21, 26, 30, 33, 35$. La configuración H.

De igual forma cada costo de instalación se pone en valor presente a tiempo cero.

- Para los demás elementos de la matriz I su contenido será cero.

Caso 2. Si las configuraciones a compararse son once, de tal forma el orden de la matriz I será $66 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento del inciso dos de este capítulo de acuerdo a la capacidad máxima de carga de cada configuración se tiene que serán A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y se ordenarán así:

- Para la primera columna de la matriz $n = 1$, en las filas $m = 1, 12, 22, 31, 39, 46, 52, 57, 61, 64, 66$ se ubicarán los diferentes costos de instalación de las determinadas configuraciones en orden ascendente a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero.

- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos de instalación de las configuraciones siguientes, para las filas:

$m = 2$. La configuración B.

$m = 3, 13$. La configuración C.

$m = 4, 14, 23$. La configuración D.

$m = 5, 15, 24, 32$. La configuración E.

$m = 6, 16, 25, 33, 40$. La configuración F.

$m = 7, 17, 26, 34, 41, 47$. La configuración G.

$m = 8, 18, 27, 35, 42, 48, 53$. La configuración H.

$m = 9, 19, 28, 36, 43, 49, 54, 58$. La configuración I.

$m = 10, 20, 29, 37, 44, 50, 55, 59, 62$. La configuración J.

$m = 11, 21, 30, 38, 45, 51, 56, 60, 63, 65$. La configuración K.

De igual forma cada costo de instalación se pone en valor presente a tiempo cero.

- Para los demás elementos de la matriz I su contenido será cero.

5.2. Matriz de costos de remoción o cambio y valor residual.

En estas matrices constarán en la última columna (L+1) los valores residuales de las configuraciones en valor presente, al final del tiempo de análisis desarrollados en la sección 4.1. del capítulo dos, mientras que en las restantes columnas desde la dos hasta la L irán los costos de cambio desarrollados en el capítulo dos sección 4.2. en valor presente a tiempo cero. De igual forma se divide en dos casos dependiendo si son ocho u once las configuraciones a compararse, de esta forma se tiene.

Caso 1. Si las configuraciones a compararse son ocho, de tal forma el orden de la matriz R será $36 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento del inciso dos de este capítulo las configuraciones serán A, B, C, D, E, F, G, H y se ordenarán los costos de cambio y valores residuales así:

- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos de cambio de las configuraciones siguientes, para las filas:
 - $m = 2, 3, \dots, 8$. Cambio de A a B, de A a C, ..., de A a H.
 - $m = 10, \dots, 15$. Cambio de B a C, ..., de B a H.
 - $m = 17, \dots, 21$. Cambio de C a D, ..., de C a H.
 - $m = 23, \dots, 26$. Cambio de D a E, ..., de D a H.
 - $m = 28, \dots, 30$. Cambio de E a F, ..., de E a H.
 - $m = 32, 33$. Cambio de F a G y de F a H.
 - $m = 35$. Cambio de G a H.

Cada costo de cambio será puesto en valor presente a tiempo cero.

- Para la última columna de la matriz $n = (L+1)$, en las filas $m = 1, 9, 16, 22, 27, 31, 34, 36$ se ubicarán los diferentes valores residuales (con signo negativo) de las configuraciones en orden ascendente a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero A, B, C, D, E, F, G, H, respectivamente.
- Para los demás elementos de la matriz R su contenido será cero.

Caso 2. Si las configuraciones a compararse son once, de tal forma el orden de la matriz R será $66 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento del inciso dos de este capítulo de acuerdo a la capacidad máxima de carga de cada configuración se tiene que serán A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y se ordenarán así:

- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos de cambio de las configuraciones siguientes, para las filas:

$m = 2, \dots, 11$. Cambio de A a B, ..., de A a K.

$m = 13, \dots, 21$. Cambio de B a C, ..., de B a K.

$m = 23, \dots, 30$. Cambio de C a D, ..., de C a K.

$m = 32, \dots, 38$. Cambio de D a E, ..., de D a K.

$m = 40, \dots, 45$. Cambio de E a F, ..., de E a K.

$m = 47, \dots, 51$. Cambio de F a G, ..., de F a K.

$m = 53, \dots, 56$. Cambio de G a H, ..., de G a K.

$m = 58, \dots, 60$. Cambio de H a I, ..., de H a K.

$m = 62, 63$. Cambio de I a J, y de I a K.

$m = 65$. Cambio de J a K.

Cada costo de cambio será puesto en valor presente a tiempo cero.

- Para la última columna de la matriz $n = (L+1)$, en las filas $m = 1, 12, 22, 31, 39, 46, 52, 57, 61, 64, 66$ se ubicarán los valores residuales (con signo negativo) de las diferentes configuraciones en orden ascendente de acuerdo a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero.
- Para los demás elementos de la matriz R su contenido será cero.

5.3. Matriz de costos de pérdidas.

En estas matrices constarán los costos anuales de pérdidas de una configuración determinada en valor presente. Como se determinó el orden de las matrices depende del tiempo de análisis y del

voltaje del sistema el cual determina si son ocho u once las configuraciones a tomarse en cuenta, de esta forma la estructura de la red planteada establece dos casos.

Caso 1. Si las configuraciones a compararse son ocho, de tal forma el orden de la matriz P será $36 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento de acuerdo a la capacidad máxima de carga de cada configuración se tiene que serán A, B, C, D, E, F, G, H y se ordenarán así:

- Para la primera columna de la matriz $n = 1$, en las filas $m = 1, 9, 16, 22, 27, 31, 34, 36$ se ubicarán los diferentes costos de pérdidas anuales de las determinadas configuraciones en orden ascendente a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero.
- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos anuales de pérdidas de las configuraciones siguientes, para las filas:
 - $m = 1$. La configuración A.
 - $m = 2, 9$. La configuración B.
 - $m = 3, 10, 16$. La configuración C.
 - $m = 4, 11, 17, 22$. La configuración D.
 - $m = 5, 12, 18, 23, 27$. La configuración E.
 - $m = 6, 13, 19, 24, 28, 31$. La configuración F.
 - $m = 7, 14, 20, 25, 29, 32, 34$. La configuración G.
 - $m = 8, 15, 21, 26, 30, 33, 35, 36$. La configuración H.De igual forma cada costo de pérdidas anual se pone en valor presente a tiempo cero.

- Para los demás elementos de la matriz P su contenido será cero.

Caso 2. Si las configuraciones a compararse son once, de tal forma el orden de la matriz P será $66 \times (L+1)$, considerando el ordenamiento establecido basándose en la capacidad máxima de carga de cada configuración se tiene que serán A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K y se ordenarán así:

- Para la primera columna de la matriz $n = 1$, en las filas $m = 1, 12, 22, 31, 39, 46, 52, 57, 61, 64, 66$ se ubicarán los diferentes costos de pérdidas anuales de las determinadas

configuraciones en orden ascendente a la capacidad de carga, en valor presente a tiempo cero.

- Para las columnas $n = 2, 3, \dots, L$, irán los costos anuales de pérdidas de las configuraciones siguientes, para las filas:

$m = 1$. La configuración A.

$m = 2, 12$. La configuración B.

$m = 3, 13, 22$. La configuración C.

$m = 4, 14, 23, 31$. La configuración D.

$m = 5, 15, 24, 32, 39$. La configuración E.

$m = 6, 16, 25, 33, 40, 46$. La configuración F.

$m = 7, 17, 26, 34, 41, 47, 52$. La configuración G.

$m = 8, 18, 27, 35, 42, 48, 53, 57$. La configuración H.

$m = 9, 19, 28, 36, 43, 49, 54, 58, 61$. La configuración I.

$m = 10, 20, 29, 37, 44, 50, 55, 59, 62, 64$. La configuración J.

$m = 11, 21, 30, 38, 45, 51, 56, 60, 63, 65, 66$. La configuración K.

De igual forma cada costo de pérdidas anual se pone en valor presente a tiempo cero.

- Para los demás elementos de la matriz P su contenido será cero.

5.4. Matriz de análisis escalonado [11].

Como se indicó anteriormente esta matriz se obtiene como la suma de las matrices I, R y P, y se distinguen de manera general seis matrices diferentes S, correspondiendo a cada nivel de voltaje analizado, 6.3kV, 13.2kV y 23 kV y en cada caso considerando postera de hormigón y postera de madera, en total son seis diferentes matrices que contienen en sus elementos la red a la cual se le aplica la ruta mas corta para determinar la secuencia escalonada de configuraciones que permite establecer el costo mínimo a lo largo de un tiempo de análisis.

Cabe señalar que sobre las matrices S se aplica el algoritmo que permite restringir la posibilidad de sobrepasar límites operativos, esto determinado sobre la base de la carga inicial, tasa de crecimiento de carga, el año en que tal o cual configuración llega a su límite operativo, e

introduciendo en todos los elementos de la matriz S que de ahí para adelante en el tiempo incluirían esta configuración, un valor extremadamente grande, para que al momento de evaluar la ruta mas corta, estos costos exageradamente grandes introducidos adrede no permitan que tales configuraciones fuera de limite operativo entren en la solución.

6. Ejemplo.

Como ejemplo de este capítulo incluimos el siguiente caso.

Datos.

Voltaje	23kV.
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Años de análisis	30
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	7%
Carga inicial	200 KVA.

Las configuraciones que intervienen en esta selección son:

- 1 Fase conductor 4 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 1 Fase conductor 2 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 2 Fases conductor 4 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 2 Fases conductor 2 AWG y Neutro conductor 4 AWG

- 3 Fases conductor 4 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 3 Fases conductor 2 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 3 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
- 3 Fases conductor 2/0 AWG y Neutro conductor 2 AWG
- 3 Fases conductor 4/0 AWG y Neutro conductor 1/0 AWG

Resultados.

a. Posibles soluciones. Para el caso de configuraciones a 23 kV, las posibles soluciones serán once, de las cuales la menor determina la ruta mínima, de la gran cantidad de posibles soluciones que originalmente se pueden plantear, el algoritmo de la ruta mínima en la red establecida en este capítulo restringe las posibilidades al número de configuraciones que conforman este grupo. Se analiza dos soluciones posibles:

- Una solución determina el siguiente resultado:

Año Inicial	Año Final	CONFIGURACIÓN
1	30	3 Fase conductor 4/0 AWG y Neutro conductor 1/0 AWG

De las once soluciones esta es la más costosa representa [25916.3 Dólares], esta solución determina que la configuración de mayor capacidad en este grupo, sea la que se implemente en la red durante todo el tiempo de análisis. Esta solución no es óptima en este caso debido a que la carga inicial es relativamente baja, dando la posibilidad a configuraciones de menor capacidad de carga para servir con menores costos en un inicio. Este costo establece la siguiente solución escalonada.

- Otra solución determina el siguiente resultado:

Año Inicial	Año Final	CONFIGURACIÓN
1	20	2 Fase conductor 2 AWG y Neutro conductor 4 AWG
21	30	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

Esta solución intermedia determina [17618.7 Dólares], esta solución plantea un cambio de configuraciones en un año intermedio, se puede explicar el porque esta solución no es mínima basándose en que como se puede observar en la tabla a continuación presentada, este cambio se realiza entre configuraciones de diferente calibre de conductor de fase y este costo de cambio será mayor que otro entre configuraciones del mismo calibre de conductor y solo incremento del número de fases.

b. Solución óptima:

Año Inicial	Año Final	CONFIGURACIÓN
1	20	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
21	30	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

La solución mínima es [14693.2 Dólares], y representa el costo acumulado de una serie de configuraciones a lo largo del tiempo de análisis, que determina el óptimo económico para los datos señalados. Y establece como se muestra a continuación un cambio de configuraciones del mismo calibre de conductor, pero diferente número de fases.

Análisis de resultados.

- De acuerdo al planteamiento de la red a resolverse en este caso se pueden generar en la última decisión once alternativas de costos acumulados, existiendo soluciones entre las cuales no existe una diferencia sustancial con la mínima, básicamente la solución está alrededor de conjuntos de configuraciones que mantienen el conductor inicial simplemente incrementando el número de fases paulatinamente en el tiempo, con excepciones en las que la necesidad de un conductor de mayor capacidad de carga se requiere.
- La solución en general dependerá de los datos que caracterizan la curva de carga a suplir así como los años de análisis que se requiera, encontrando soluciones dentro de todas las posibles configuraciones o grupos de ellas.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

1. Sensibilidad en el caso individual.

Para el planteamiento del caso individual existen variables que determinan una incidencia importante en el cálculo de los costos implicados, este análisis de sensibilidad se fundamenta en la variación de variables para establecer la variación de resultados, en general para el caso individual los resultados se refieren al rango de carga inicial para el cual es más económico una u otra configuración, y utiliza el libro de cálculo GCVJ desarrollo de esta tesis como aplicación de la teoría desarrollada en la misma para realizar este estudio de sensibilidad.

Las variables de análisis de sensibilidad son determinadas de acuerdo a la teoría de costos desarrollados en el capítulo dos de este trabajo.

1.1. Sensibilidad respecto del vano medio de las configuraciones.

El vano para circuitos de distribución primaria para centros poblados es un vano reducido sobre el máximo para circuitos de este tipo, más exactamente el vano máximo está alrededor de los 200 metros para circuitos rurales, siendo el vano para circuitos de distribución primaria urbanos inferior a este valor [2].

Se toma un ejemplo aislado en el que se varía el valor de vano medio de las configuraciones y se puede comprobar que para los siguientes datos de estrada:

Vano 1	50 metros
Vano 2	45 metros
Voltaje	13.2 kV.
Tipo de conductor	ASCR
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2

Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Postería	Hormigón.
Años de análisis	30
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	5%
Configuración 1	3f x 2/0AWG + N x 2AWG.
Configuración 2	3f x 4/0AWG + N x 1/0AWG.

Los rangos de carga inicial entre los cuales la configuración 1 es menos costosa son:

Para vano 1: Hasta 600 KVA.

Para vano 2: Hasta 600 KVA.

De esto se concluye que la incidencia del valor del vano medio en cuanto al rango de carga inicial de resultado es mínima, mientras es conveniente acotar que respecto al costo total de resultado para una determinada carga inicial siempre será mayor mientras menor sea el vano, pues de esta forma el número de postes y por ende estructuras de suspensión son mayores.

Se puede concluir de los resultados, en este caso los rangos de carga inicial para diferentes vanos de las configuraciones, que no varían notoriamente producto de la variación del vano, es decir la sensibilidad es mínima respecto de esta variable.

1.2. Sensibilidad respecto del factor de pérdidas.

En cuanto del factor de pérdidas este será característica de la curva de carga y puede tener diferentes valores, la incidencia de este factor se analiza a través de la siguiente comparación de casos.

Se tiene los siguientes datos:

Factor de pérdidas 1	0.35
Factor de pérdidas 2	0.6

Factor de pérdidas 3	0.15
Voltaje	13.2 kV.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Postería	Hormigón
Años de análisis	30
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	5%
Configuración 1	3f x 2/0AWG + N x 2AWG.
Configuración 2	3f x 4/0AWG + N x 1/0AWG.

Los rangos de carga inicial entre los cuales la configuración 1 determina menores costos que los que determina la configuración 2 para los datos considerados son:

Para factor de pérdidas 1: Hasta 600 KVA.

Para factor de pérdidas 2: Hasta 550 KVA.

Para factor de pérdidas 3: Hasta 650 KVA.

De lo anterior se deduce que el rango de carga inicial entre los que la configuración 1 es más económica que la 2, decrece de acuerdo al aumento del factor de pérdidas, pero esto no significa que los costos para una determinada carga inicial decrecen por disminuir el valor del factor de pérdidas por que se puede comprobar en GCVJ que para un mismo valor de carga inicial y diferentes valores de factor de pérdidas el costo es mayor si mayor es este factor, lo que se puede deducir es que el rango de carga inicial disminuye al aumentar el factor de pérdidas porque las curvas que se generan van tomando mayor pendiente mientras mayor es el

factor de pérdidas, de esta forma el punto de corte entre las curvas resultantes se desplaza hacia atrás en el eje de las cargas iniciales.

1.3. Sensibilidad respecto del costo de demanda.

Este costo es determinado por la compañía de distribución y por esto es variable de acuerdo a condiciones establecidas anualmente, la variación de resultados se analiza a través del siguiente ejemplo de comparación.

Datos:

Costo demanda 1	250 Dólares
Costo demanda 2	350 Dólares
Costo demanda 3	150 Dólares
Voltaje	13.2 kV.
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Años de análisis	30
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	5%
Configuración 1	3f x 2/0AWG + N x 2AWG.
Configuración 2	3f x 4/0AWG + N x 1/0AWG.

Los rangos de carga inicial entre los cuales la configuración 1 determina menores costos que los que determina la configuración 2 para los datos considerados son:

Para costo de demanda 1: Hasta 600 KVA.

Para costo de demanda 2: Hasta 500 KVA.

Para costo de demanda 3: Hasta 675 KVA.

De igual forma que en el inciso anterior mientras se incrementa la variable, disminuye el rango de carga inicial, y el análisis realizado para el factor de pérdidas es el mismo para el costo de demanda y es el mismo para el costo de energía, y esta generalización se sustenta en la ecuación que determina el costo de la acumulación de pérdidas en la cual estas tres variables intervienen, ver inciso 2.1.2. del capítulo tres.

1.4. Sensibilidad respecto de la tasa de crecimiento de carga.

De los análisis de sensibilidad anteriores es evidente que se puede concluir que mientras la tasa de crecimiento de carga sea mayor, el efecto exponencial de la curva de carga en el costo de la acumulación de pérdidas será mayor es así que la curva que relaciona los costos totales vs. la carga inicial se verá afectada por este efecto, de esta forma los rangos de carga en los que una configuración de menor capacidad de carga es más económica que otra de mayor capacidad de carga será mayor. Más concretamente se dirá que los costos de instalación prevalecen ante los costos por acumulación de pérdidas cuando la tasa de crecimiento de carga es menor. Como ejemplo se tiene:

Datos:

Tasa de crecimiento de carga 1	3 %
Tasa de crecimiento de carga 2	6 %
Tasa de crecimiento de carga 3	9 %
Voltaje	13.2 kV
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15

Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Tiempo de análisis	30 años.
Tasa de descuento	10%
Configuración 1	3f x 2/0AWG + N x 2AWG.
Configuración 2	3f x 4/0AWG + N x 1/0AWG.

Los rangos de carga inicial en los que la configuración 1 es más económica que la 2, son:

Para tasa de crecimiento de carga 1: Hasta 750 KVA.

Para tasa de crecimiento de carga 2: Hasta 500 KVA.

Para tasa de crecimiento de carga 3: Hasta 300 KVA.

Así se ha comprobado lo anticipado.

2. Sensibilidad en el caso escalonado.

El resultado del caso escalonado es una serie de configuraciones que se intercalan en el tiempo siempre considerando los cambios de una configuración de menor capacidad a otra de mayor capacidad, las soluciones son variadas dependiendo de la curva de carga que se deba cumplir, se podría decir que el caso escalonado es consecuencia del caso individual y ciertas deducciones del caso individual se reflejan en los resultados de caso escalonado.

2.1. Sensibilidad respecto del vano medio.

El vano medio de las configuraciones determina el número de estructuras por kilómetro que se tendrá, y todos los costos de instalación se incrementarán cuando se reduzca el valor del vano por la mayor cantidad de estructuras a considerar, el valor del vano para este tipo de circuitos de

distribución se ha fijado en el inciso 1.1. de este capítulo, y se analiza la variación de resultados en el siguiente ejemplo.

Datos:

Vano medio 1	50 m
Vano medio 2	45 m
Voltaje	6.3 kV.
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Tiempo de análisis	30 años.
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	8%
Carga inicial	140 KVA.

Como resultados se toma un grupo de configuraciones entre las que se puede realizar cambios.

Para vano1:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	6	2 fases conductor 1/0 AWG
7	17	3 fases conductor 1/0 AWG
18	30	3 fases conductor 4/0 AWG

Para vano 2:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	6	2 fases conductor 1/0 AWG
7	17	3 fases conductor 1/0 AWG
18	30	3 fases conductor 4/0 AWG

Vemos que el efecto de modificar el vano en una cantidad pequeña no altera el resultado, es decir el resultado es poco sensible a la variación del vano.

2.2. Sensibilidad respecto de los años de análisis.

Los años de análisis determinan una mayor o menor influencia del costo por pérdidas de las configuraciones, se plantea el siguiente ejemplo de comparación de resultados para analizarse:

Datos:

Años de análisis 1	30
Años de análisis 2	20
Voltaje	6.3 kV.
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Tasa de descuento	10%
Tasa de crecimiento de carga	8%
Carga inicial	140 KVA.

Como resultados se toma un grupo de configuraciones entre las que se puede realizar cambios.

Para años de análisis 1:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	6	2 fases conductor 1/0 AWG
7	17	3 fases conductor 1/0 AWG
18	30	3 fases conductor 4/0 AWG

Para años de análisis 2:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	6	2 fases conductor 1/0 AWG
7	20	3 fases conductor 1/0 AWG

Estos resultados determinan la incidencia del tiempo de análisis en la solución escalonada, se puede observar que para la configuración [2 fases conductor 1/0 AWG], se mantiene el tiempo en que es económico su funcionamiento, mientras que para la configuración [3 fases conductor 1/0 AWG] este tiempo se ve prolongado hasta veinte años, la razón es que para el caso de la segunda configuración el menor número de años de análisis no permite que la tercera configuración [3 fases conductor 4/0 AWG] de mayor capacidad y menores pérdidas entre como parte de la solución económica. Es decir mientras mayor es el tiempo de análisis mayor es la incidencia de pérdidas, y por esto mientras mayor es el tiempo de análisis mayor es la posibilidad que una configuración de mayor capacidad entre a sustituir a otra de menor capacidad de carga.

2.3. Sensibilidad respecto de la tasa de crecimiento de carga anual.

El efecto del incremento de la tasa de crecimiento de carga es contrario al incremento de la tasa de descuento, el ejemplo que a continuación se presenta establece esta conclusión, que tiene concordancia con el caso individual.

Datos:

Tasa de crecimiento de carga 1	8 %
Tasa de crecimiento de carga 2	6 %
Tasa de crecimiento de carga 3	4 %
Voltaje	13.2 kV.
Postería	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Tasa de descuento	10 %
Años de análisis	30
Carga inicial	140 KVA.

Como resultados se toma un grupo de configuraciones entre las que se puede realizar cambios.

Para tasa de crecimiento de carga 1:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	15	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
16	20	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
21	30	3 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

Para tasa de crecimiento de carga 2:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	19	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
20	30	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

Para tasa de crecimiento de carga 3:

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	30	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

La tasa de crecimiento de carga anual tiene efecto directo sobre el costo de pérdidas, de esta forma mientras mayor sea la tasa de crecimiento de carga mayor será el costo por pérdidas y como este costo es más incidente en configuraciones de menor capacidad entonces mientras mayor sea la tasa de crecimiento de carga mayor será la posibilidad de incluir una configuración de mas capacidad de carga en la solución escalonada.

2.4. Sensibilidad respecto de la carga inicial.

La carga inicial de la configuración será una característica importante en la curva de carga a servirse, pues de esta forma serán mayores o menores las pérdidas para un año determinado, es así que la incidencia de la carga inicial de la curva de carga, en los resultados del caso escalonado es.

Si se tiene una carga inicial mayor que otra, esto incrementa la incidencia de los costos de pérdidas, siendo este costo más incidente en configuraciones de menor capacidad de carga, por tanto las configuraciones de mayor capacidad de carga tienen mayor posibilidad de incluirse en la solución escalonada o incluso cabe la posibilidad de que una configuración de mayor

capacidad de carga sea parte de la solución escalonada años antes del que es solución para una carga inicial menor.

El siguiente ejemplo de comparación comprueba nuestro análisis.

Datos:

Carga inicial 1	140 KVA.
Carga inicial 2	340 KVA.
Voltaje	13.2 kV.
Posteria	Hormigón.
Tipo de conductor	ASCR
Vano	50 metros
Frecuencia de estructuras de retención	0.15
Frecuencia de estructuras tangentes	0.7
Frecuencia de estructuras fin de línea	0.15
Frecuencia de estructuras tensor	0.2
Factor de pérdidas	0.35
Costo de demanda	250 Dólar/KW/año
Costo de energía	0.04 Dólar/KW-h
Tasa de crecimiento de carga	8 %
Tasa de descuento	10 %
Años de análisis	30

Como resultados se toma un grupo de configuraciones entre las que se puede realizar cambios.

Para Carga inicial 1.

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	15	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
16	20	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
21	30	3 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG

Para Carga inicial 2.

Año de entrada	Año de salida	Configuración
1	3	1 Fase conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
4	9	2 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
10	16	3 Fases conductor 1/0 AWG y Neutro conductor 4 AWG
17	30	3 Fases conductor 4/0 AWG y Neutro conductor 1/0 AWG

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El planteamiento del problema ha establecido la necesidad de elaborar un libro de cálculo para procesar la gran cantidad de datos, que representa establecer la comparación entre los costos incidentes en la construcción y operación de circuitos de distribución primaria, para determinar individualmente o en escalonamiento en el tiempo la o las configuraciones que satisfagan económicamente una curva de carga a lo largo de un tiempo de análisis.
- Dentro de los costos de instalación de una configuración, los costos de conductores son un factor importante especialmente en configuraciones que poseen calibres gruesos como son 2/0 y 4/0 AWG.
- La cantidad de estructuras de suspensión y tensores y la frecuencia en p.u. que cada una de ellas represente en la red es un factor importante en el costo por kilómetro de una configuración, de igual manera dependiendo de vano medio que se considere, el costo por kilómetro de las configuraciones variará radicalmente, pues este vano determinará la cantidad de postes y por ende la cantidad de todas las estructuras que constituyen la red.
- Para obtener resultados apropiados es necesario contar con la información más reciente en cuanto a costos, y con datos históricos suficientes que permitan establecer una proyección adecuada de las variables de entrada, como son tasa de descuento anual y curva de carga a servirse. De igual forma es conveniente establecer comparación con circuitos de distribución primaria consolidados de los cuales se podrían desprender los factores que determinan la frecuencia de estructuras de suspensión y tensores, así como el vano medio a considerarse, esto estableciendo similitud en cuanto al lugar donde se construirá la red.
- Los resultados del caso individual permiten establecer rangos de carga inicial para los cuales una configuración es más económica que otra, variando estos resultados de acuerdo a los datos que caractericen la red o la curva de carga a servirse, siendo la tendencia general que configuraciones de menor capacidad de carga sirvan económicamente cargas iniciales menores mientras configuraciones de mayor capacidad sirvan económicamente cargas iniciales mayores.

- El costo total de una configuración incluye dos cantidades de manera general, una de ellas es el costo de instalación de la configuración, el otro es el costo de la acumulación de pérdidas a lo largo de un tiempo de análisis, si se compara dos configuraciones, una de mayor capacidad de carga con otra de menor capacidad de carga, se puede establecer que el costo de instalación en proporción es más representativo en el costo total para la configuración de mayor capacidad de carga, mientras que respecto al costo de pérdidas ocurre lo contrario, es decir este costo en proporción es más representativo en la configuración de menor capacidad de carga, esto explica el porque la tendencia de variación que tiene el rango de carga inicial como consecuencia de modificar las variables.
- Se ratifica la necesidad de tomar en cuenta el crecimiento de la carga en el tiempo, con el objeto de evitar proyectar la carga a un instante determinado y establecer una configuración que la satisfaga, pues se puede sub utilizar la configuración con cargas iniciales bajas, al implementar configuraciones de gran capacidad en un inicio, o se puede errar al no tomar en cuenta que además de la necesidad de satisfacer una determinada carga se debe considerar el costo que representan las pérdidas producidas.
- En el caso escalonado, de manera general se puede establecer que para cargas iniciales pequeñas se tiene como solución económica en los primeros años configuraciones de menor capacidad de carga y para posteriormente sustituir esta configuración por otra de mayor capacidad de carga que la inicial. Mientras que para cargas iniciales grandes se tiene como solución económica mantener a lo largo de todo el tiempo de análisis una configuración de gran capacidad de carga, todos estos resultados dependen además de una tasa de descuento del dinero y una tasa de crecimiento de carga.
- Las soluciones económicas del caso escalonado que incluyen más de una configuración, suelen plantear el cambio de configuraciones de igual calibre de conductor pero diferente número de fases, se explican estas soluciones como óptimas económicamente, ya que los costos del cambio de configuraciones en estos casos son menores que otros.

- Los resultados del caso individual y del caso escalonado tienen concordancia entre sí, pues si como resultado del caso escalonado se tiene una sola configuración a lo largo del tiempo de análisis, se puede comprobar que para los mismos datos de costos, factores que constituyen la red, curva de carga y carga inicial, para el caso individual los resultados son iguales. Y para casos en que la solución escalonada determina más de una configuración durante el tiempo de análisis, el costo de la solución escalonada es menor que cualquier solución del caso individual de las configuraciones vinculadas, para una determinada carga inicial, siempre guardando márgenes razonables en las diferencias.

APENDICE A. DESCRIPCIÓN DEL LIBRO DE CÁLCULO GCVJ.

1. Características de GCVJ.

Este libro de cálculo fue realizado en el paquete EXCEL, y su funcionamiento se basa en el desarrollo de procedimientos y funciones a través del paquete de programación Visual Basic, así como en la elaboración de macros modificados y mejorados.

El objeto de este libro de cálculo es aplicar la teoría desarrollada en la tesis “Selección económica de la configuración de circuitos de distribución primaria”.

Básicamente este libro se divide en tres partes, las cuales efectúan aplicaciones diferentes, estas partes son:

- Base de datos, esta parte del libro permite modificar todos los costos referentes a la construcción, remoción y cambio de una configuración de distribución primaria, así como factores generales que caracterizan cualquier configuración y las pérdidas de la misma. Además presenta una tabla de costos por kilómetro de diferentes aspectos.
- Caso individual, esta parte es la aplicación de la selección de una determinada configuración de distribución primaria, sujeta a una tasa de crecimiento de carga, una tasa de descuento del dinero y un tiempo de análisis requerido, es decir la teoría desarrollada en el capítulo tres de esta tesis.
- Caso escalonado, esta parte es la aplicación de la selección de un sistema escalonado de configuraciones de distribución primaria, de igual forma sujeta a una tasa de crecimiento de carga, una tasa de descuento y determinados años de análisis. Es decir es la aplicación práctica de la teoría desarrollada en el capítulo cuatro de la tesis.

La barra de menús es modificada para que dentro de ella existan estas tres aplicaciones como menús disponibles, de igual forma se mantiene aplicaciones propias del EXCEL, como son

impresión, guardar y cerrar archivos, presentaciones, etc., y menús que no tiene uso en nuestro libro de trabajo son eliminados.

Este libro de trabajo puede ser abierto en versiones del EXCEL desde la 5.0 hasta OFFICE 97, sea este en inglés o español, para este efecto existen dos versiones diferentes, una hecha para EXCEL 5.0 con la codificación en español, así como una versión para OFFICE 97 con la codificación en inglés, la diferencia fundamental radica en las características diferentes entre estos dos paquetes, y siempre la versión para OFFICE 97 tiene mejores condiciones de presentación esto por sus utilidades mayores.

Este libro de trabajo es un archivo de EXCEL por tanto, su tamaño es 1.6 Mb para el caso de EXCEL 5.0 y de 3.1 Mb para el caso de OFFICE 97, de tal forma que comprimido puede entrar en un disquete de 3.5 pulgadas.

2. Estructura del libro de cálculo GCVJ.

Siendo GCVJ un archivo de EXCEL básicamente esta conformado por hojas de cálculo, hojas de gráfico, módulos de programa, hojas de diálogo, cada uno de ellos con las siguientes características.

2.1. Hojas de cálculo.

GCVJ, necesitó 26 hojas de cálculo.

Estas hojas pueden ser utilizadas para presentar resultados, mostrar objetos gráficos, realizar cálculos automáticamente o mediante codificación que habilita esta posibilidad cuando sea requerida como es nuestro caso, las hojas de cálculo están conformadas por celdas, las cuales contienen datos escritos sobre ellas manualmente o por codificación, así como funciones que ejecutan fórmulas o procesos, estas funciones pueden ser propias del paquete o desarrolladas por el usuario, además las hojas de cálculo tienen la posibilidad de contar con botones los cuales ejecutan procedimientos codificado o macros desarrollados. Para mayor información, revisar el manual de usuario del paquete EXCEL o la ayuda dentro de paquete.

2.2. Hojas de gráfico.

GCVJ, necesitó 1 hoja de gráfico.

Las hojas de gráfico tienen la posibilidad de presentar objetos gráficos, tal es el caso de pantallas o resultados gráficos que se actualizan automáticamente cada vez que se modifica el contenido de las celdas predeterminadas a las que el gráfico está referido. Para mayor información, revisar el manual de usuario del paquete EXCEL o la ayuda dentro de paquete.

2.3. Hojas de diálogo.

GCVJ, necesito 8 hojas de diálogo.

Estas hojas muestran en su interior un cuadro de diálogo que permite interactuar al usuario con el libro de trabajo, es decir se puede presentar mensajes a través de él, así como el ingreso de datos y la salida de resultados, para este efecto esta hoja dispone de objetos gráficos como son botones, cuadros de texto, cuadros de diálogo, listas, etc., los cuales caracterizan a la programación Visual Basic, pues cada uno de estos objetos tienen módulos en los cuales el usuario puede editar código a través de procedimientos para realizar acciones de diferente índole, de acuerdo a la necesidad. De igual forma estas hojas son llamadas a través de codificación. Para mayor información, revisar el manual de usuario del paquete Visual Basic.

2.4. Módulos.

GCVJ, necesitó de 15 módulos.

Los módulos tienen la capacidad de contener procedimientos y/o funciones y estos a su vez código a ejecutarse. Las funciones se llaman desde la celda donde estará su resultado de idéntica manera que las funciones propias de EXCEL, mientras que los procedimientos se llaman desde código o asignando el mismo o a un objeto gráfico. Para mayor información, revisar el manual de usuario del paquete Visual Basic o la ayuda disponible en el mismo.

2.5. Barras de menú.

Se modificó las barras de menú de acuerdo a la necesidad, pudiendo elaborar barras propias o modificando las existentes, para este caso se modificó dos barras de menú referentes a dos ambientes entre los cuales se moverá el libro de trabajo que son, la barra de menú de la hoja de cálculo y la barra de menú de la hoja de gráfico, en ambas se excluye menús innecesarios e incorporando los menús desarrollados para la aplicación de esta tesis. Las características de los elementos de un menú permite ejecutar procedimientos asignados a ellos. Para mayor información, revise el manual de usuario del paquete Visual Basic o la ayuda disponible en el mismo.

3. Descripción del libro de cálculo GCVJ.

3.1. Descripción de la base de datos.

3.1.1. Menú.

En la barra de menús, el menú Base de datos y el elemento de menú Ir base de datos, activa la opción de modificación de esta base.

En el menú Base de datos y el elemento de menú Costos por kilómetro resultantes de la base de datos, activa la hoja de cálculo TABLA que presenta esta lista de costos.

3.1.2. Hojas de cálculo.

- a. **DATOS.-** La base de datos es elaborada sobre una hoja de cálculo llamada DATOS, sobre la cual es factible modificar los siguientes aspectos.
 - Costos en dólares de cada elemento que conforma las estructuras de suspensión, diferenciadas por la configuración a la que constituyen, de acuerdo al nivel de voltaje y las fases, entre estas estructuras tenemos:

Estructuras de retención.

Estructuras fin de línea.

Estructuras tangentes.

- Costos en dólares de estructuras tensores, las cuales están diferenciadas de acuerdo a la configuración a la que constituyen.
- Costos en dólares de conductores, de acuerdo al calibre del mismo, es importante recordar que se refiere a cualquier tipo conductores de manera general, pues en particular el ejemplo original incluye costo de conductores del tipo ASCR..
- Costos en dólares de aisladores, de igual forma de acuerdo a la teoría se plantea el empleo de tres diferentes aisladores.
- Costos en dólares de postes, diferenciando entre portes tipo para cada configuración y entre postes de madera y hormigón.
- Costos en dólares de mano de obra, diferenciando entre costos en cuanto al montaje de una configuración y los costos al desmontaje de esta, y entre estos se diferencia en cada aspecto en cuanto el nivel de voltaje y la postiería utilizada para su constitución.
- Costos indirectos en dólares, esta incluye los costos de energía y demanda para el cálculo de pérdidas de cada configuración.
- Factores de cálculo, entre estos los que determinan la cantidad por kilómetro de postes, como es el caso del vano medio representativo de la configuración, así como otros que determinan la cantidad de las diferentes estructuras de suspensión, es decir determinarán del total de estructuras por kilómetro cuantas son de retención (fr) ó de fin de línea (ff) ó tangentes (ft), de esta forma la suma de estos tres factores deberá ser la unidad, otro factor que determina la cantidad de estructuras tensor que existen en la configuración por unidad de kilómetro es fT.

Controles de la hoja de cálculo DATOS.

- Esta hoja de cálculo presenta 9 botones, los cuales facilitan el movimiento dentro de ella para la modificación de los datos de la misma, entre estos:

Botón Menú. - permite retornar al menú principal.

Botón Estructuras de suspensión.

Botón Conductor.

Botón Aisladores.

Botón Postes.

Botón Estructuras tensores.

Botón Mano de obra.

Botón Factores de cálculo.

Botón Costos indirectos.

Estos ocho últimos permiten saltar dentro de la hoja a los costos respectivos de cada uno.

- Además esta hoja dispone del Botón Al Salir Actualizar, el cual permite luego de efectuadas modificaciones en esta hoja, actualizarlas dentro de las funciones y procedimientos del libro de trabajo, ejecuta el código del procedimiento MACRO1.

- b. TABLA.-** Todos los costos de la base de datos se procesan para determinar los costos por kilómetro de las diferentes configuraciones, que incluyen conductor, aisladores, estructuras, mano de obra y costos totales.

3.1.3. Procedimientos y funciones.

3.1.3.1. INGRESO DE DATOS.

Proced IRDATOS.

- Permite mostrar la hoja de cálculo DATOS.

Proced Cuadro1.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de estructuras de suspensión. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para

Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro2.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de conductores. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro3.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de aisladores. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro4.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de postes. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro5.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de estructuras tensor. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro6.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de mano de obra. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro7.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de factores de cálculo. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Cuadro8.

- Genera un cuadro de diálogo que pregunta si se desea modificar los costos de costos indirectos. Este cuadro de diálogo además de este texto dispone de dos botones, uno para Aceptar y lleva al lugar de la hoja DATOS donde se encuentran dichos costos, otro para Cancelar y devuelve el cursor al menú principal.

Proced Menu.

- Permite regresarse al menú principal y esta asignado a los botones en la hoja DATOS con la etiqueta de Menú.

3.1.3.2. EJECUCION.**Proced MACRO1.**

- Calcula luego de efectuar cambios en la hoja DATOS.
- Traspasa información de la hoja DATOS a la hoja COSTOS.
- Calcula en la hoja COSTOS.
- Llama al procedimiento lleind.
- Calcula en las hojas IND y ESC, para disponer de información actualizada de costos para los casos individual y escalonado.
- Llama al procedimiento deshab.

Proced lleind.

- Traspasa información de la hoja COSTOS a las hojas IND y ESC, para futuros cálculos en el caso individual y escalonado respectivamente.

Proced tablacostos.

- Este procedimiento genera sobre la hoja de cálculo TABLA, una tabla que contiene todos los costos por kilómetro de las configuraciones, entre los aspectos conductor, aisladores, estructuras, mano de obra y costos totales.

3.2. Descripción del caso individual.

3.2.1. Menú.

En la barra de menú se puede identificar esta alternativa como Caso Individual, el cual al desplegar muestra tres alternativas:

- Ingreso de datos, permite acceder al cuadro de diálogo(3) diseñado para este efecto.
- Resultados con postes de madera, permite acceder al cuadro de diálogo(6) diseñado para presentar resultados del caso individual con postes de madera.
- Resultados con postes de hormigón, permite acceder al cuadro de diálogo(7) diseñado para presentar resultados del caso individual con postes de hormigón.

3.2.2. Hojas de cálculo.

- IND.-** El caso individual se fundamenta en funciones que corren sobre las celdas de la hoja de cálculo IND, la cual cuenta con una sección donde se depositan todos los datos necesarios para correr las funciones de esta hoja de cálculo. Como resultado de esta hoja de cálculo se obtienen todos los puntos que son presentados en el caso individual para cada configuración y para cada carga inicial de análisis.
- AM.-** Los resultados del caso individual son una serie de puntos obtenidos en la hoja de cálculo IND que representan los costos acumulados en valor presente para cada carga inicial, estas series de puntos son diferenciados para cada configuración y para la diferente postiería utilizada en base de los datos tiempo de análisis, tasa de descuento y tasa de crecimiento de carga, lo que se hace posteriormente es ordenar adecuadamente estos

resultados de tal forma que AM es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 5 y 9 MVA en postiería de madera.

- c. **AH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 5 y 9 MVA en postiería de hormigón.
- d. **BM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 3 y 4 MVA en postiería de madera.
- e. **BH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 3 y 4 MVA en postiería de hormigón.
- f. **CM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 0 y 2 MVA en postiería de madera.
- g. **CH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 23kV y con carga límite entre 0 y 2 MVA en postiería de hormigón.
- h. **EM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 13.2kV y con carga límite entre 2 y 5 MVA en postiería de madera.
- i. **EH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 13.2kV y con carga límite entre 2 y 5 MVA en postiería de hormigón.
- j. **FM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 13.2kV y con carga límite entre 0 y 2 MVA en postiería de madera.
- k. **FH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 13.2kV y con carga límite entre 0 y 2 MVA en postiería de hormigón.

- l. HM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 6.3kV y con carga límite entre 1 y 2.5 MVA en postería de madera.

- m. HH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 6.3kV y con carga límite entre 1 y 2.5 MVA en postería de hormigón.

- n. IM.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 6.3kV y con carga límite entre 0 y 1 MVA en postería de madera.

- o. IH.-** Es una hoja de cálculo que presenta los resultados de configuraciones a 6.3kV y con carga límite entre 0 y 1 MVA en postería de hormigón.

3.2.3. Hojas de diálogo.

- a. Diálogo(3).-** Al mostrarse permite realizar el ingreso de datos del caso individual. El cual dispone de tres cuadros de edición, que permiten el ingreso de tres variables, Años de análisis entre uno y treinta años, Tasa de descuento anual entre uno y quince por ciento y Tasa de crecimiento de carga anual entre uno y doce por ciento. Además se cuenta con tres botones, Aceptar Cambios que acepta los datos ingresados y ejecuta, Ignorar Cambios que ignora cambios hechos antes de aceptar y reintegra los datos anteriores sobre los cuales existe resultados, y Cerrar que cierra el cuadro de diálogo en cualquier condición.

- b. Diálogo(6).-** El cual permite presentar los resultados con postería de madera, del caso individual. Para ello dispone de siete botones de opción, automáticamente excluyentes entre ellos, los cuales permiten escoger de entre tantas opciones los resultados del grupo de configuraciones que se desea mostrar.

- c. Diálogo(7).-** El cual permite presentar los resultados con postería de hormigón, del caso individual. Para ello dispone de siete botones de opción, automáticamente excluyentes entre ellos, los cuales permiten escoger de entre tantas opciones los resultados del grupo de configuraciones que se desea mostrar.

3.2.4. Procedimientos y funciones.

3.2.4.1. GENERAL.

Proced habind.

- Este procedimiento habilita los sub menús Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón del menú Caso Individual en las barras de menús utilizadas.

Proced IRINDIV.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(3) que permite el ingreso de datos del caso individual.

Proced IRdia6.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(6), para salida de resultados con postes de madera.

Proced IRdia7.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(7), para salida de resultados con postes de hormigón.

3.2.4.2. INGRESO DE DATOS.

Proced Botón2_AIHacerClic.

- Al mostrar el Diálogo(3) para ingreso de datos del caso individual, este es el procedimiento asignado al botón Aceptar Cambios, comprueba errores de datos en caso individual.
- Actualiza datos en hoja IND. Calcula en hoja IND con los datos nuevos.
- Llama a los procedimientos CREARTAB Y BLANCO.
- Calcula para actualizar gráficos asignados a las hojas de resultados de caso individual.
- Llama al procedimiento habind.

Proced Botón3_AIHacerClic.

- Es el procedimiento asignado al botón Ignorar Cambios en Diálogo(3), y devuelve a los cuadros de edición de este diálogo los datos sobre los cuales existe resultados para el caso individual.

Proced ERRORA.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para la tasa de descuento en el caso individual.

Proced ERRORB.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para la tasa de crecimiento de carga en el caso individual.

Proced ERRORC.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para el tiempo de análisis en el caso individual.

3.2.4.3. EJECUCION.**Función SM(tc, I, FP, CD, CE, CASILLA, KV, N, CIN, NFE, RJ, L, TA)**

- Esta función realiza los cálculos referentes a los costos acumulados de una configuración determinada para cada punto de carga inicial dentro de la hoja IND, para ello necesita los datos señalados entre paréntesis que son respectivamente; tasa de crecimiento de carga, tasa de descuento, factor de pérdidas, costo de demanda, costo de energía, carga inicial, voltaje, año de límite operativo, costo de instalación de la configuración, número de fases equivalente para pérdidas, resistencia del conductor por kilómetro, año de análisis, factor que depende de la configuración. Además esta función analiza si en el tiempo de análisis con los datos considerados tal o cual configuración sobrepasa el límite operativo y si lo hace introduce un valor de cero a la función.

Función BUS(Cas, T, V, LC, TA)

- Esta función determina el año en que una configuración llega al límite operativo, partiendo de los siguientes datos entre paréntesis y respectivamente, carga inicial, tasa de crecimiento de carga, voltaje, límite de corriente, factor que depende de la configuración.

3.2.4.4. SALIDA DE RESULTADOS.

Proced CREARTAB.

- Este procedimiento toma los resultados creados por la función SM en la hoja IND, y los ordena en diferentes hojas de resultados determinadas en la sección 3.2.2. de acuerdo a los grupos de configuraciones determinados allí.

Proced BLANCO.

- Una vez conformados los cuadros de resultados por el procedimiento CREARTAB, este procedimiento analiza que celdas en las respectivas hojas tienen valor cero, para eliminarlos y de esta forma estos valores cero no sean dibujados en las gráficas adjuntas a las tablas de resultados en cada hoja.

Proced Diálogo6_Botón2_AIHacerClic.

- Este procedimiento asignado al botón Aceptar del Diálogo(6) que permite presentar resultados con postería de madera en el caso individual, tiene código que escoge de acuerdo al botón de opción presionado para presentar el requerido resultado y no otro.

Proced Diálogo7_Botón2_AIHacerClic.

- Este procedimiento asignado al botón Aceptar del Diálogo(7) que permite presentar resultados con postería de hormigón en el caso individual, tiene código que escoge de acuerdo al botón de opción presionado para presentar el requerido resultado y no otro.

Proced AM, AH, BM, BH, CM, CH, EM, EH, FM, FH, HM, HH, IM, IH.

- Muestra la hoja de cálculo respectiva, AM por ejemplo, sus contenidos están señalados en la sección 3.2.2. de este apéndice.

3.3. Descripción del caso escalonado.

3.3.1. Menú.

En la barra de menús se puede identificar esta alternativa como Caso Escalonado, el cual al desplegar muestra tres alternativas:

- Ingreso de datos, permite acceder al cuadro de diálogo(4) diseñado para este efecto.
- Resultados con postes de madera, permite acceder al cuadro de diálogo(8) diseñado para presentar resultados del caso escalonado con postes de madera.
- Resultados con postes de hormigón, permite acceder al cuadro de diálogo(9) diseñado para presentar resultados del caso escalonado con postes de hormigón.

3.3.2. Hojas de cálculo.

- a. **ESC.-** El caso escalonado se fundamenta en procedimientos para realizar los cálculos que determinan un sistema de configuraciones escalonadas en el tiempo que satisfagan económicamente bajo una tasa de descuento, a una carga inicial sujeta a una tasa de crecimiento de carga durante un tiempo de análisis determinado, de ahí es que esta hoja de cálculo no contiene funciones en su interior sino solo datos que servirán a los procedimientos de este caso.
- b. **6.3MAD.-** Los resultados del caso escalonado es una tabla año a año de configuraciones que satisfacen económicamente bajo una tasa de descuento, a lo largo de un tiempo de análisis una carga inicial sujeta a un crecimiento de carga anual. Estos resultados son presentados en hojas de cálculo junto a los costos acumulados que representa las rutas que son posibles soluciones de las que es escogido el menor. 6.3MAD muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 6.3kV en postera de madera.
- c. **6.3HOR.-** Muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 6.3kV en postera de hormigón.
- d. **13.2MAD.-** Muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 13.2kV en postera de madera.
- e. **13.2HOR.-** Muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 13.2kV en postera de hormigón.

- f. **23MAD.-** Muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 23kV en postera de madera.
- g. **23HOR.-** Muestra los resultados del caso escalonado para configuraciones a 23kV en postera de hormigón.

Controles de las hojas de cálculos 6.3MAD, 6.3HOR, 13.2MAD, 13.2HOR, 23MAD, 23HOR.

- Estas hojas de cálculo presentan 7 botones, los cuales facilitan el movimiento dentro de ellas para la presentación de resultados, entre estos:

Botón IR MENU. - permite retornar al menú principal.

Botón CUADRO DE RUTAS.

Botón POSIBLES SOLUCIONES.

Botón COSTO MINIMO.

Botón SOLUCION ESCALONADA.

Botón LISTA DE CONFIGURACIONES.

Botón AYUDA.

3.3.3. Hojas de diálogo.

- a. **Diálogo(4).**- Al mostrarse permite realizar el ingreso de datos del caso escalonado. El cual dispone de cuatro cuadros de edición, que permiten el ingreso de cuatro variables, Tiempo de análisis entre uno y treinta años, Tasa de descuento anual entre uno y quince por ciento, Tasa de crecimiento de carga anual entre uno y doce por ciento, Carga inicial entre uno y dos mil KVA . Además se cuenta con tres botones, Aceptar Cambios que acepta los datos ingresados y ejecuta, Ignorar Cambios que ignora cambios hechos antes de aceptar y reintegra los datos anteriores sobre los cuales existe resultados, y Cerrar que cierra el cuadro de diálogo en cualquier condición.
- b. **Diálogo(8).**- El cual permite presentar los resultados con postera de madera, del caso escalonado. Para ello dispone de tres botones de opción, automáticamente excluyentes entre

ellos, los cuales permiten escoger de entre tantas opciones los resultados del grupo de configuraciones que se desea mostrar.

- c. **Diálogo(9).**- El cual permite presentar los resultados con postería de hormigón, del caso escalonado. Para ello dispone de tres botones de opción, automáticamente excluyentes entre ellos, los cuales permiten escoger de entre tantas opciones los resultados del grupo de configuraciones que se desea mostrar.

3.3.4. Procedimientos y funciones.

3.3.4.1. GENERAL.

Proced habesc.

- Este procedimiento habilita los sub menús Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón del menú Caso Escalonado en las barras de menús utilizadas.

Proced IRESCAL.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(4) que permite el ingreso de datos del caso escalonado.

Proced IRdia8.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(8), para salida de resultados con postes de madera.

Proced IRdia9.

- Este procedimiento muestra el Diálogo(9), para salida de resultados con postes de hormigón.

3.3.4.2. INGRESO DE DATOS.

Proced Diálogo4_Botón2_AIHacerClic()

- Al mostrar el Diálogo(4) para ingreso de datos del caso escalonado, este es el procedimiento asignado al botón Aceptar Cambios, comprueba errores de datos en caso escalonado.

- Actualiza datos en hoja ESC.
- Llama a los procedimientos, Mrem, Minst, Mperd, MatS, PonCero, RUTAMIN, Presen, TABLAS. Los cuales en conjunto ejecutan el caso escalonado y elaboran las hojas de resultados para el mismo.
- Llama al procedimiento habesc.

Proced Diálogo4_Botón3_AlHacerClic.

- Es el procedimiento asignado al botón Ignorar Cambios en Diálogo(4), y devuelve a los cuadros de edición de este diálogo los datos sobre los cuales existe resultados para el caso escalonado.

Proced ERROR1.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos tal que ninguna configuración llega al año de análisis sin antes haber llegado al límite operativo en el caso escalonado.

Proced ERROR2.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para la tasa de descuento en el caso escalonado.

Proced ERROR3.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para la tasa de crecimiento de carga anual en el caso escalonado.

Proced ERROR4.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para el tiempo de análisis en el caso escalonado.

Proced ERROR5.

- Este procedimiento crea un cuadro de diálogo que se muestra cuando existe un error de datos para la carga inicial de estudio en el caso escalonado.

3.3.4.3. EJECUCION.

Proced MatinsH.

- Este procedimiento crea las matrices INS, las cuales tienen en sus casillas los costos de instalación en valor presente de las configuraciones de acuerdo al nivel de voltaje en el caso de postera de hormigón.

Proced MatinsM.

- Este procedimiento crea las matrices INS, las cuales tienen en sus casillas los costos de instalación en valor presente de las configuraciones de acuerdo al nivel de voltaje en el caso de postera de madera.

Proced Minst.

- Este procedimiento llama los procedimientos MatinsH y MatinsM, de esta forma teniendo sus propiedades en conjunto.

Proced MatremH.

- Este procedimiento crea las matrices REM, las cuales tienen en sus casillas los costos de remoción y cambio en valor presente de las configuraciones de acuerdo al nivel de voltaje en el caso de postera de hormigón.

Proced MatremM.

- Este procedimiento crea las matrices REM, las cuales tienen en sus casillas los costos de remoción y cambio en valor presente de las configuraciones de acuerdo al nivel de voltaje en el caso de postera de madera.

Proced Mrem.

- Este procedimiento llama los procedimientos MatremH y MatremM, de esta forma teniendo sus propiedades en conjunto.

Proced Mperd.

- Este procedimiento crea las matrices PERD, las cuales tienen en sus casillas los costos de pérdidas anuales en valor presente de las configuraciones de acuerdo al nivel de voltaje.

Proced MatS.

- Este procedimiento crea las matrices SUMER, como la suma de las matrices INS mas REM mas PERD, de esta forma generando en sus casilla la red sobre la que debemos aplicar la ruta corta para determinar el camino mínimo económicamente, diferenciando grupos de configuraciones entre niveles de voltaje y postería.
- Además determina los años en que cada configuración llega al límite operativo de acuerdo a los datos de carga inicial y tasa de crecimiento de carga.

Proced PonCero.

- Este procedimiento trabaja sobre las matrices SUMER en base a los años límites de crecimiento de carga de cada configuración, ubica a partir de la columna adecuada y en las filas representativas de tal o cual configuración valores muy grandes de esta forma sacando estas posibilidades de la ruta óptima económicamente.

Proced RUTAMIN.

- Este procedimiento aplica el algoritmo de la ruta mínima a las matrices SUMER, de tal forma que se generan las matrices RST con todos los valores mínimos requeridos en este procedimiento y sobre las matrices RST se puede establecer la ruta óptima en base de la última solución que establece la primera configuración que se debe montar, para el costo acumulado mínimo en valor presente.

Función MIN2(A, B); MIN3(A, B, C);...;MIN11(A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, N).

- Estas funciones determinan el mínimo entre 2, 3, ..., 11 valores.

3.3.4.4. SALIDA DE RESULTADOS.**Proced Presen.**

- Este procedimiento traspassa los datos de las matrices RST a tablas en las hojas de resultados del caso escalonado señaladas en la sección 3.3 2. de acuerdo al nivel de voltaje y postes utilizados.

Proced TABLAS.

- A partir de las tablas generadas por el procedimiento Presen, se aplica un algoritmo que establece las diferentes configuraciones que conforman la ruta mínima resultante en cada caso y generan la tabla que la contiene.

Proced Diálogo8_Botón2_AIHacerClic.

- Este procedimiento asignado al botón Aceptar del Diálogo(8) que permite presentar resultados con postería de madera en el caso escalonado, tiene código que escoge de acuerdo al botón de opción presionado para presentar el requerido resultado y no otro.

Proced Diálogo9_Botón2_AIHacerClic.

- Este procedimiento asignado al botón Aceptar del Diálogo(9) que permite presentar resultados con postería de hormigón en el caso escalonado, tiene código que escoge de acuerdo al botón de opción presionado para presentar el requerido resultado y no otro.

Proced T63H, T63M, T132H, T132M, T23H, T23M.

- Estos procedimientos muestran las hojas de cálculo 6.3HOR, 6.3MAD, 13.2HOR, 13.2MAD, 23HOR, 23MAD respectivamente, sus contenidos están señalados en la sección 3.3.2. de este apéndice.

3.4. Descripción de elementos generales del libro de cálculo.**3.4.1. Menú.**

En la barra de menús se puede activar el menú GCVJ, y al desplegar esta se activa la opción Acerca de, la cual activa el Diálogo(2) con información sobre este libro de cálculo.

3.4.2. Hojas de cálculo.

- BLANCO.-** Esta hoja de cálculo contiene la carátula del libro en forma de cuadro de texto, la cual se muestra luego de cualquier proceso en el libro.

- b. **COSTOS.-** Esta hoja de cálculo es importante en este libro porque en ella se depositan todos los costos y factores de la base de datos, los cuales son procesados en sus celdas para determinar costos de instalación, pérdidas remoción y cambio, los cuales posteriormente son utilizados en los casos individual y escalonado.
- c. **WAIT.-** Esta hoja de cálculo se muestra cuando se esta procesando resultados y tiene en un cuadro de texto el mensaje “ESPERE UN MOMENTO”.

3.4.3. Hojas de diálogo.

- a. **Diálogo(1).-** Este diálogo se muestra automáticamente al abrir este libro de cálculo y tiene información sobre GCVJ. Además posee un botón que cierra el diálogo y que activa las opciones del libro de cálculo.
- b. **Diálogo(2).-** Este diálogo se muestra a través del sub menú Acerca de, del menú GCVJ, y tiene información adicional sobre el libro de cálculo y un botón Aceptar que lo cierra.

3.4.4. Procedimientos y funciones.

Proced Auto_Abrir.

- Este procedimiento tiene código en su interior que se ejecuta automáticamente al abrir el libro de cálculo, entre este código se deshabilita la opción de calcular automáticamente del EXCEL, así como deshabilita la opción calcular al guardar, además se llama el Diálogo(1) con información sobre el libro.

Proced Acerca

- Este procedimiento muestra el Diálogo(2) cuyo contenido fue detallado anteriormente.

Proced deshab.

- Este procedimiento es llamado al presionar el botón Al Salir Actualizar de la hoja de cálculo DATOS, que contiene la base de datos del libro, y deshabilita los sub menús

Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón de los menús Caso Individual y Caso Escalonado. De esta forma es obligatorio activar Ingreso de datos en ambos casos para actualizar los resultados al presionar Aceptar Cambios en los Diálogos(3) y (4).

Función Pot(base, espo)

- Esta función realiza la operación potencia entre una base y un exponente que son las variables que necesita de ingreso.

4. ¿Cómo utilizar el libro de cálculo GCVJ?

El libro de cálculo GCVJ se fundamenta en la barra de menús para su funcionamiento y a través de esta se puede desplazar a todas las aplicaciones elaboradas para esta tesis, la barra de menús se subdivide a su vez en menús y cada menú se subdivide en sub menú, la barra de menús de microsoft EXCEL se modificó para nuestra aplicación así:



Esta barra de menús mantiene algunas aplicaciones originales de microsoft EXCEL como son utilidades de impresión, edición, pantallas y otras propias del paquete que se pueden necesitar en GCVJ, además presenta nuevas aplicaciones desarrolladas para esta tesis. A continuación se describe cada aplicación elaborada para esta tesis, y su funcionamiento.

4.1. Base de datos.

- Para acceder a la primera opción se utiliza el menú Base de datos y en este el sub menú Ir Base De Datos. Al acceder a la base de datos se despliega el siguiente menú:

AL SALIR ACTUALIZAR
ESTRUCTURAS SUSPENSION
CONDUCTOR
AISLADORES
POSTES
ESTRUCTURAS TENSORES
MANO DE OBRA
FACTORES DE CALCULO
COSTOS INDIRECTOS

Descripción del menú.

AL SALIR ACTUALIZAR

Permite actualizar los datos modificados en la base, si no se ejecuta esta acción luego de realizados cambios, no se puede continuar correctamente.

ESTRUCTURAS SUSPENSION

Permite acceder a la sección de la base para este tipo de estructuras.

CONDUCTOR

Se debe modificar de acuerdo al tipo de conductor a utilizarse, a través de este botón se accede a la sección de la base que se refiere a este aspecto.

AISLADORES

Los aisladores en este tipo de estructuras son generalizados, este botón permite modificarlos.

POSTES

Dependiendo de las características de las configuraciones se diferencia la postería, además existen postes tipo, de madera y de hormigón.

ESTRUCTURAS TENSORES

Las estructuras tensores se diferencian de acuerdo al tipo de configuraciones.

MANO DE OBRA

Los costos de mano de obra incluyen una serie de aspectos en cuanto al montaje y desmontaje de este tipo de circuitos.

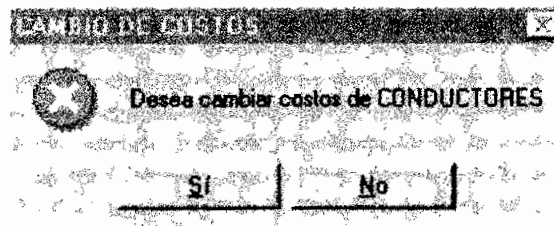
FACTORES DE CALCULO

Estos factores caracterizan las configuraciones y las pérdidas, además incluye el vano medio a considerarse.

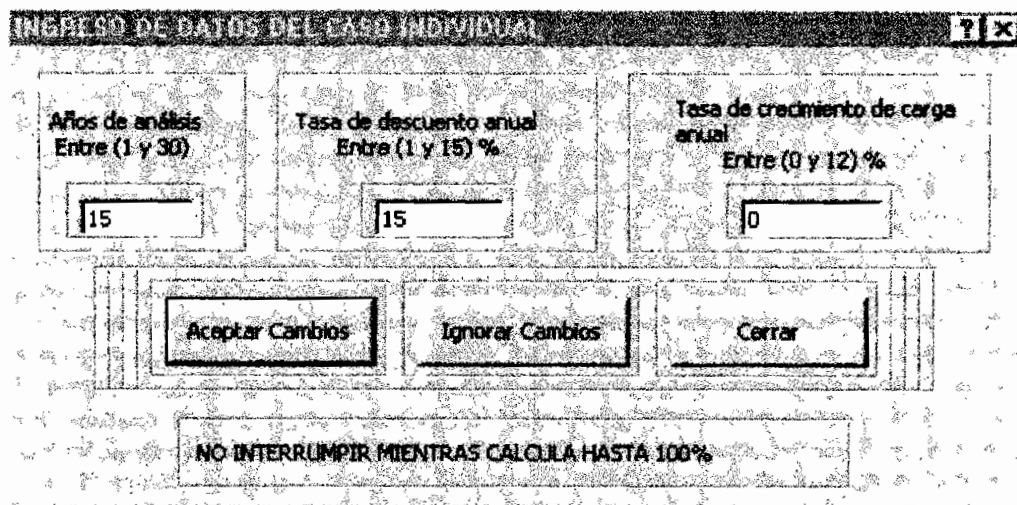
COSTOS INDIRECTOS

Se refiere a los costos de demanda y de energía, que se consideran para las pérdidas.

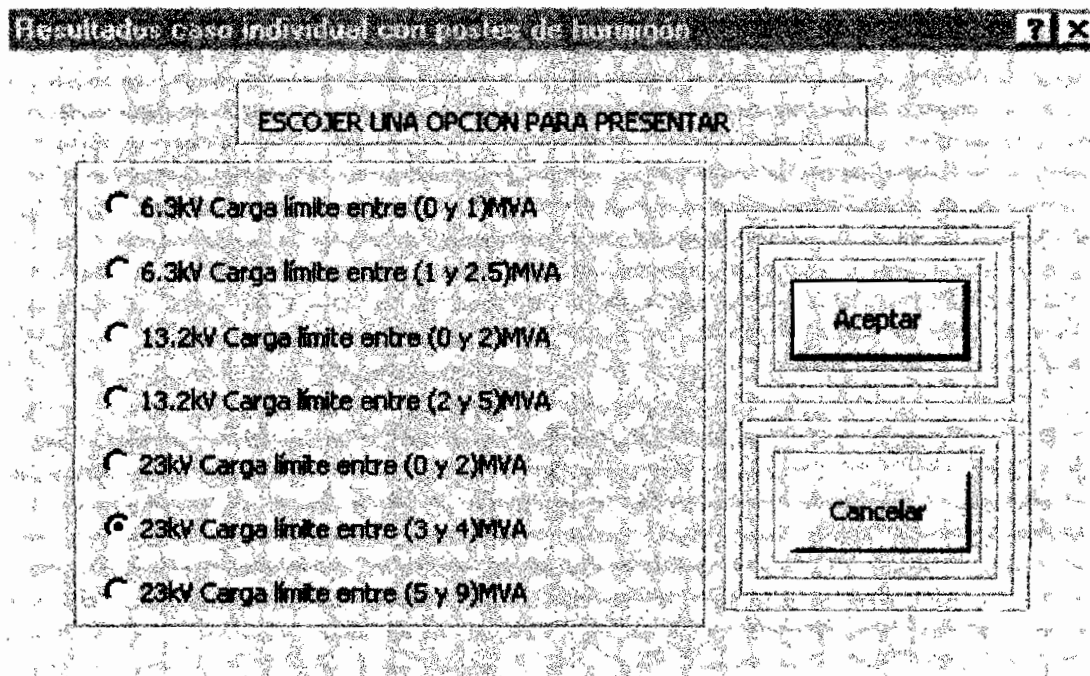
Los botones que están dispuestos para modificar la base de datos despliegan mensajes antes de acceder al lugar adecuado, este diálogo permite aceptar el procedimiento o cancelarlo, como ejemplo mostramos el cuadro de diálogo para el caso del botón CONDUCTOR.



- Si se presionó Al Salir Actualizar se deshabilitan los resultados del caso individual y escalonado en la barra de menús de esta manera es obligatorio correr Ingreso de datos y presionar Aceptar Cambios tanto en el caso individual como escalonado para contar con la actualización correspondiente y es este momento se habilitan los resultados.
- Si no se ha realizado modificaciones en la base de datos sino solo se ha revisado los mismos, se puede proseguir en los cálculos a través del menú Caso Individual o Caso Escalonado.
- Para acceder a la segunda opción se utiliza el menú Base de datos y en este el sub menú Costos por kilómetro resultantes de la base de datos, esta muestra la hoja de cálculo



- En los sub menús Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón simplemente a través de la hoja de diálogo que se muestra en cada caso seleccionar la alternativa que se quiere revisar, se incluye uno de estos cuadros de diálogo como ejemplo.



4.3. Caso Escalonado.

- Para acceder a esta opción se utiliza en la barra de menús el menú Caso Escalonado, y dentro de este los sub menús Ingreso de datos, Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón.
- En el sub menú Ingreso de datos se puede realizar modificaciones y para aceptar estos datos modificados se debe presionar Aceptar Cambios, si se realizó modificaciones y se quiere restituir los datos anteriores presionar Ignorar Cambios si se ha producido un error de datos cambiar los mismos y presionar Aceptar Cambios, nunca salir sin modificar los datos incorrectos y si se desea simplemente cerrar el diálogo presionar Cerrar, este cuadro de diálogo se muestra aquí.

INGRESO DE DATOS DEL CASO ESCALONADO

Tiempo de análisis (años enteros) Entre (1 y 30) años	30
Tasa de descuento anual Entre (1 y 15) %	15
Tasa de crecimiento de carga anual Entre (1 y 12) %	5
Carga inicial supuesta de análisis Entre (1 y 2000) KVA	75

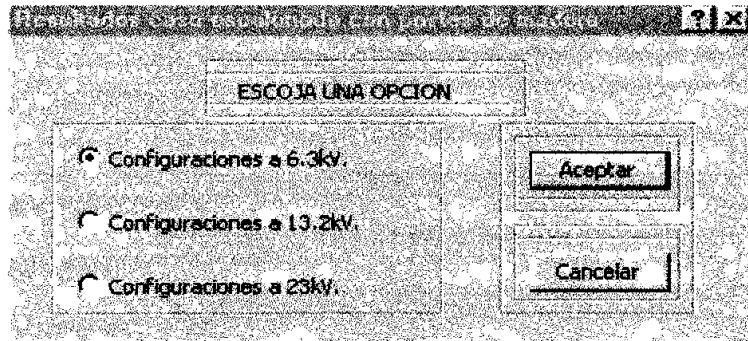
Aceptar Cambios

Ignorar Cambios

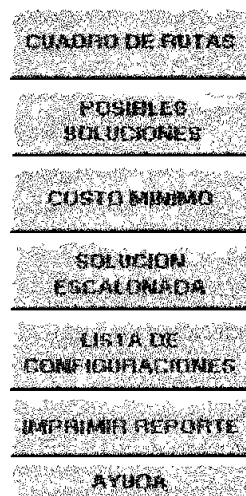
Cerrar

NO INTERRUPIR MIENTRAS CALCULA HASTA 100%

- En los sub menús Resultados con postes de madera y Resultados con postes de hormigón simplemente a través de la hoja de diálogo que se muestra en cada caso seleccionar la alternativa que se quiere revisar, uno de estos cuadros de diálogo se muestra a continuación. Este cuadro de diálogo tiene código que restringe a una alternativa a la vez la que se puede revisar al presionar Aceptar.



- Al Aceptar en este cuadro de diálogo, se abre una hoja de cálculo que contiene los resultados que se escogieron de las tres posibles alternativas. Al mostrar los resultados se despliega un menú, el cual permite moverse a través de los resultados, ayuda y reporte del caso escalonado que interese. Este menú se muestra a continuación:



Descripción del menú.

CUADRO DE RUTAS

Permite acceder al grupo de celdas donde se describen las ocho u once posibles rutas de solución de acuerdo al caso, la manera de leer este cuadro está en la AYUDA de esta hoja.

POSIBLES SOLUCIONES

Permite revisar los costos que representan las ocho u once posibles soluciones que se tengan de acuerdo al caso, incluyendo la mínima.

COSTO MINIMO

A través de este botón se accede a la celda que contiene el costo mínimo que determina la ruta escalonada de solución.

SOLUCION ESCALONADA

Este botón permite acceder a las celdas que determinan año tras año la o las configuraciones que establecen la solución escalonada respectiva.

LISTA DE CONFIGURACIONES

Permite revisar la descripción de las configuraciones que pertenecen a cada nivel de voltaje analizado. Así como el número asociado a cada una de ellas que lo caracterice en las respuestas.

IMPRIMIR REPORTE

Este botón permite imprimir un reporte sobre los resultados obtenidos para el caso aislado que se esté revisando.

AYUDA

La ayuda contiene información sobre la manera de leer el cuadro de rutas posibles que se detalló anteriormente.

ANEXO 1. Estructuras de suspensión y tensores.

a. Para sistemas monofásicos a 7.6 kV y 13.2 kV se presenta el siguiente listado:

a.1. Para estructuras tangentes

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Pieza de extensión para perno espiga de 19 mm	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple con 3 pernos	2
c/u	Arandela redonda para perno de 16 mm diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	2
c/u	Perno espiga corto, rosca 35mm diam., altura 203mm	1
Jgo.	Alambre de atar	2
Jgo.	Cinta de armar	2
c/u	Bastidor de pletina, 38x6 mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1

a.2. Para estructuras de retención.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Pieza de extensión para perno espiga de 19 mm	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple con 3 pernos	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, doble con 4 pernos	1
c/u	Arandela redonda para perno de 16 mm diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	2
c/u	Tuerca de ojo, 16mm diamtr.	2
c/u	Perno espiga corto, rosca 35mm diam., altura 203mm	1
c/u	Grapa terminal apernado	2
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diámetro	2
Jgo.	Alambre de atar	2

Jgo.	Cinta de armar	2
c/u	Conector paralelo de aluminio	3
Jgo.	Retenedor terminal preformado	2
c/u	Bastidor de pletina, 38x6 mm	2
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor doble	1

a.3. Para estructuras fin de línea.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple con 3 pernos	1
c/u	Tuerca de ojo, 16mm diamtr.	1
c/u	Grapa terminal apernado	1
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diámetro	1
c/u	Bastidor de pletina, 38x6 mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1
Jgo.	Retenedor terminal preformado	1

b. Para sistemas bifásicos (dos fases sin neutro), con voltaje de 6.3 kV

b.1. Para estructuras tangentes

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 60x60x6 mm x 1.2m con apoyo	1
c/u	Perno U, 16 m diam., 150x120mm, con dos tuercas y arandela	1
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm	2
c/u	Perno espiga corto, rosca 25mm diam. altura 152mm	2
Jgo.	Alambre de atar	2

Jgo	Cinta de armar	2
-----	----------------	---

b.2. Para estructuras de retención.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 60x60x6 mm x 1.2m con apoyo	2
c/u	Pletina de unión 75x9x402mm	2
c/u	Perno máquina, 50x13mm diam	8
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam, con 4 tuercas y arandela	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam.	8
c/u	Tuerca de ojo, 16mm diam.	2
c/u	Grapa terminal apernado	4
c/u	Horquilla de anclaje	4
Jgo.	Alambre de atar	2
c/u	Conector paralelo	2

b.3. Para estructuras fin de línea

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 60x60x6 mm x 1.2m con apoyo	2
c/u	Pletina de unión 75x9x402mm	2
c/u	Perno máquina, 50x13mm diam.	8
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	4
c/u	Tuerca de ojo, 16mm diam.	1
c/u	Grapa terminal apernado	2
c/u	Horquilla de anclaje	2

c. Para sistemas bifásicos, dos fases mas neutro, con voltajes de 13.2 y 23 kV.

c.1. Para estructuras tangentes.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	1
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	2
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5 mm, simple, con 3 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm diam.	2
c/u	Perno U, 16mm diam., 150x120mm, con dos tuercas y arandela	1
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm de diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm de diam.	2
c/u	Perno espiga corto, rosca 35mm de diam., altura 203 mm.	2
Jgo.	Alambre de atar	3
Jgo.	Cinta de armar	3
c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1

c.2. Estructuras de retención.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	2
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	4
c/u	Pletina de unión, 75x9x423mm	2
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5mm, doble, con 4 pernos	1

c/u	Perno máquina, 50x13mm de diam.	8
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam.con 4 tuercas y arandela.	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	8
c/u	Tuerca de ojo, 16mm. diam	2
c/u	Grapa terminal apernada	4
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	4
Jgo.	Alambre de atar	2
Jgo.	Conector paralelo de aluminio	2
c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina, para bastidor simple	1
Jgo.	Cinta de armar	1

c.3. Para estructuras fin de línea.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	2
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	4
c/u	Pletina de unión, 75x9x423mm	2
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm de diam.	8
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam.con 4 tuercas y arandela.	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam.	8
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	2
c/u	Tuerca de ojo, 16mm. diam	1
c/u	Grapa terminal apernada	2
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	2
Jgo.	Alambre de atar	2

c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1
Jgo.	Retenedor terminal preformado	1

d. Para sistemas trifásicos, sin neutro, con voltajes de 6.3 kV.

d.1. Para estructuras tangentes.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	1
c/u	Pie-amigo de hierro ángulo L, 50x50x6x1478mm	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple, con 3 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x16mm diam.	1
c/u	Perno U, 16mm diam. 150x120mm, con 2 tuercas y arandela	1
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm dia.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	4
c/u	Perno espiga corto, rosca 25mm diam., altura 152mm	3
Jgo.	Alambre de atar	3
Jgo	Cinta de armar	3

d.2. Para estructuras de retención.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta doble de hierro ángulo L, 75x75x8mm,x1.8m	2
c/u	Pie-amigo doble de hierro ángulo L, 50x50x6x1478mm	2
c/u	Pletina de unión, 75x9x418mm	3
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm	12
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam., con 4 tuercas y arandela	2

c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	12
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm diam.	4
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam	12
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	8
c/u	Perno espiga corto, rosca 25mm diam. , altura 152mm	3
c/u	Grapa terminal apernada	6
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	6
c/u	Conector paralelo de aluminio	3
Jgo.	Alambre de atar	3

d.3. Para estructuras de fin de línea.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta doble de hierro ángulo L, 75x75x8mm,x1.8m	2
c/u	Pie-amigo doble de hierro ángulo L, 50x50x6x1478mm	2
c/u	Pletina de unión, 75x9x418mm	3
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm	12
c/u	Perno máquina, 50x16mm	2
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam. , con 4 tuercas y arandela	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	12
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm diam.	4
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam	12
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	8
c/u	Grapa terminal apernada	3
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	3
c/u	Conector paralelo de aluminio	3
Jgo.	Alambre de atar	3

e. Para sistemas trifásicos con neutro, con voltajes de 13.2 y 23 kV.

e.1. Para estructuras tangentes.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	1
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	2
c/u	Pieza de extensión para perno espiga de 19mm diam	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple, con 3 pernos	2
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5 mm, simple, con 3 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm diam.	2
c/u	Perno U, 16mm diam., 150x120mm, con dos tuercas y arandela	1
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm de diam.	4
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm de diam.	3
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm de diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm de diam.	5
c/u	Perno espiga corto, rosca 35mm de diam., altura 203 mm.	3
Jgo.	Alambre de atar	4
Jgo.	Cinta de armar	4
c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1

e.2. Para estructuras de retención.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	2
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	4
c/u	Pletina de unión, 75x9x423mm	2
c/u	Pieza de extensión para perno espiga de 19mm diam.	1

c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple, con 3 pernos	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm de diam.	12
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam.con 4 tuercas y arandela.	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	16
c/u	Arandela redonda para perno de 16mm diam.	4
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam.	12
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	8
c/u	Tuerca de ojo, 16mm. diam	2
c/u	Perno espiga corto, rosca 35mm diam., altura 203mm.	1
c/u	Grapa terminal apernada	6
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	6
Jgo.	Alambre de atar	2
Jgo.	Conector paralelo de aluminio	3
c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina, para bastidor simple	1
Jgo.	Cinta de armar	1

e.3. Para estructuras fin de línea.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
c/u	Cruceta de hierro ángulo L, 75x75x6mm, x 1.8m	2
c/u	Pie de amigo de pletina, 38x5x616mm	4
c/u	Pletina de unión, 75x9x423mm	2
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple con 3 pernos.	1
c/u	Abrazadera de pletina, 38x5mm, doble, con 4 pernos	1
c/u	Perno máquina, 50x13mm de diam.	12
c/u	Perno espárrago, 254x16mm diam.con 4 tuercas y arandela.	2
c/u	Arandela redonda para perno de 13mm diam.	16

c/u	Arandela redonda para perno de 16mm diam.	2
c/u	Arandela de presión para perno de 13mm diam.	12
c/u	Arandela de presión para perno de 16mm diam.	6
c/u	Tuerca de ojo, 16mm. diam	1
c/u	Grapa terminal apornada	3
c/u	Horquilla de anclaje, largo 70mm, pasador 16mm diam.	3
Jgo.	Alambre de atar	3
c/u	Bastidor de pletina, 38x6mm	1
c/u	Abrazadera de pletina para bastidor simple	1
Jgo.	Retenedor terminal preformado	1

f. Para estructuras de tensor se ha considerado una estructura tipo, normalizada, detallada a continuación.

UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD
m	Cable de acero galvanizado, alta resistencia, 9mm de diam.	20
c/u	Aislador de retenida, clase ANSI 54-2(54-3 para 23 kV)	1
c/u	Guardacabo para cable de 9mm de diam.	1
c/u	Abrazadera de pletina, 50x6mm, simple, con 3 pernos	1
c/u	Mordaza para cable de 9mm de diam. , con 3 pernos de 16mm diam.	3
Cjto.	Brazo de tensor farol, con accesorios de fijación	1
c/u	Protector de cable tensor de lámina de acero, longitud 2.4m	1

REFERENCIAS BLIBIOGRÁFICAS.

- [1]. E.E.Q.S.A., "Normas para los sistemas de distribución", Partes A y B, Quito, 1979.
- [2]. Inecel, "Normas para la distribución", Unidades de construcción, Quito, 1980.
- [3]. E.E.Q.S.A., Listado de costos para adquirir equipo, Quito, 1997.
- [4]. E.E.Q.S.A., Listado de precios unitarios de mano de obra en sistemas de distribución, Quito, 1995.
- [5]. H. G. Thuesen, "Ingeniería económica", De. Prentice-Hall, 1986.
- [6]. López A. Marcelo, "Estudio general y análisis económico de conductores en líneas de transmisión con aplicación al Ecuador", Tesis E.P.N., Quito, 1966.
- [7]. Brito C. Jorge, "Estudio técnico económico de líneas de transmisión de 6.3kV a 46kV con programa digital", Tesis E.P.N., Quito, 1983.
- [8]. Westinghouse Electric Corporation, "Distribution system", U.S.A., 1959.
- [9]. Microsoft, "Manual del usuario de Visual Basic para EXCEL 5.0", EE.UU., 1994.
- [10]. Microsoft, "Manual del usuario de Visual Basic 3.0", EE.UU., 1995.
- [11]. Ing. Carlos Riofrío, "Apuntes de clase de distribución", 1997.
- [12]. Ing. Carlos Riofrío, "Apuntes de clase de optimización", 1997.