

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"EVALUACION DE LA CONFIABILIDAD DEL PROYECTO PAUTE
MEDIANTE EL CONCEPTO DE FRECUENCIA Y DURACION"

RENE VICENTE MORALES CARDOZO

TESIS PREVIA LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO ELECTRICO

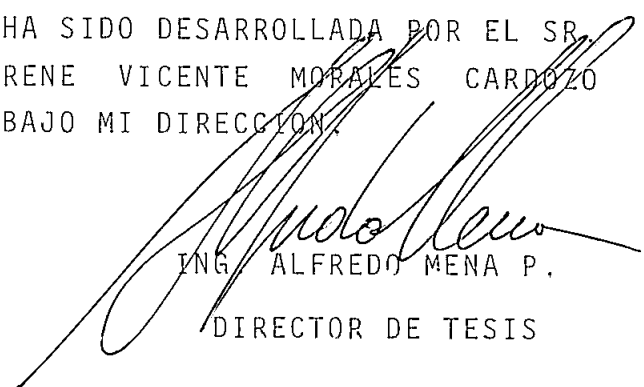
ABRIL DE 1.985

QUITO



CERTIFICACION

CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS
HA SIDO DESARROLLADA POR EL SR.
RENE VICENTE MORALES CARDOZO
BAJO MI DIRECCION.



ING. ALFREDO MENA P.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos al Ing. Alfredo Mena P. por sus acertados consejos y por todo el tiempo dedicado a la dirección de esta Tesis.



INDICE

	Pag.
INTRODUCCION	
CAPITULO I : DEFINICION DE LOS CRITERIOS DE CONFIABILIDAD	
1.1. Confiabilidad	1
1.1.1 Componentes reparables	2
1.2. Confiabilidad de sistemas de potencia	9
1.2.1 Planeamiento	9
1.2.2 Definiciones de salida	12
1.3. Evaluación de la reserva de capacidad de generación	16
1.3.1 Modelo de generación	19
1.3.2 Método de frecuencia y duración	21
1.3.3 Margen de la generación y carga	24
CAPITULO II : HIPOTESIS PARA LA CONSTRUCCION DEL MODELO	
2.1. Tipo de sistema	28
2.1.1 Sistema radial	30
2.2. Método	31
2.2.1 Técnica de la reducción de redes	31
2.2.2 Método de espacios de estado	31
2.3. Modelación de la carga	41

CAPITULO III: DEFINICION DEL SISTEMA PAUTE.

3.1. Descripción del proyecto	46
3.1.1 Descripción general del aprovechamiento	46
3.1.2 Generadores	47
3.1.3 Transformadores de elevación	48
3.1.4 Barras aisladas separadas	49
3.1.5 Equipo del patio de maniobras de 138KV	49
3.1.6 Líneas de transmisión	50
3.2. Diagrama del sistema	53
3.3. Listado de componentes	55
3.4. Tablas de salida	59

CAPITULO IV : MODELO DEL SISTEMA Y ALGORITMO

4.1. Conexión paralelo	65
4.1.1 Desarrollo de ecuaciones	65
4.1.2 Ejemplo de aplicación	72
4.2. Conexión paralelo de componentes iguales	75
4.2.1 Desarrollo de ecuaciones	75
4.2.2 Ejemplo de aplicación	80
4.3. Conexión serie	82
4.3.1 Desarrollo de ecuaciones	82
4.3.2 Ejemplo de aplicación	86
4.4. Algoritmo para realizar paso a paso - las operaciones	87

CAPITULO V : APLICACION DEL ALGORITMO Y EVALUACION DE RESULTADOS

5.1. Sistema de Prueba	95
5.1.1 Resultados del programa	95

5.1.2 Evaluación de resultados	118
5.2 Sistema Paute	118
5.2.1 Resultados del programa	118
5.2.2 Evaluación de resultados	135

APENDICES

APENDICE 1: Definición del sistema de prueba

APENDICE 2: Manual de uso de los programas.



INTRODUCCION

En estudios de confiabilidad, la meta es la evaluación de un sistema de potencia entero; es decir, generación, transmisión y distribución, determinándose en forma cabal sus índices de confiabilidad, que permitan ayudar ya sea, en el diseño o en planeación de sistemas.

Partiendo del estudio de Frecuencia y Duración de Confiabilidad de Sistemas de Generación realizado por Xifan Wang y Christopher Pottle, se ha construido un método de análisis de confiabilidad, el cual incluye todos los elementos de un sistema radial.

La teoría de este método está basado directamente sobre funciones de una variable aleatoria (capacidad), proveyendo un análisis y método de cálculos muy simple.

Con las fórmulas que se derivan utilizando esta nueva técnica, se permite el cálculo de índices de confiabilidad (específicamente probabilidad acumulativa y frecuencia de falla), sin requerir la información derivada de la transición de estados, como en el caso de análisis de confiabilidad por el método de espacios de estado, y, por la dificultad que presenta el mismo, su aplicación ha sido limitada.

En base a este estudio, el objetivo de esta investigación es hacer la evaluación de la Confiabilidad del Sistema Paute considerándolo como un sistema radial, me -

diante las probabilidades acumulativas y las frecuencias de falla.

El análisis que se realizará se limita a sistemas, los cuales son realizados por conexión de subsistemas radiales, es decir conformado por elementos series y paralelos.

Para lograr este objetivo se han realizado dos programas;

- El primero permite modelar la carga de un sistema de potencia, en base al modelo presentado en el trabajo "IEEE Reliability Test Systems", del IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, obteniéndose datos de probabilidad y frecuencia acumulativas para diferentes estados de carga,
- El segundo programa posibilita obtener los índices de probabilidad y frecuencia de falla de todo el sistema en estudio.

Con estos programas se evaluarán dos sistemas: el primero presentado en el trabajo antes mencionado, que permite la comprobación del funcionamiento del programa; el segundo sistema a ser analizado es el objeto de la tesis, consiste en la evaluación del sistema Paute en su parte radial, es decir estaría formado por: a) Generación con sus cinco unidades, b) Subestación Molino, c) Línea Paute-Milagro, d) Línea Milagro-Pascuales, e) Carga. Para la evaluación de este sistema se requiere hacer una simplificación en cuanto a la conformación de la subestación, esta será modelada de una manera radial.

Dado que el tiempo de funcionamiento del Paute es corto,

estadísticamente sus datos no son suficientes, razón -
por la que se obtendrá de los presentados por la IEEE -
para análisis de confiabilidad.

El programa desarrollado puede servir para analizar to
do tipo de sistemas compuesto por subsistemas radiales
cuyos elementos se encuentren en conexión serie y/o pa-
ralelo.

I C A P I T U L O
=====

DEFINICION DE LOS CRITERIOS DE CONFIABILIDAD

1.1. CONFIABILIDAD

La confiabilidad a la vez que es un concepto antiguo, - actualmente es considerado como una nueva disciplina. - Por mucho tiempo atrás se ha estimado, tanto a personas como a cosas, como confiables si ellas han logrado sobrevivir sobre el tiempo que se esperaba, y desconfiables si ocurría lo contrario. Una persona confiable, - nunca (o casi nunca) debería fallar en el rendimiento - que el ha prometido.

Se ha considerado que un aparato posee una "alta confiabilidad" si repetidamente ha cumplido con su función y, tiene una "baja confiabilidad" si ha tendido a fallar - en repetidas pruebas.

La definición clásica empleada para confiabilidad dice:

"Confiabilidad es la probabilidad de un dispositivo o de un sistema de desempeñar su función adecuadamente, por un periodo de tiempo determinado y bajo determinadas - condiciones de operación." /1/

Se puede apreciar que la confiabilidad está definida a través de un concepto matemático de probabilidad. El funcionamiento esperado puede ser muy diferente, según diferentes sean las aplicaciones.

La definición de confiabilidad dada, implica una manera particular de funcionamiento, donde un aparato es exitoso si no ha fallado durante el periodo de tiempo determinado. En este caso no se ha considerado la posibilidad de reparación luego de ocurrida la falla, de tal manera que retorne al servicio, y así indefinidamente.

En estos casos la confiabilidad debe ser expresada por una medida (o medidas) diferente de la expresada anteriormente, el índice utilizado es la disponibilidad, el mismo que se define como sigue:

"La disponibilidad de un dispositivo reparable es la proporción de tiempo (dentro de un proceso estacionario) - en que el dispositivo está en servicio o listo para el servicio." /1/

La disponibilidad es también una medida probabilística como se puede apreciar a continuación, al hacer un pequeño análisis para componentes reparables.

1.1.1. COMPONENTES REPARABLES

Se habla de un componente reparable, cuando la duración del tiempo de reparación no es despreciable. En realidad el tiempo de reparación es tratado como una variable aleatoria, la cual, junto con la representación del tiempo de operación describen el proceso de vida de un componente. Este proceso consiste de subidas y bajadas alternadas (T_u y T_d) como se puede apreciar en la Fig. 1.

Donde:

T_u = tiempo de funcionamiento

T_d = tiempo de reparación

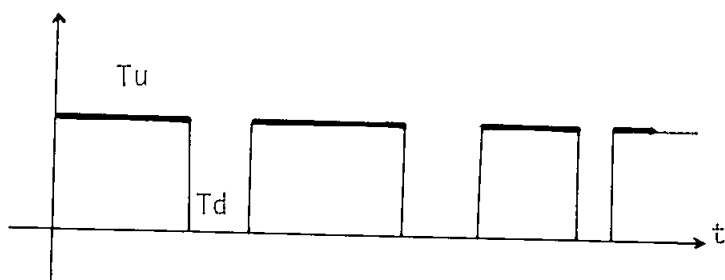


Fig. 1. Proceso de vida de componentes reparables.

Este proceso también puede ser ilustrado por la Fig. 2., en la que se presenta un diagrama que incluye los dos estados y las posibles transiciones entre ellos.

La historia de vida de un componente reparable está dada por dos distribuciones, $F_u(t)$ y $F_d(t)$, donde:

$F_u(t)$ = distribución de probabilidad acumulativa. (duración de la componente cuando se encuentra en estado de operación).

$F_d(t)$ = distribución de probabilidad acumulativa. (duración de los periodos de falla).

Estas dos distribuciones son necesarias para describir la confiabilidad de componentes reparables.

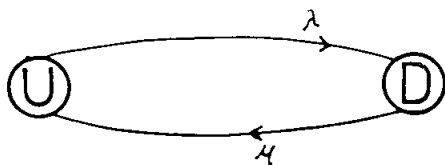


Fig. 2.

Donde:

U = estado de funcionamiento

D = estado de reparación

En las siguientes líneas, X_t nos indicará el estado en que se encuentra la componente (U o D) al tiempo t.

La probabilidad de encontrarse en el estado U es:

$$p_u(t) = p(\text{U en } t) = p(X_t=U)$$

La probabilidad de encontrarse en el estado D es:

$$p_d(t) = p(\text{D en } t) = p(X_t=D)$$

El tiempo medio a fallar (MTTF) está dado por:

$$M_u = \int_0^{\infty} t \frac{dF_u(t)}{dt} dt \quad (1).$$

El tiempo medio de reparación (MTTR) está dado por:

$$M_d = \int_0^{\infty} t \frac{dF_d(t)}{dt} dt \quad (2)$$

El tiempo medio entre fallas (MTBF) o periodo es:

$$MTBF = M_u + M_d \quad (3)$$

Por tanto, la disponibilidad A es:

$$A = \frac{M_u}{M_u + M_d} \quad y \quad (4)$$

la indisponibilidad \bar{A} es:

$$\bar{A} = 1 - A = \frac{M_d}{M_u + M_d} \quad (5)$$

Como los elementos de sistemas de potencia son considerados con funciones de distribución exponencial, se tiene:

$$F_u(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$F_d(t) = \mu e^{-\mu t}$$

Donde:

$$\lambda, \mu = \text{frecuencias de transición}$$

Si reemplazamos en las ecuaciones (1) y (2), obtenemos:

$$M_u = 1/\lambda$$

$$M_d = 1/\mu$$

Si estos valores reemplazamos en las ecuaciones (4) y (5), resulta:

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad y$$

$$\bar{A} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

Por lo general, a las componentes de un sistema, se las tiene sometidas a un programa de mantenimiento, en este caso, se presenta una variación en relación al análisis realizado para componentes reparables, la misma que se introducirá en los siguientes párrafos.

1.1.2. COMPONENTES REPARABLES CON MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las componentes reparables tienen una cierta frecuencia de falla, razón por la que son sometidas a un manteni -

miento preventivo, cuyo objetivo es obtener como resultado que el periodo de tiempo entre fallas se incrementa.

Hay varias maneras de modelar el mantenimiento de un componente reparable; el que se realizará no es un modelo que se ajusta perfectamente a la realidad, pero sin embargo nos da una buena indicación de su comportamiento.

Este modelo se lo obtiene utilizando los procesos de Markov, que consiste de tres estados, como se ilustra en la Fig. 3., que no es mas que una extensión del modelo de dos estados representado en la Fig. 2., la misma que describe a un componente reparable sin mantenimiento.

Los tres estados son:

N = estado normal de funcionamiento
 M = estado de mantenimiento
 R = estado de reparación

La Fig. 3. indica además las posibles transiciones entre los estados, manteniendo las siguientes consideraciones:

- Una falla no puede ocurrir durante el mantenimiento
- El mantenimiento no puede iniciarse durante la reparación;

es decir, debe cumplirse que:

$$p(X_{t+\Delta t}=R | X_t=N)$$

$$p(X_{t+\Delta t}=N | X_t=M)$$

Donde:

X_t = estado al tiempo t

$X_{t+\Delta t}$ = estado al tiempo $t+\Delta t$

En este caso, el tiempo entre mantenimientos consecutivos debe ser tomado como una variable aleatoria.

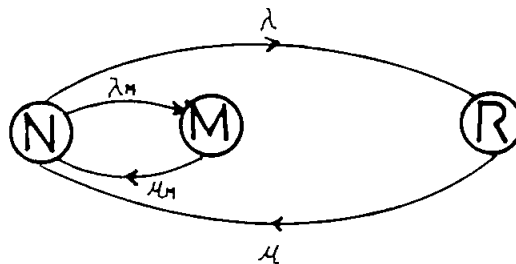


Fig. 3. Componente reparable con mantenimiento preventivo

Para obtener la solución a largo término (es decir, las probabilidades de los diferentes estados p_N , p_M y p_R - cuando $t \rightarrow \infty$), primeramente encontramos la matriz A de transiciones de estado:

$$[A] = \begin{array}{c} \text{de} \quad \text{a} \\ \begin{array}{c} N \\ M \\ R \end{array} \left[\begin{array}{ccc} N & M & R \\ -(\lambda + \lambda_M) & \lambda_M & \lambda \\ \mu_M & -\mu_M & \emptyset \\ \mu & \emptyset & -\mu \end{array} \right] \end{array}$$

Si la matriz A se reemplaza en la ecuación:

$$\emptyset = \bar{p} * [A] \quad /2/$$

Donde:

$$\begin{aligned} \bar{p} &= \text{vector de probabilidades de estado} \\ \bar{p} &= [p_N \quad p_M \quad p_R] \quad ; \end{aligned}$$

obteniéndose, un sistema de tres ecuaciones linealmente dependientes, por lo tanto se añade una cuarta ecuación:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad /2/$$

La solución obtenida es:

$$\begin{aligned} p_N &= \frac{\mu^* \mu_M}{\mu^* \mu_M + \lambda^* \mu_M + \lambda_M^* \mu} \\ p_M &= \frac{\mu^* \lambda_M}{\mu^* \mu_M + \lambda^* \mu_M + \lambda_M^* \mu} \\ p_R &= \frac{\lambda^* \mu_M}{\mu^* \mu_M + \lambda^* \mu_M + \lambda_M^* \mu} \end{aligned}$$

Bajo estas circunstancias, los conceptos de disponibilidad e indisponibilidad no pueden ser aplicados, sin embargo el comportamiento de una componente a largo término, sujeta a reparación y mantenimiento, puede ser descrita por las probabilidades p_N , p_M y p_R .

El concepto de indisponibilidad se ha extendido para el presente caso; el significado físico considera la relación entre la suma de los tiempos de reparación a lo largo de un periodo, y, la suma de todos los tiempos en servicio y en reparación. Los tiempos en servicio son las duraciones en las cuales, el componente está trabajando (por tanto, expuesto a fallas), y de esta manera no se incluye los tiempos de mantenimiento. La relación anterior es conocida como Tasa de Salida Forzada o FOR (Forced Outage Rate).

La suma de los tiempos en servicio y tiempos en reparación, son proporcionales a las correspondientes probabilidades de los estados, si el periodo considerado es extenso.

Por tanto, el FOR puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\text{FOR} = \frac{p_R}{p_N + p_R} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad , \quad (6)$$

que representa la indisponibilidad para componentes de dos estados (sin considerar mantenimiento).

Para componentes que están expuestos tanto a reparación como a mantenimiento, el p_R está dado por:

$$p_R = \frac{\lambda}{\lambda + \mu + \mu * \frac{\lambda_M}{\mu_M}}$$

si $\frac{\lambda_M}{\mu_M} \ll 1$

p_R sería una aproximación bastante cercana al FOR, en el caso de que se analice componentes con reparación y mantenimiento.

1.2. CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE POTENCIA

1.2.1. PLANEAMIENTO

Un sistema eléctrico de potencia se encuentra conformado por la generación, transmisión y sistema de distribución. Ultimamente la meta de estudios de confiabilidad, debe ser la evaluación de un sistema íntegro, y la de terminación cabal de índices de confiabilidad.

El número de componentes que intervienen, y sus numerosas y complejas interrelaciones, requieren de modelos analíticos muy complejos, que se encuentran lejos de ser resueltos sin un excesivo tiempo de computación y esfuerzo.

Un requerimiento primordial de un sistema eléctrico de potencia moderno, es poseer una razonable habilidad para satisfacer los requerimientos de demanda de carga.

Cada una de las partes de un sistema de potencia contribuye con sus propias dificultades al problema de satisfacer el requerimiento de la demanda.

Un sistema de potencia debe ser diseñado y planificado con facilidades de expansión, de tal manera que pueda - cumplir su función con un razonable riesgo. El riesgo - de interrumpir la potencia o disminuir su capacidad, - puede ser reducido si se provee de mayor redundancia en el mallado de transmisión, distribución (aumentar el número de líneas tanto de transmisión como de distribu - ción) y la reserva de capacidad de generación.

Las mayores áreas de un sistema de potencia son: genera ción, transmisión y distribución. En la determinación - de los índices de confiabilidad no se ha considerado un sistema de potencia completo, aunque conceptualmente es posible, la complejidad y dimensionamiento del mismo hacen que esta tarea sea impracticable en el presente. Sin embargo, esto se volverá factible en el futuro, mediante el desarrollo de técnicas de modelación y el incremento de velocidad y potencia de los computadores.

Un acercamiento a esta necesidad se presenta en el desa rrollo de esta tesis, mediante los conceptos de frecuen

cia y duración que se aplican a un sistema de potencia radial, el mismo que incluye generación, transmisión y carga, obteniéndose finalmente índices de confiabilidad de todo el sistema como un solo elemento.

Los estudios de confiabilidad de sistemas de potencia, pueden ser conducidos con dos propósitos:

- a) Evaluación de confiabilidad a largo plazo, que debe ser llevado a cabo para ayudar en el planeamiento a largo tiempo;
- b) Predicciones de confiabilidad a corto plazo, que sirven de ayuda en toma de decisiones día a día. Esta incluye obligaciones para la seguridad del sistema, donde son evaluados los efectos por perturbaciones súbitas.

Los dos tipos de estudios deben requerir modelos muy diferentes y análisis matemáticos.

El método para estudio a largo plazo ha sido desarrollado a un grado considerable, mientras que el método de confiabilidad a corto plazo, se encuentra todavía en un periodo de infancia.

Si se requiere aumentar la confiabilidad de sistemas de potencia, esta se puede efectuar usando un mayor número de componentes o diseñar un sistema con mayor redundancia. Si hablamos de redundancia en generación, esto significa la instalación de mayor capacidad de generación de la que normalmente se requiere, este exceso de capacidad es la reserva necesaria en casos de emergencia. Si se trata de redundancia en sistemas de transmisión, significa el incremento de enlaces entre estaciones que

deben ser garantizadas por fuertes cargas, o enlaces - que no se han requerido en el diseño básico; esta capacidad de transmisión extra debe, sin embargo, ser necesaria para evitar sobrecargas bajo condiciones de operación especiales.

Evidentemente, los conceptos de confiabilidad y reserva son mutuamente dependientes y, obviamente la confiabilidad y los costos de instalación de componentes adicionales, y, la operación del sistema también se encuentran interrelacionados.

Por razones de economía muchas de las unidades de generación de reserva permanecen en frío (estáticas), es decir se requiere de algún tiempo para que tales unidades puedan entrar en servicio. Desde el punto de vista de emergencia no siempre se tiene tiempo disponible para esto, razón por la que algunas de las unidades de reserva se encuentran en estado rotativo para proveer un servicio inmediato cuando se las requiera.

La diferencia de la reserva de generación con la redundancia en transmisión, es que la primera puede poseer - reserva tanto estática como rotativa, mientras que la segunda se encuentra usualmente en servicio todo el tiempo. /3/

1.2.2. DEFINICIONES DE SALIDA

Se considera un sistema de potencia como reparable cuando se encuentra conformado por componentes reparables. En sistemas reparables son de particular interés los efectos y duración de las componentes, y los estados de falla del sistema.

Un reporte del comité del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), nos presenta una clasificación de las fallas:

a) Salida e Interrupciones

Una salida, describe el estado de una componente cuando esta no se encuentra disponible para funcionar debido a algún evento directamente asociado con la misma; debe o no debe ser causa de una interrupción de servicio a los consumidores dependiendo de la configuración del sistema. Una interrupción es la pérdida de servicio a uno o más consumidores, y es el resultado de la salida de una o más componentes, dependiendo de la forma del sistema.

b) Clasificación de Salidas por efecto

- Una salida parcial describe un estado de la componente, donde la capacidad para llevar a cabo su función es reducida pero no completamente nula.
- Una salida total es aquella, donde la componente está completamente incapaz de cumplir su función. /5/

c) Clasificación de Salidas por causa

- Una salida forzada es aquella que resulta de condiciones de emergencia directamente asociadas con una componente, requiriendo que sea tomada fuera de servicio inmediatamente, ya sea automáticamente o tan rápido como se pueda realizar las operaciones de apertura de interruptores. También puede originarse por maniobras impropias del equipo o simplemente, por errores humanos.
- Una salida programada es aquella salida que se produce, cuando una componente es deliberadamente puesta -

fuera de servicio en un tiempo seleccionado, usualmente para propósitos de construcción, manteniendo preventivo o reparación. /4/

Una manera de ubicar una salida dentro de esta clasificación, es decir, si la salida es forzada o programada, consiste en deducir: si es posible diferir la salida, - cuando se ha deseado que ocurra tal retraso, es una salida programada, de otra manera es una salida forzada.

d) Clasificación de Salidas forzadas por duración

- Una salida forzada transitoria, es aquella, cuando cuya causa es eliminada inmediatamente, tal que la componente afectada pueda ser restaurada al servicio, ya sea automáticamente o tan rápido como pueda ser cerrado el circuito manualmente, o reemplazado el fusible.
- Una salida forzada permanente, es una salida cuya causa no es inmediatamente borrada, pero debe ser corregida por eliminación de peligro, o por reparación o -reemplazo de la componente afectada, con lo cual puede retornar al servicio. /4/

e) Clasificación de Interrupción por causa

- Interrupción forzada, es una interrupción causada por una salida forzada.
- Interrupción programada, es la que es causada por una salida programada. /4/

f) Clasificación de Interrupción por duración

- Interrupción momentánea, es aquella que tiene una duración limitada al periodo requerido para restaurar -el servicio, controlada por la operación de interrup-

tores automáticos u operación manual, en lugares donde un operador está disponible inmediatamente. Estas operaciones típicamente se las realiza en pocos minutos. /4/

- Interrupción temporal, es aquella que tiene una duración limitada al periodo requerido para restaurar el servicio por operaciones de interrupción manual en lugares donde el operador no está disponible inmediatamente. Estas operaciones se las realiza alrededor de una a dos horas. /5/

- Interrupción sostenida, se encuentra fuera de las dos anteriores. /4/

1.2.3. CONSTRUCCION DE MODELOS DE CONFIABILIDAD

Según el propósito con el que se realice un modelo analítico, hay ciertos factores que deben ser considerados en su desarrollo, en forma general estos son:

- Composición del sistema

El modelo elegido dependerá del número y variedad de componentes, y sus posibles estados de operación y falla.

- Criterio de falla del sistema

Esto depende de la porción del sistema de potencia - que se encuentra bajo estudio.

El hecho de que un sistema ha fallado por uno de los - criterios, no necesariamente significa que este se ha colapsado. Falla del sistema, simplemente indica una arbitraria condición seleccionada, basada en cual de los valores numéricos puede ser establecido para los índices de confiabilidad del sistema.

- Hipótesis en la modelación
Esto prácticamente establece las reglas del juego. -
Las suposiciones son hechas en diversas áreas como:
efectos del tiempo, carga del sistema, mantenimiento
planificado, fallas y estados reducidos de componen -
tes; también son requeridas aquellas como: qué efec -
tos, cantidades o estados pueden ser despreciados.

- Selección del método analítico
Esto depende del criterio de la persona que va a rea -
lizar el análisis, basándose en estudios y comparacion
es de varios métodos.

- Construcción del modelo
En esta actividad, se debe tomar propiamente en cuan -
ta todas las interacciones entre componentes y facto -
res ambientales tales como el tiempo, y la carga. Las
relaciones dependientes deben ser demostradas y apro -
piadamente incorporadas.

1.3. EVALUACION DE LA RESERVA DE CAPACIDAD DE GENERACION

Para simplificar la evaluación de la reserva de capaci -
dad de generación, se harán unas asunciones, las mismas
que parten de la porción del sistema a ser analizado.
En base a lo anteriormente expuesto, estas son:

- Solamente se incluyen las unidades de generación
- El resto del sistema es perfectamente confiable

Es decir, que el mallado de transmisión es capaz de -
transportar energía, desde un punto de generación a al -
guna configuración de carga, sin pérdidas, por tanto, -
el sistema está operando el tiempo en que hay disponi -

ble potencia generada para unirse con la demanda de carga. De este modo, el criterio por el cual falla o se mantiene exitoso un sistema, está dado por: si la potencia generada es igual o excede a los requerimientos de carga, el sistema se mantiene exitoso; caso contrario - ha fallado.

En cierto tipo de estudios de capacidad de generación, el valor básico determinado es la cantidad de capacidad de reserva instalada, requerida para mantener cierto - riesgo de incapacidad de alimentar a la carga en algún momento, bajo condiciones predeterminadas.

Estas investigaciones, por lo tanto, ayudan a la ingeniería de planeación de sistemas en la adición de unidades, para satisfacer la demanda de carga, de acuerdo a su crecimiento al paso del tiempo.

En otros estudios, se examina el riesgo de no alimentar algo de carga en el intervalo entre la falla de una unidad y el encendido de una de reserva; en este caso, la cantidad de reserva de operación (rotativa o unidad de encendido rápido) se determina manteniendo el riesgo bajo un nivel aceptable. Su resultado provee asistencia a la operación diaria de un sistema de potencia, funcionando de este modo la ingeniería de operación.

En investigaciones de reserva de capacidad instalada, - la disponibilidad de generación es contrastada con la demanda de carga, en las diferentes técnicas de evaluación, todas requieren de dos prototipos matemáticos, uno para los estados de generación y otros para las variaciones de carga en un sistema dado. El margen de la convolución de estos modelos, nos dá como resultado uno nuevo que abarca al sistema total, cuya solución provee

Los índices de confiabilidad requeridos.

Los diferentes modelos para la generación, y más aún, - para la carga del sistema, difieren grandemente en su - grado de sofisticación; los usados muy antiguamente son muy simples de acuerdo a las técnicas de confiabilidad desarrolladas hasta entonces; estos, se han ido refinando, como el desarrollado en frecuencia y duración por Ringlee y Wood en 1.968-69; el de múltiples niveles con factores de exposición, desarrollado por Billinton y Singh en 1.972.

En los métodos antiguos sólo se calculaba la probabilidad de falla; los modernos, proveen la probabilidad, - frecuencia y duración media de la falla. /12/

Habiendo mencionado anteriormente la definición de probabilidad de falla, la frecuencia de falla de muchos - sistemas durante su vida normal, sigue un patrón más o menos determinado. Durante el periodo inicial (periodo llamado de mortalidad infantil), la frecuencia de falla tiene un valor muy alto y además es decreciente con el tiempo. Esto se debe a la influencia de defectos de fabricación o a daños producidos en el transporte y montaje. Este valor tiende a estabilizarse en un valor constante durante el llamado periodo de operación, en el - cual las fallas son de carácter aleatorio y por tanto - impredecibles. El tercer periodo, que se caracteriza - por una frecuencia creciente de fallas, se denomina vejez o término de la vida útil. La causa de fallas en este periodo es el cansancio de los materiales y su deterioro debido a los esfuerzos a que estuvo sometido en los periodos precedentes. /1/

En cuanto a la duración media de la falla, está dada -

por la relación existente entre la probabilidad y frecuencia de falla.

1.3.1. MODELO DE GENERACION

El funcionamiento de una unidad de generación en realidad no puede ser descrito por un proceso de dos estados (en servicio o en reparación). Dichas unidades, son máquinas más complejas que, en presencia de fallas, estas pueden ser parciales, continuando su operación, a niveles de capacidad reducida, y debe tomarse en cuenta que cada cierto periodo, salen fuera de servicio para un mantenimiento preventivo.

El punto más importante que se requiere para el análisis de confiabilidad de sistemas de generación, es la probabilidad de falla de la unidad.

Si se asume un modelo simple de dos estados para la operación de la unidad, esta probabilidad de falla está dada por la indisponibilidad \bar{A} , la cual puede ser expresada en términos del grado o tasa de falla de la unidad λ y la tasa de reparación μ , como se indica a continuación:

$$\bar{A} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

El parámetro \bar{A} es una buena aproximación de la probabilidad de falla de la unidad, si se ha tomado en consideración el mantenimiento preventivo, ya que este no contribuye a la falla del sistema como se demostró anteriormente.

El método usual para encontrar la probabilidad de encontrar una salida parcial es, incrementar las horas de sa

lida, forzada en una apropiada cantidad de tiempo llamado "horas equivalentes de salida forzada". Esta duración se obtiene multiplicando las horas de salida por la correspondiente fracción de reducción de capacidad, y ese producto se suma a las horas de salida forzada. Por ejemplo: si una unidad está operando al 60% de su capacidad por un periodo de 80 horas, la duración equivalente de la salida forzada estará dada por:

$$(0.4) * 80h = 32 \text{ horas}$$

de esta manera, la tasa de salida forzada equivalente - EFOR puede ser definida como:

$$\text{EFOR} = \frac{\text{horas de salida forzada} + \text{horas de salida equiv}}{\text{horas en servicio} + \text{horas de salida forzada}}$$

/3/

donde, las horas en servicio incluyen al tiempo de salida parcial.

El uso del modelo del generador con la introducción del índice EFOR, es reducido; el modelo de la unidad con salida total, es decir, el de dos estados, es el más utilizado.

Por lo general, el modelo de generadores con salida parcial de multiestados, es usado en aplicaciones de estudios de reserva de operación; mientras que, el modelo de dos estados es usualmente utilizado para planeación de la reserva de generación.

El modelo de la unidad de dos estados, se encuentra explicado más detalladamente en el apéndice 1, incluyendo la formación de las tablas de salida.

El desarrollo del modelo de las componentes, correspon-

diente al sistema de transmisión, encaja exactamente con el modelo de generador explicado anteriormente.

1.3.2. METODO DE FRECUENCIA Y DURACION

El modelo de carga, usado en el método de "pérdida de carga", requiere la curva acumulativa de picos de carga diaria; como se indica en la Fig. 4., las variaciones de la carga en el día no son reconocidas. El valor obtenido por el LOLP (Loss of Load Probability), es una cruda aproximación a la verdadera probabilidad de falla de el sistema e impide el cálculo de la frecuencia.

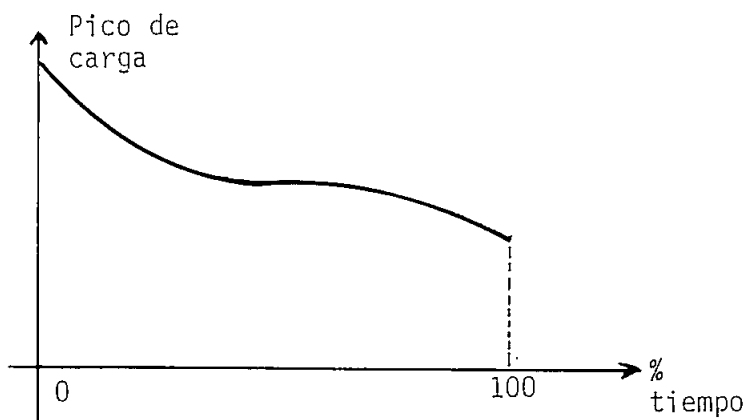


Fig. 4. Curva acumulativa de carga

Las fallas de un sistema pueden ocurrir de dos maneras: la una debido a la salida de una unidad y la otra, por incremento de carga. Los incrementos de carga pueden ocurrir cuando la capacidad es baja o cuando las unidades se encuentran en reparación, al no considerar la duración de estos periodos, no se puede obtener la frecuencia de la falla.

Consecuentemente, en el método de frecuencia y duración

La curva de carga acumulativa debe ser reemplazada por una que nos dé los datos cronológicos, o al menos se le aproxime.

El primer método para aproximar la curva de carga diaria, fue propuesto por Ringlee y Wood y es un modelo básico de dos niveles como se presenta en la Fig. 5.

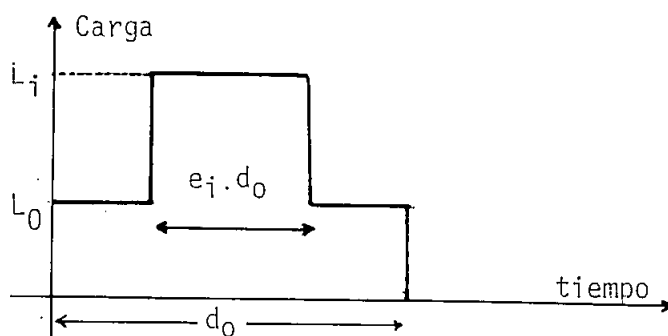


Fig. 5. Representación de dos niveles de la curva de carga diaria

El nivel L_0 es siempre el mismo, mientras que los picos de carga L_i pueden ser diferentes para cada día, ocurriendo en forma aleatoria; la duración del tiempo t_i del pico, está descrito por un factor de exposición:

$$e = \frac{t_i}{d_0}$$

donde, d_0 es la duración del ciclo de carga.

El factor e es considerado igual para todos los días y esta magnitud está variando entre 0 y 1.

En algunas aplicaciones, se requiere una mayor aproximación a la verdadera curva de carga, a esta se la conoce

como "curva de carga diaria de multiniveles".

Los modelos que se discutirán a continuación, aproximan la curva de carga en forma similar a la que se indica - en la Fig. 6.

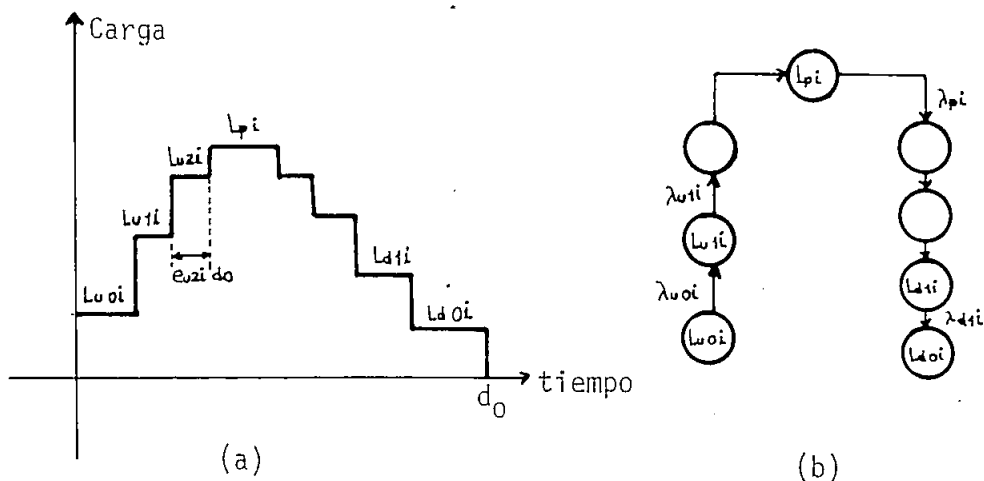


Fig. 6. Curva de carga diaria de multinivel
 a) Curva de carga
 b) Diagrama de espacios de estado

Donde:

L_{pi} = pico de carga

L_{uki} = niveles de lado ascendente

L_{dli} = niveles de lado descendente

λ_{uki} = tasa de transición = $1/e_{uki} * d_0$

existen varios tipos de estos modelos, dependen específicamente de dos factores: el primero es, si el nivel - bajo de carga puede ser asumido el mismo para cada día; el segundo, si la secuencia de la curva de carga diaria puede ser asumida aleatoria o mantener un orden prearreglado.

Varias de estas combinaciones se indican en la Fig. 7., estos gráficos por si mismos explican sus diferencias.

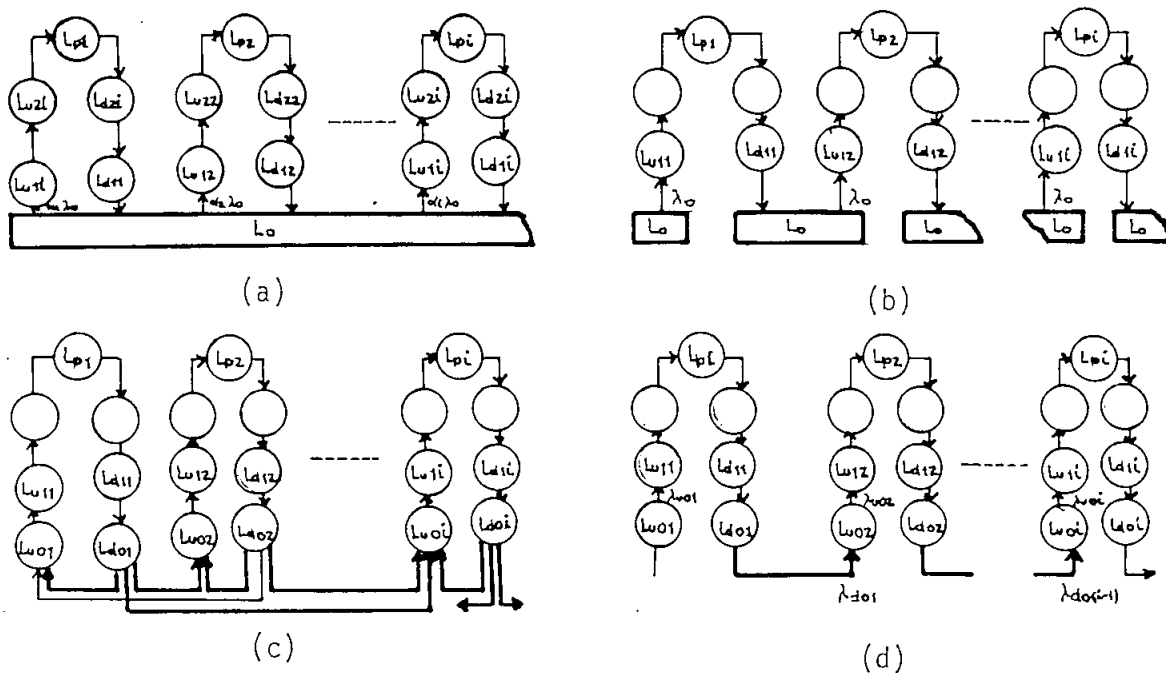


Fig. 7. Modelo de curva de carga diaria de multiniveles

- a), b) nivel bajo igual
- c), d) nivel bajo diferente
- a), c) secuencia de picos aleatoria
- b), d) secuencia de picos determinada

/14/

El modelo que se utilizará en el estudio de la presente tesis, se encuentra detallado en el capítulo II y coincide con el de la Fig. 7. c).

1.3.3. MARGEN DE LA GENERACION Y CARGA

Los modelos de generación y carga, pueden ser fácilmente combinados, con la consideración básica de que los e

ventos son independientes; el de probabilidad de alguno de ellos permanecerá igual, mientras los cambios ocurren en el otro.

Para aclarar el concepto de margen de generación y carga, se asume el modelo de carga con cuatro niveles de pico; y el de generación. Los estados de capacidad idénticos están combinados como se indica en la Fig. 8.

En el diagrama, C_j es la capacidad restante en un estado, en que se ha producido la salida de una o varias unidades de generación, y C_0 es la capacidad total instalada; en general, se cumple que $C_{j+1} < C_j$.

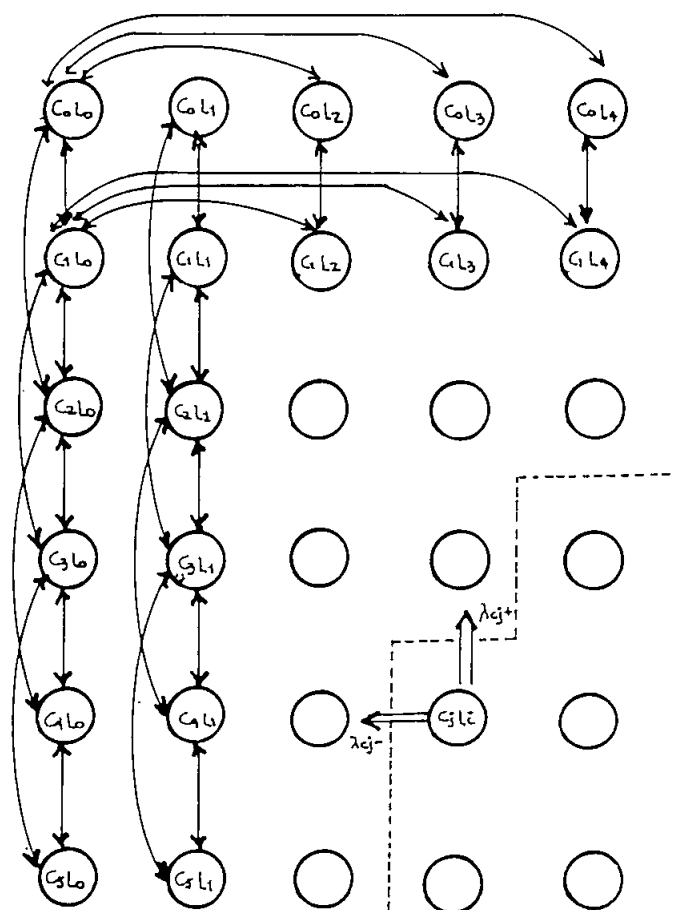


Fig. 8. Combinación de modelos de generación y carga

Cada estado K en el diagrama, puede ser clasificado por un índice M_k , indicando el margen por el cual la generación en ese estado excede la demanda de carga; de este modo, M_k es igual a $C_j - L_i$; este puede ser negativo como también positivo.

El límite entre los estados de margen negativo y positivo señala el límite entre la falla y el funcionamiento normal del sistema.

La frecuencia de transición de un estado K a uno de mayor margen, está dada por:

$$\lambda_{k+} = \lambda_{L_i-} + \lambda_{C_j+} \quad ,$$

y a un estado de margen menor:

$$\lambda_{k-} = \lambda_{L_i+} + \lambda_{C_j-}$$

Se puede observar que para el modelo de carga dada:

$$\begin{aligned} \lambda_{L_i+} &= \emptyset \quad \text{si } i \neq \emptyset \quad \text{y} \\ \lambda_{L_0-} &= \emptyset \end{aligned}$$

La solución del modelo combinado de la Fig. 8., puede ser obtenida por el uso de las ecuaciones que se indican en el capítulo IV; por simplificación, los estados de margen negativo se notará con MN; y los positivos y cero con MP.

La probabilidad de falla del sistema (P_f) está dado por

$$P_f = \sum_{k \in MN} P_k \quad /15/$$

y la frecuencia de falla (f_F) está dado por:

$$f_F = \sum_{k \in MN} p_k \sum_{L \in PM} \lambda_{kL} \quad /15/$$

La duración media de la falla (T_F), está dada por:

$$T_F = P_f / f_F \quad /15/$$

La utilización de las dos ecuaciones anteriores, requieren de un proceso, que se simplifica con el uso de las ecuaciones desarrolladas en el capítulo IV.

II C A P I T U L O
=====

HIPOTESIS PARA LA CONSTRUCCION DEL MODELO

El método a utilizarse para análisis de confiabilidad - de sistemas radiales de potencia, se basa en la formación de la tabla de margen de generación y carga; que utiliza la tabla de salida de cada uno de los elementos constituyentes en una forma sistemática, necesitándose menos computación que los métodos que hasta ahora han sido posibles.

Los elementos para la formación de las tablas de salida de cada una de las componentes son:

- Probabilidad acumulativa
- Frecuencia acumulativa
- Capacidad de operación

Para la construcción de un modelo que nos permita obtener índices de confiabilidad, se debe tomar en cuenta - dos aspectos importantes:

- a) Tipo de Sistema que se desea analizar
- b) Método por el cual se obtendrán dichos índices

2.1. TIPO DE SISTEMA

El sistema para el cual se está implementando este modelo, es uno de tipo radial; de tal manera que permita -

realizar la evaluación de la confiabilidad del sistema Paute, como se encuentra definido en el capítulo III.

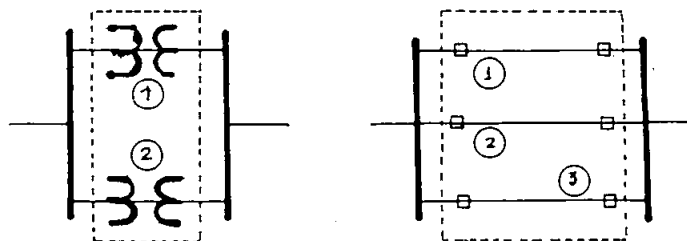
2.1.1. SISTEMA RADIAL

Un sistema radial, es aquel cuyas componentes coinciden con una conexión serie lógica, como se puede esquematizar en la Fig. 9. /16/

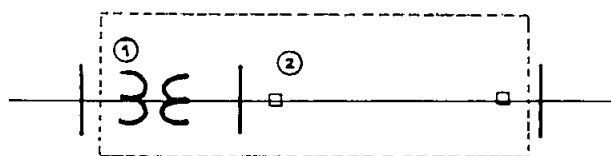


Fig. 9. Conexión serie (radial)

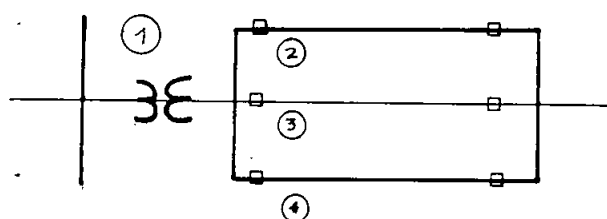
En el desarrollo del programa descrito en el capítulo - IV, se incluye la versatilidad de cada uno de estos componentes, que pueden estar conformados a su vez, por varios elementos, y conectados entre sí, ya sea en serie o en paralelo. Esta versatilidad se la puede apreciar - en los ejemplos de la Fig. 10.



a) Conexión paralelo de elementos entre sí



b) Conexión serie de elementos entre sí



c) Conexión serie paralelo de elementos

Fig. 10. Tipos de conexión entre elementos

Las subestaciones dentro del sistema, son consideradas como una sola componente cada una de ellas; tienen como parte primordial los transformadores, considerando al resto de elementos tales como barras, disyuntores, seccionadores, etc, como ideales.

En el caso de desearse mayor exactitud, se puede realizar un análisis independiente de la subestación, y el resultado obtenido, puede ser introducido como un solo elemento dentro del sistema radial en estudio.

La generación estará conformada por las distintas unidades que prestan servicio, las cuales lógicamente se encuentran conectadas en paralelo entre si.

El bloque de transmisión está compuesto por las líneas que transportan la energía, ya sea por un simple circuito o circuitos múltiples; en este caso, se tendría varios elementos en paralelo.

2.2. METODO

Dos métodos han sido usados comunmente para el análisis de confiabilidad de sistemas de potencia; una abstracción de ellos se expone a continuación para tener una idea más clara sobre su teoría.

2.2.1. TECNICA DE REDUCCION DE REDES

Este es un procedimiento simple utilizado para sistemas conformados por subsistemas series y paralelos. Las redes pueden ser analizadas usando conversiones delta-estrella. Sin embargo, en su utilización se requieren de ciertas aproximaciones. La técnica consiste en una reducción secuencial de configuraciones series y paralelos a unidades equivalentes, hasta que la red total se reduce a una simple unidad. Las configuraciones "puente" pueden ser convertidas a equivalentes serie y paralelo, utilizando las conversiones mencionadas anteriormente.

La principal ventaja de este método es su fácil entendimiento y aplicación. Asume la independencia de las diferentes componentes.

2.2.2. METODO DE ESPACIOS DE ESTADO (PROCESOS DE MARKOV)

Este método es muy general y puede manejar más casos que otros. Es utilizado cuando las componentes son independientes, como también para sistemas que envuelven mo

dos de falla y reparación dependientes. Conceptualmente no hay dificultad en la incorporación de componentes de multiestados ni en la modelación de fallas comunes.

Su aplicación consiste en la enumeración de los diferentes estados, y en el cálculo de las probabilidades de los mismos; de esta manera, se puede obtener la medida de confiabilidad.

El primer método es utilizado para evaluar la confiabilidad de redes de transmisión, mientras que el método de espacios de estado basado en la teoría de Cadenas de Markov sirve para analizar la confiabilidad de sistemas de generación.

Estos dos métodos desafortunadamente no poseen una teoría básica común, por lo cual, resultan incompatibles en la actualidad.

Si todos los elementos de un sistema de potencia son tomados en cuenta, el problema de obtener los índices de confiabilidad se vuelve muy dificultoso al ser tratado con las técnicas antes mencionadas, porque la dimensión de los espacios de estado, se torna extremadamente grande. La aplicación de estos métodos sería impracticable, si no se realizan simplificaciones y aproximaciones.

Como el sistema de potencia resulta complejo, la necesidad de exactitud y riguroso análisis se hacen muy importantes.

Basado en el estudio de "Frecuencia y Duración de Confiabilidad de Sistemas de Generación" realizado por Xifan Wang y Christopher Pottle, se construye un método de análisis de confiabilidad, el cual incluye todos los

elementos de un sistema de potencia radial. Su teoría - se basa directamente en las funciones de una variable aleatoria (capacidad), que provee un análisis y método - de cálculos muy simples. /6/

Las fórmulas para para análisis de confiabilidad, que se derivarán utilizando esta nueva técnica, permitirán el cálculo de índices de confiabilidad (específicamente probabilidad y frecuencia acumulativas de falla), sin - requerir la información derivada de la transición de estados. El análisis que se realizará se limita a sistemas, los cuales son realizados por conexión de subsistemas radiales.

La confiabilidad de un sistema es frecuentemente relativo a la reserva de capacidad. Mediante el estudio de confiabilidad basado en frecuencia y duración, la falla del sistema está indicado por una reserva de capacidad negativa (escasez de capacidad de generación).

El estudio de confiabilidad tiene como tarea básica, analizar y calcular la probabilidad y frecuencia acumulativas para diferentes niveles de reserva de capacidad.

Cada elemento de un sistema de potencia se encuentra asociado a su capacidad nominal, que se llamará Z , usualmente expresada en MW.

La capacidad nominal de una unidad de generación, es la máxima que puede generar; la de un elemento de transmisión, es la máxima capacidad que puede transmitir.

Un elemento en presencia de una falla, al momento debe tener una capacidad igual a cero, o una capacidad parcial menor a su nominal Z ; a esta, la llamaremos " y ".

Esta capacidad "y", es tomada en estudios de confiabilidad como una variable aleatoria con una distribución de probabilidad dada.

Para este análisis, son de importancia:

- Probabilidad acumulativa
- Frecuencia acumulativa

La Probabilidad acumulativa se define como:

$$P(y \leq Y)$$

donde:

Y = máxima capacidad de operación de un elemento.

La Frecuencia acumulativa se define como:

$$F(y \leq Y)$$

Una variable más útil para propósitos de estudios de confiabilidad, es la pérdida de capacidad "x" de un elemento, la misma que está definida por:

$$y \triangleq Z - x$$

Esta, representa la cantidad actual, por la cual un elemento está operando en un plano menor a su capacidad nominal.

Las correspondientes funciones para la variable de pérdida de capacidad "x" están definidas por:

- Probabilidad acumulativa $P(x \geq X)$ y
- Frecuencia acumulativa $F(x \geq X)$,

donde:

x = salida de capacidad del elemento, y ,

es relativo a la capacidad de operación, por:

$$Y \triangleq Z - X$$

La relación entre las variables: capacidad parcial de operación (y) y pérdidas de capacidad (x), está dada por:

$$\begin{aligned} P(y \leq Y) &= P(Z-x \leq Z-X) \\ &= P(-x \leq -X) \\ &= P(x \geq X) \end{aligned} \quad y, \quad (7)$$

$$F(y \leq Y) = F(x \geq X) \quad (8)$$

La tabulación de las funciones de probabilidad y frecuencia para valores discretos de " x ", es llamada la tabla de salida del elemento o sistema, y resume sus características de confiabilidad.

Estas funciones son necesarias para los cálculos, cuando se requiere la tabla del elemento formado por la combinación de otros dos. La tabla de salida del elemento compuesto, deber ser usado como la de un nuevo elemento, para en combinación con otro, crear una nueva tabla. Este procedimiento es repetitivo hasta introducir todo el sistema.

Las características de confiabilidad de un elemento del sistema de potencia, son descritas de este modo por la variable discreta " x ", salida de capacidad.

Por propósitos de tabulación la variable toma valores discretos x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), donde x_0 que no exis

te falla, mientras que, x_n indica falla total del elemento. En vista, que la variable "x" se la toma como discreta, la variable "y", mediante las relaciones anteriores, también se la hace discreta.

Cabe anotar que la probabilidad acumulativa, ahora es relativa a la salida de capacidad usando la ecuación (7), y llamada $P(x)$.

Entonces:

$$P(X_i) \triangleq P(y \leq Y_i) = P(x \geq X_i) = \sum_{k \geq i} p(X_k) \quad (9)$$

donde:

$$p(X_k) = P(X_k) - P(X_{k+1}) \quad (10)$$

$$p(X_k) = \text{probabilidad exacta en } X_k$$

$$P(X_k) = \text{probabilidad acumulativa en } X_k$$

La frecuencia acumulativa, debe también ser relativa a la salida de capacidad mediante la ecuación (8), y llamada $F(X)$.

Entonces:

$$F(X_i) \triangleq F(y \leq Y_i) = F(x \geq X_i) = \sum_{k \geq i} f(X_k) \quad (11)$$

donde:

$$f(X_k) = F(X_k) - F(X_{k+1}) \quad (12)$$

$$f(X_k) = \text{frecuencia incremental en } X_k$$

La frecuencia incremental está relacionada con la probabilidad exacta, mediante la relación fundamental:

$$f(X_k) = p(X_k)(\lambda_{k'} - \lambda_{k''}) \quad (13)$$

donde ;

$$\lambda_{k'} , \lambda_{k''} = \text{frecuencias de transición en } X_k , \\ \text{hacia arriba, y abajo respectivamente}$$

La clave para obtener la tabla de salida de un elemento formado por la combinación de otros dos, es considerar la probabilidad exacta común y la frecuencia incremental común de los dos elementos, conociendo las características y capacidades independientes.

Para poner en claro, la base del análisis de confiabilidad, supongamos que A y B son dos elementos, cuyas probabilidades exactas y frecuencias incrementales son:

$$\begin{aligned} p_a(X_i), f_a(X_i) & \quad i = 0, 1, \dots, N_a \\ p_b(X_j), f_b(X_j) & \quad j = 0, 1, \dots, N_b \end{aligned}$$

independientemente ellas requieren que:

$$p(X_i \cap X_j) = p_a(X_i) * p_b(X_j) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} f(X_i \cap X_j) &= p_a(X_i) * p_b(X_j) ((\lambda_{i+1} - \lambda_i)_a + \\ & \quad + (\lambda_{j+1} - \lambda_j)_b) \\ &= p_a(X_i) * f_b(X_j) + f_a(X_i) * p_b(X_j) \end{aligned} \quad (15)$$

..... /6/

La capacidad de un elemento formado por la interconexión de otros dos, dependerá del tipo de conexión el cual se ha formado el nuevo elemento, es decir; conexión serie o paralelo.

Dos elementos se combinan en paralelo, cuando la capacidad de la combinación es igual a la suma de las capacidades individuales de los elementos,

En la Fig. 11. se muestran ejemplos de este tipo de combinación.

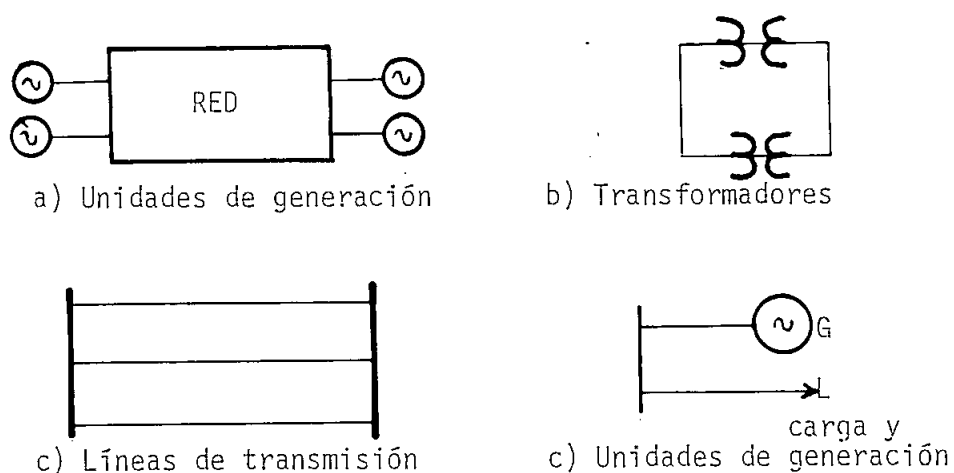


Fig. 11. Ejemplos de combinación paralelo

En particular un sistema de carga, puede ser tomado como una unidad de generación negativa, y puede ser combinada con la generación.

Se usará el operador "+", para denotar la conexión paralelo de dos elementos. Si A y B, son elementos de un sistema de potencia, se describirá la formación de la tabla de salida de su combinación paralelo C, como:

$$C \leftarrow A \oplus B$$

Dos elementos se combinan en serie, cuando su capacidad es la menor a los valores absolutos de las capacidades de los elementos individuales.

El elemento producto de la combinación, tendrá capacidad cero, si al menos uno de los elementos individuales se encuentra con capacidad cero.

En la Fig. 12. se muestran ejemplos de combinación serie.

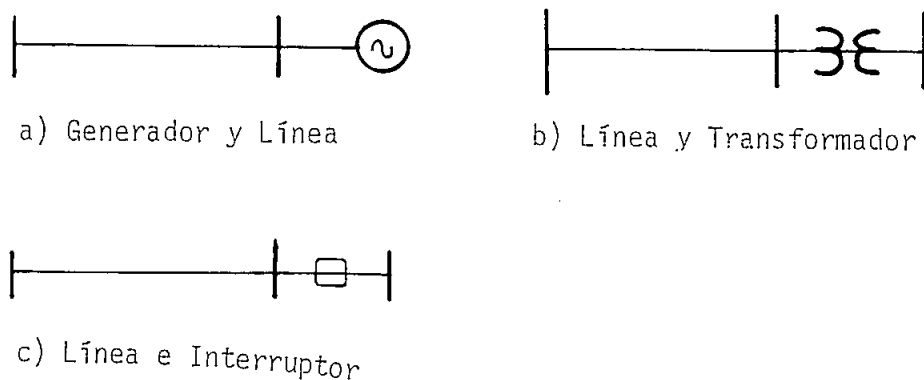


Fig. 12. Ejemplos de combinación serie

Se usará el operador "x" para denotar la conexión serie de dos elementos. Si D y E, son dos elementos de un sistema de potencia, la formación de la tabla de salida de la conexión serie G, será descrita por:

$$G \leftarrow D \otimes E$$

En el capítulo IV, se derivarán las fórmulas correspondientes a estos operadores, obteniéndose la probabilidad y frecuencia correspondiente.

Para la aplicación secuencial de estos operadores en la obtención de la tabla de salida de un sistema de potencia conectado radialmente, se utiliza las tablas de salida de los elementos individuales.

Por ejemplo, dada la interconexión del sistema que se muestra en la Fig. 13.; supongamos que se va a determi-

nar el impacto del sistema B sobre la confiabilidad del sistema A.

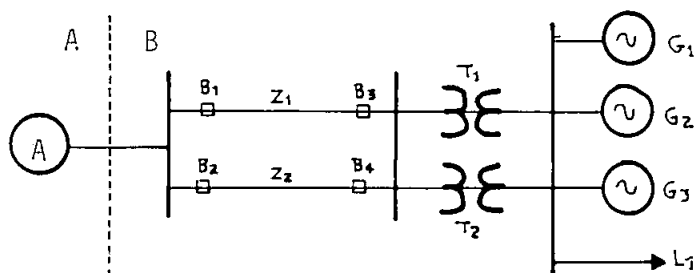


Fig. 13. Ejemplo de un sistema para operaciones "+" y "x"

El proceso debe ser descrito como sigue:

$$G_B \leftarrow (G_1 + G_2 + G_3 + L_1) \times (T_1 + T_2) \\ \times ((B_1 \times Z_1 \times B_3) + (B_2 \times Z_2 \times B_4))$$

Generalmente todas las unidades de generación y de transmisión, son tratadas como elementos reparables. Los datos de confiabilidad, son usualmente especificados en términos del FOR (r) y el tiempo de reparación (t_r). La tabla de salida para este tipo de elementos está estructurada como se indica a continuación:

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
\emptyset	Z	1	\emptyset
Z	\emptyset	r	r/t_r

La formación de esta tabla, para los distintos tipos de elementos, se indica paso a paso en el ejemplo presentado en el apéndice 1.

2.3. MODELACION DE LA CARGA

Para obtener los índices de confiabilidad, primeramente se requiere un modelo de carga; el cual en el método del LOLP, es usualmente la curva acumulativa de picos diarios de carga. Las variaciones de carga dentro de un día no son reconocidas. Este modelo, hace del índice obtenido, más bien, una cruda aproximación de la verdadera probabilidad de falla del sistema.

Ringlee y Wood desarrollaron un modelo de carga de dos niveles para el método de frecuencia y duración. /7/ Este método, usa factores de exposición para explicar la curva de carga diaria.

Un número de otros modelos de carga se han propuesto para proveer una mayor aproximación a la curva de carga diaria.

Para el diseño del modelo de carga propuesto en esta tesis, se tomarán todos los datos cronológicos de un año entero, con el fin de obtener uno más acertado, y que es llamado "Modelo de Carga de Estado Acumulativo"; la teoría básica para este modelo, es considerar la fluctuación de la carga, como un tipo de camino aleatorio, que está gobernada por la regla: la próxima variación es hacia arriba o hacia abajo por un incremento fijo, y el tiempo de duración entre variaciones es arbitrario.

La curva de carga, puede ser descrita con precisión arbitraria, si el incremento de carga tomado, es muy pequeño.

Una porción de la curva de carga que ha sido sujeta a esta aproximación, aparece en la Fig. 14. a. Una ver-

sión más detallada con la notación introducida se encuentra en la Fig. 14. b.

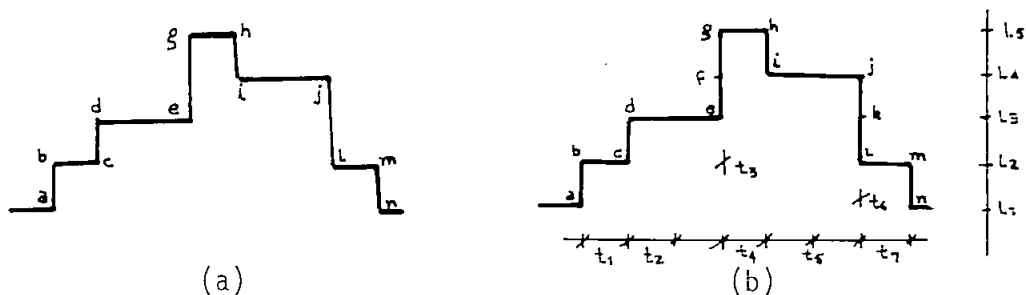


Fig. 14. Camino aleatorio del modelo de carga

En la Fig. 14.a), la carga posee dos incrementos a un mismo tiempo; de e a g y de j a l, en aparente violación de la regla del camino aleatorio, en la Fig. 14. b se muestra inmediatamente los niveles de carga intermedia f y k, cuya duración ha sido tomada con un valor muy pequeño, por ejemplo:

$$t_3 \rightarrow 0$$

$$t_6 \rightarrow 0$$

Para este modelo, la probabilidad exacta de cada nivel de carga es asumido por:

$$p(L_i) = \sum_j t_{ij}/T \quad (16)$$

donde:

$$t_{ij} = \text{tiempo gastado en el nivel de carga } L_i$$

$$T = \text{tiempo de recorrido total}$$

$$= \sum_j t_j$$

La probabilidad acumulativa para el nivel de carga L_i es por tanto:

$$P(l \geq L_i) = \sum_{k \geq i} p(L_k) \quad (17)$$

Esta cantidad es una función de distribución acumulativa válida, y es directamente relativa, y es directamente relativa a la probabilidad acumulativa de las tablas de salida de los otros elementos;

$$P(y \leq Y_i)$$

la razón es que la capacidad de la carga "l" se considera como capacidad de generación negativa ($l = -y$), y los niveles de carga L_i corresponde a la capacidad de operación negativa ($L_i = -Y_i$).

En términos de capacidad, se tiene:

$$P(l \geq L_i) = P(-y \geq -Y_i) = P(y \leq Y_i) \quad (18)$$

Ahora se derivará la función de frecuencia acumulativa para la carga. Si suponemos que durante el intervalo t_j la carga se encuentra en el nivel L_i , al final del intervalo t_j , la carga cambiará al nivel L_{i+1} o L_{i-1} , es decir, subirá o descenderá a otro nivel respectivamente.

Cuando la carga se mueve hacia arriba (incrementa), su probabilidad será:

$$p(L_{ij}) = t_{ij}/T \quad , \quad (19)$$

con una tasa de transición hacia arriba de:

$$\lambda_{ij}' = \emptyset \quad y, \quad (20.1)$$

con una tasa de transición hacia abajo de:

$$\lambda_{ij}'' = 1/t_{ij} \quad (20.2)$$

La frecuencia incremental para este caso, se obtiene - reemplazando los valores obtenidos en (20.1) y (20.2) - en la ecuación (13), el resultado es :

$$f(L_{ij}) = -1/T \quad (21)$$

Por otro lado, la carga decrece con la misma probabilidad, pero con diferentes tasas de transición:

$$\begin{aligned} \lambda_{ij'} &= 1/t_{ij} & y \\ \lambda_{ij''} &= \emptyset \end{aligned}$$

La frecuencia incremental, al igual que en el caso anterior, está dada por la ecuación (13), y reemplazando los valores anteriores, se tiene:

$$f(L_{ij}) = 1/T \quad (22)$$

La frecuencia total incremental para el nivel "i", está dada por:

$$f(L_i) = \sum_j f(L_{ij}) \quad (23)$$

Por la ecuación (11), la frecuencia acumulativa es:

$$\begin{aligned} F(L_i) &= \sum_{k \geq i} f(L_k) \\ F(L_i) &= \sum_{k \geq i} \sum_j f(L_{kj}) \end{aligned} \quad (24)$$

La tabla de frecuencia acumulativa es fácilmente construida con los datos cronológicos de carga, basándonos en un algoritmo para el computador.

Según los datos cronológicos de la carga, se puede dar el caso de que la curva de carga diaria en algunos ca-

sose posea más de un pico.

Los métodos, que aproximan las curvas de carga diaria - con más de un pico, a uno solo, tienden a producir frecuencias acumulativas; que son más pequeñas que las obtenidas por el modelo de estado acumulativo; el mismo - que permite que se presenten múltiples picos.

Esto se puede apreciar en la Fig. 15.; presenta dos curvas de frecuencia acumulativa, la curva b) posee un valor más alto que el de la curva a), puesto que la curva de carga diaria tiene más picos respectivamente.

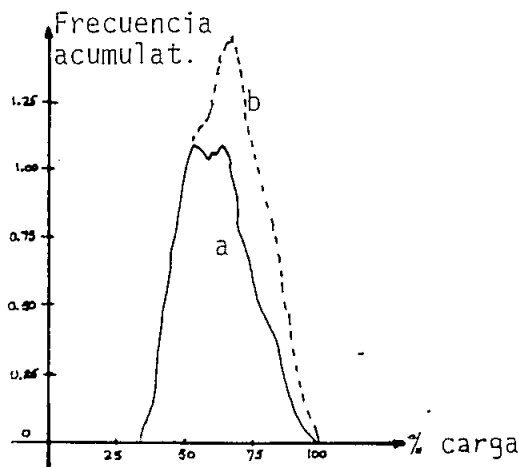


Fig. 15. Frecuencias acumulativas para dos tipos de carga /6/

La Fig. 15. da a conocer claramente, que los múltiples picos en una curva de carga diaria, tienen un efecto - significativo en la Frecuencia acumulativa. /6/

III C A P I T U L O
=====

DEFINICION DEL SISTEMA PAUTE

3.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, en el sur de la República del Ecuador, aproximadamente a 125 Km. al norte de la ciudad de Cuenca.

3.1.1. DESCRIPCION GENERAL DEL APROVECHAMIENTO

El proyecto se basa en el desarrollo del potencial del río Paute, el mismo que en el sector conocido con el nombre de Cola de San Pablo, toma una pendiente pronunciada, y un tramo de 13 Km. en línea recta, cae aproximadamente unos 1000 m. dando oportunidad para un gran desarrollo hidroeléctrico. El aprovechamiento total del río Paute consiste en la utilización de las aguas reguladas del río, en tres centrales ubicadas en serie mediante la construcción de tres reservorios colocados en igual forma.

Las centrales se llaman Mazar, Molino y Sopladora; y los reservorios, Mazar, Amaluza y Molino. La capacidad total a instalarse se estima en 1'260.000 Kw, valor que se alcanzará en cuatro etapas de construcción, a saber:

PRIMERA ETAPA

Es la etapa que corresponde al presente estudio, y consiste de una presa de 170 m. de altura en Amaluza con

una capacidad de embalse de 120 millones de metros cúbicos, un túnel de 6200 m., una tubería de presión inclinada de 850 m., una casa de máquinas subterránea cerca del río Molino, en la que se encuentran instalados cinco grupos turbina-generador, cada uno con capacidad de 100 Mw.

SEGUNDA ETAPA

Con la construcción de la presa Mazar se tendrá un embalse de 400 millones de metros cúbicos, esto permitirá la instalación de cinco unidades adicionales en la central Molino, de 100 Mw. de capacidad cada una.

TERCERA Y CUARTA ETAPAS

Comprenden la instalación de 260 Mw. adicionales.

El equipo eléctrico de la casa de máquinas es de diseño convencional, basado en la experiencia de plantas similares. Para el patio de maniobras, se escogió un sistema de barras colectoras y equipo de protección aislado en SF6, debido a las limitaciones de espacio. El resto del equipo del patio de maniobras es de diseño convencional.

3.1.2. GENERADORES

Los generadores seleccionados tienen valores nominales de 112 MVA, 0.9 f.p., 360 rpm, 13.8 KV y elevación de 65°C de temperatura, con una capacidad de sobrecarga de 127.7 MVA, 0.9 f.p. con una elevación de 80°C.

Se ha previsto la protección contra ondas de sobrevoltaje, por medio de una combinación de capacitores y pararrayos. Los generadores están protegidos contra incen

dios por descarga de CO₂. Esta descarga es efectuada - por medio de termostatos localizados en el cuerpo del generador y por la operación del diferencial del generador y/o del relé de sobrevoltaje a tierra.

La ventilación de los generadores se realiza, por un circuito cerrado, con intercambiadores de calor.

3.1.3. TRANSFORMADORES DE ELEVACION

Los transformadores de elevación son trifásicos de - 13.8/138 KV. sumergidos en aceite. La potencia es determinada exclusivamente por la capacidad del generador. La potencia de sobrecarga del transformador (elevación promedio de temperatura del embobinado de 65°C sobre los 40°C del ambiente) se ha seleccionado igual al del generador a 80°C; por tanto la potencia del transformador a 65°C es 127.7 MVA

Esta capacidad da una potencia correspondiente a 55°C - de 114 MVA. Debido a limitaciones de espacio, límites - en el peso de transporte y problemas surgidos con el desalojo del calor desarrollado en los transformadores, - el tipo de enfriamiento seleccionado fue FOW (aceite - forzado enfriado por agua forzada). Se seleccionó un nivel básico de aislamiento (BIL) de 650 KV., pero, si puede instalarse un juego de pararrayos en el lado de alta del transformador, el BIL podrá disminuirse a 550 KV.

Cada bóveda de transformador tiene ventilación forzada, para desalojar alrededor de 30 Kw. de calor, irradiado por las superficies del tanque a plena carga. También - se ha provisto un sistema de CO₂ para apagar cualquier posible incendio en las bóvedas de los transformadores.

3.1.4 BARRAS AISLADAS SEPARADAS

La conexión entre generadores y transformadores de elevación, se efectúa por medio de barras del tipo fase - aislada de 6,000 A., y 13.8 KV. Este tipo de barras ha sido seleccionado en razón de las altas corrientes y de la seguridad requerida. Para conectar a los transformadores de servicio de las unidades, se utiliza una derivación de 2.000 A. desde la barra.

Durante condiciones de emergencia (un transformador fuera de servicio), ambas barras pueden ser acopladas por medio de un interruptor de enlace previsto para el objeto.

3.1.5. EQUIPO DEL PATIO DE MANIOBRAS DE 138 KV

Debido a la limitación de espacio, el equipo del patio de maniobras de 138 KV. es del tipo aislado en SF6, que es mucho más compacto que el equipo convencional.

En razón de la gran calidad y seguridad de servicio requeridas para el Proyecto Paute, se ha seleccionado un arreglo de doble barra e interruptor simple, como se indicó anteriormente. El patio de maniobras es normalmente operado con la generación y transmisión dividida tan igual como sea posible, entre las dos barras. El sistema de barras está dispuesto en un anillo abierto alrededor del edificio de control centralmente localizado, y está provisto de interruptores de circuito e interruptores - de desconexión para los generadores de Paute y para las líneas de transmisión. Las barras están protegidas por un juego simple de relés de alta impedancia y dos juegos de relés de sobrecorriente direccional para fallas a tierra.

La protección de las líneas está prevista con dos juegos de relés; uno consistente en un esquema con disparo transferido tipo "over reach", mientras que el otro, es usado como respaldo, presta protección de distancia. Los dos juegos son para fase y tierra.

3.1.6. LINEAS DE TRANSMISION

Con el fin de unir todas las Empresas Eléctricas Regionales en lo referente a cargas y generación eléctricas, en INECEL se empezó a proyectar en 1970 el Sistema Nacional Interconectado, cuya parte constitutiva medular será la línea de transmisión a 230 KV, que irá desde la Central Hidroeléctrica Paute (subestación Molino), hasta Quito (subestación Santa Rosa), pasando por las subestaciones de Milagro, Pascuales (Guayaquil), Quevedo y Santo Domingo.

El análisis en esta tesis comprende la línea de transmisión Paute - Guayaquil, de la misma que se hace a continuación una descripción de la ruta y su topografía.

Tomando en cuenta la topografía del terreno por el que atraviesa la línea de transmisión, y la existencia de la subestación Milagro, la línea ha sido dividida en tres sectores: Molino - Cochancay, Cochancay - Milagro y Milagro - Pascuales.

LINEA DE TRANSMISION MOLINO - COCHANCAY

Este sector de la línea, parte de la zona del Proyecto Paute, subestación Molino a 1600 msnm, siguiendo hacia el oeste atraviesa la cordillera de Allán Quiru a 2840-msnm, cruza el río Paute, llegando a Arenales desde donde sigue la margen izquierda del río Paute hasta Llavir

cay a la altura de la desembocadura del río Mazar en el río Paute; se dirige hacia el oeste pasando por Dudas, Queseras, Rodeo Chico, Huairapungo, cruza el río de este nombre llegando a la Loma Bayopungu; en esta sección pasa por alturas de hasta 3430 msnm; continúa por la margen derecha de río San Pedro, lo cruza, luego por la margen izquierda hasta Vendeleche; por el noroccidente cerca de la carretera existente; cruza el río Cañar, pasa por el Rosario, cerca del Tambo, Suscal y Cochapamba llegando a un lugar próximo a Ducar, atravesando alturas de 2300 a 3200 msnm; continúa hacia el occidente siguiendo la margen izquierda del río Bulubulu, lo cruza, va por la margen derecha, lo cruza nuevamente hasta llegar al vértice V-24, cerca a la población de Cochancay, a 166 msnm.

El sector de la línea de transmisión Molino-Cochancay tiene una longitud de 94 Km. aproximadamente y cuenta con 24 vértices, atraviesa por zonas agrestes con fuertes cambios de nivel, quebradas profundas, cruces de ríos; encuentra alturas que van desde los 166 msnm hasta los 3430 msnm. La vegetación cambia de densa tropical en las cercanías del Paute y Cochancay a cultivos y páramos en el resto. El clima también varía desde el cálido húmedo con temperaturas de 30°C, hasta el frío con temperaturas cercanas a 0°C.

LINEA DE TRANSMISION COCHANCAJ - MILAGRO

Parte del vértice V-24 cerca de Cochancay, se dirige hacia el noreste paralela a la carretera Guayaquil - Cuenca, pasa cerca de la Troncal, Manuel J. Calle y el Triunfo hasta Río Viejo, en donde enfila hacia la subestación Milagro a 13msnm.

El sector de la línea tiene una longitud aproximada de 48 Km. y 12 vértices, atraviesa una región prácticamente plana, excepción hecha de una colina de 172 msnm cerca de la Troncal. La vegetación se caracteriza por tener pastos altos y cultivos de caña, arroz, tabaco, cacao y banano. Su clima es cálido húmedo con temperaturas máximas de 32°C. En el trayecto cruza el río Bulubulu, cerca de Manuel J. Calle y el río Chimbo.

LINEA DE TRANSMISION MILAGRO - PASCUALES

Desde la subestación Milagro sale la línea con dirección al oeste hasta el sitio Puente de Chimbo en donde toma la dirección noroeste hasta el sitio El Pensamiento, 2Km. al norte de Yaguachi, allí cambia de dirección hacia el oeste, cruza el río Chimbo y el río Babahoyo, pasa por Tierra Blanca y por Cantera, cruza el río Daulé y llega a la subestación Pascuales aproximadamente a 12 Km. al norte de Guayaquil.

Tiene una longitud aproximada de 44 Km. y cuenta con 7 vértices, el terreno es prácticamente plano, excepto por una colina de 132 msnm, 5 Km. antes de la subestación Pascuales. Su vegetación y clima son similares a los del sector Cochancay - Milagro.

Para la construcción de las líneas se han adoptado dos tipos de conductores;

- 1113 kcmil ACSR 45/7 "Bluejay"
- 1113 kcmil ACSR 54/19 "Finch"

Las características de los conductores son :

	BLUEJAY	FINCH
Tamaño nominal (kcmil)	1113	1113
Hilos de aluminio (N°/mm)	45/4.0	54/3.65
Hilos de acero (N°/mm)	7/2.66	19/2.19
Diámetro exterior (mm)	31.98	32.85
Area de aluminio (mm ²)	565.5	565.0
Area de acero (mm ²)	38.90	71.57
Area total (mm ²)	604.0	636.6
Peso unitario (Kg/m)	1.867	2.129
Tensión de rotura (Kg)	13755	18280
Resistencia eléctrica		
- corriente continua 20°C (ohm/Km)	0.0514	0.0515
- corriente alterna 20°C, 60 Hz (ohm/Km)	0.05397	0.05408
- coeficiente de variación de la resistencia con la temp. (1/°C)	0.00403	0.0403
Módulo de elasticidad inicial (Kg/mm ²)	5000	5500
Módulo de elasticidad final (Kg/mm ²)	6400	6800
Coefficiente de expansión lineal (1/°C)	20.8x10 ⁻⁶	19.4x10 ⁻⁶

3.2. DIAGRAMA DEL SISTEMA

Con esta breve descripción del proyecto a ser analizado el esquema general se describe en la Fig. 16.

Dado que el estudio es para sistemas radiales, es decir conformado por elementos serie y/o paralelo, se tiene - que realizar ciertas simplificaciones que se detallan a continuación.

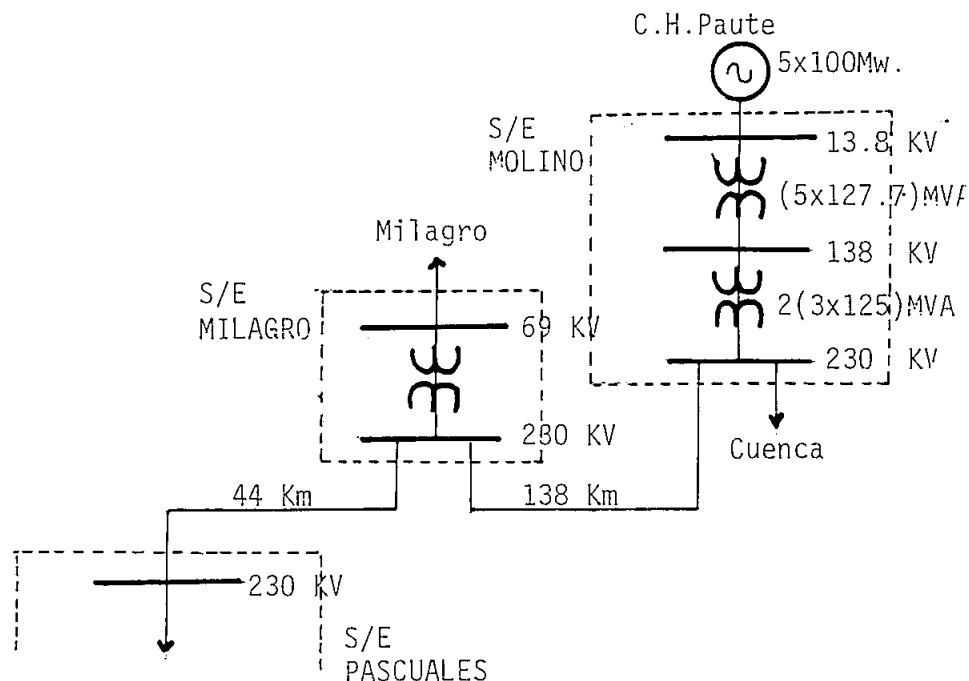


Fig. 16. Diagrama unifilar del sistema Paute

En las subestaciones, el elemento primordial es el transformador, bajo esta consideración y tomando en cuenta que la subestación Molino, posee todos los elementos de alta confiabilidad, asumiremos que, esta, se encuentra conformada únicamente por los cinco grupos de transformadores conectados en paralelo. Y los transformadores de 138/230 KV se encuentran conectados en serie con el grupo anterior.

Dentro del sistema que se encuentra graficado en la Fig. 16. existen dos derivaciones de carga; una a Cuenca y otra a Milagro. Por ser el objetivo de esta tesis la evaluación de la parte radial del Proyecto Paute, la derivación de carga a Cuenca no será incluida dentro

del análisis. Como la derivación a Milagro, se encuentra luego de la línea de transmisión Paute - Milagro, y dado que el análisis es para sistemas radiales, a esta, la concentraremos junto con la carga restante, en la barra de 230 KV de la subestación Pascuales.

Bajo las asunciones expuestas anteriormente, el diagrama del sistema a analizarse quedaría como se indica en la Fig. 17.

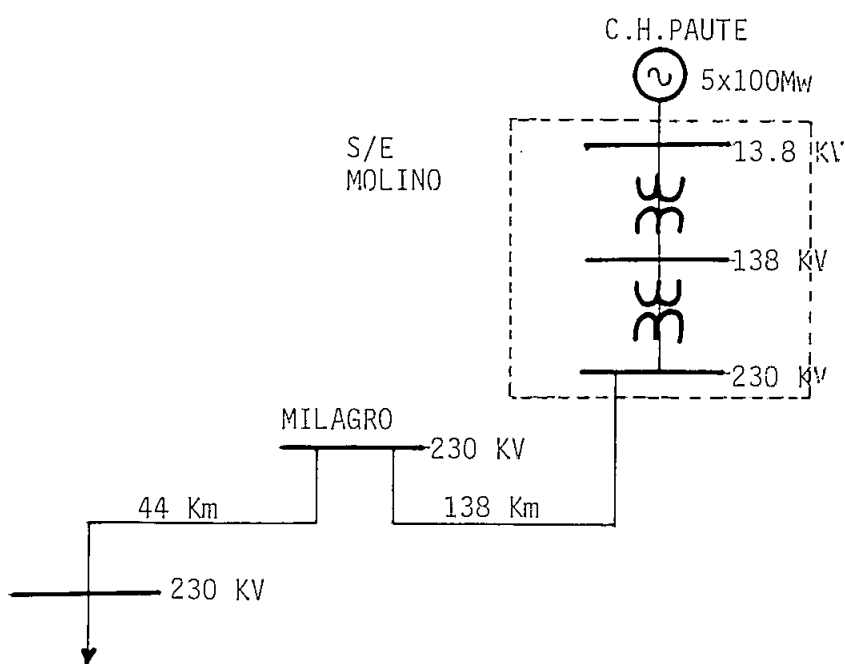


Fig. 17. Diagrama unifilar del sistema Paute incluido las simplificaciones

3.3. LISTADO DE LAS COMPONENTES

Con las simplificaciones del sistema Paute especificadas en la Fig. 17.; estaría conformado por las siguientes componentes:

a) Generación

Está compuesto por 5 unidades de 100 Mw. cada una; estas se encuentran conectadas en paralelo entre si.

A continuación se encuentra conectada en serie la subestación Molino; que a su vez, está constituida por dos elementos en serie: el primer elemento corresponde a un grupo de cinco transformadores de 127.7 MVA a 65°C y 114 MVA a 55°C, considerando un factor de potencia de 0.9, como en el caso de generadores, cuya capacidad es alrededor de 112 Mw.; el segundo elemento está formado por seis transformadores de 125 MVA de capacidad cada uno con el mismo factor de potencia, su capacidad es de 112.5 Mw. Estos transformadores son monofásicos, y ubicados en dos grupos de tres.

b) Transmisión

Existen dos líneas de transmisión con las características que han sido detalladas anteriormente; un resumen proporcionado por INECEL, se indica en la siguiente tabla:

NOMBRE	VOLTA. (KV)	N° DE CIRCU.	LONG. (Km)	SIL/CIRC (Mw)	LIMITE TERMICO DE LA L/T, (MVA)	(AMP)
Paute-Mil	230	2	138.0	139.6	448.2	1125.0
Mil-Pascu	230	2	44.0	145.0	469.3	1178.0

Para el cálculo de la potencia de transmisión de las líneas, se toma en cuenta dos tipos de limitaciones:

- Limitaciones propias del sistema
- Limitaciones de diseño,

si se asume que la primera de las limitaciones se la ha cumplido, la segunda está dada básicamente por la potencia natural de la línea de transmisión (SIL), para diseño, la potencia es de tres veces el SIL de la línea.

INECEL tomando en cuenta las dos limitaciones ha calculado el factor que multiplica al SIL, siendo este de 1.7. Obteniéndose el valor de la potencia de transmisión en condiciones normales de funcionamiento. /11/

$$\begin{aligned} \text{SIL} &= \frac{\text{KV}^2}{Z_0} \\ \text{SIL} &= 139.6 \\ P &= 226 \text{ Mw.} \end{aligned}$$

c) Carga

Para la carga se requiere únicamente el dato del pico de carga anual en el punto de análisis, esta se la obtiene de la Fig. 18., que es una corrida de flujo realizada por el INECEL para el Sistema Nacional Interconectado con una carga proyectada para el año de 1.990, considerando el anillo abierto.

La carga total considerada para el estudio en la barra de 230 KV de la subestación Pascuales, estará formada por la existente en Pascuales, más la derivación en Milagro, por lo tanto:

$$\text{Carga Total} = 420.6 \text{ Mw.}$$

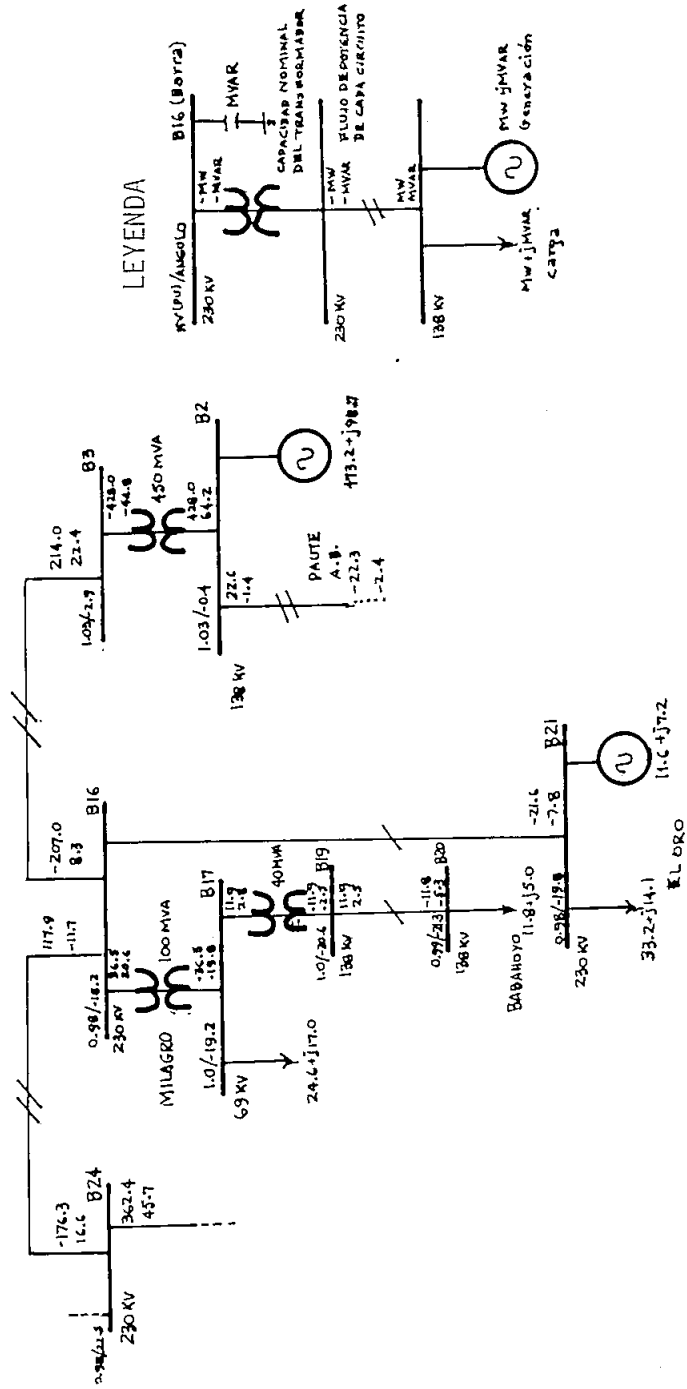


Fig. 18. Corrida de flujo para el Sistema Nacional Interconectado con carga proyectada a 1990

3.4. TABLAS DE SALIDA DE CAPACIDAD DE LAS COMPONENTES DEL SISTEMA

Dado que el funcionamiento del Paute es relativamente corto, los datos estadísticos son insuficientes y por lo tanto no son confiables. Unicamente se tiene datos estadísticos correspondientes al año de 1.983 para las líneas de transmisión, que se detallan a continuación:

NOMBRE	NUMERO DE DESCONECCIONES	DURACION (HORAS)	HORAS DE SERVICIO
Paute-Milagro	3	1.5	4850.5
Milagro-Pascuales	0	0.0	5950.5

Estos, no serían de utilidad para ser aplicados en el análisis correspondiente, por esta razón se utilizarán los datos presentados en la referencia /8/, tanto para las unidades de generación como para las líneas de transmisión.

Para la generación; en el trabajo que se presenta en la referencia /8/, existe una unidad hidráulica de 50 Mw., cuyos datos utilizaremos para las unidades del Paute.

Bajo esta consideración las unidades tendrían los siguientes datos:

CAPACIDAD (Mw)	NUMERO UNIDADES	MTTF (HRS)	MTTR (H)
100	5	1980	20

Con las ecuaciones A.2 y A.3 calculamos el FOR y la frecuencia de falla (F):

$$\begin{aligned} \text{FOR} &= 0.01 \\ f &= 0.012 \text{ (1/día)} \end{aligned}$$

En la misma referencia /8/, para los transformadores se presenta los siguientes datos:

- Tiempo de duración de la salida (t_r) = 768 horas
 $\text{MTTR} = t_r = 32 \text{ días}$
- Número de fallas por año = 0.021/año
 $= 0.021/\text{año}$

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= 1/\lambda = 47.62 \text{ (años)} \\ &= 17,380.95 \text{ (días)} \end{aligned}$$

En base a estos resultados y con las ecuaciones indicadas anteriormente, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{FOR} &= 0.0018377 \\ f &= 0.000057429 \text{ (1/día)} \end{aligned}$$

Para la transmisión; la referencia /8/ nos permite obtener la tasa de salida o número de salidas por unidad de tiempo y el tiempo de salida (t_r), a partir de las siguientes fórmulas:

Para 230 KV

$$\lambda_1 = 0.34 * L + 0.29 \text{ (1/año)} \quad (25)$$

donde:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \text{tasa de salida permanente de la L/T} \\ L &= \text{longitud de la línea en 100 millas} \end{aligned}$$

La constante en la ecuación relaciona las fallas del equipo terminal de la L/T con la L/T (incluye seccionadores, pero excluye interruptores)

La duración permanente de la salida (t_r), es una combinación de los datos de duración de la salida de la línea (t_{rL}) y del equipo terminal (t_{rt}), estos están dados en la siguiente tabla:

DURACION DE LA SALIDA PERMANENTE (HORAS)	
t_{rL}	t_{rt}
18	8

Por la conexión serie de dos elementos (L/T y equipo terminal), la duración t_r está dada por:

$$t_r = \frac{\lambda_L * t_{rL} + \lambda_t * t_{rt}}{\lambda_L + \lambda_t} \quad (26)$$

/9/

donde:

λ_t = tasa de salida permanente del equipo terminal, y está dada por:

Para 230 KV

$$\lambda_t = 2.46 L \text{ (1/año)} \quad (27)$$

Basándonos en las fórmulas (25), (26) y (27), calculamos los datos para las líneas:

- Línea Paute-Milagro

De la Fig. 17. obtenemos la longitud de la L/T,

$$L = 138 \text{ Km.}$$

$$L = 85.768 \text{ millas}$$

Utilizando (25):

$$\lambda_L = 0.5816 \text{ (1/año)}$$

$$\lambda_L = 0.0015934 \text{ (1/día)}$$

Utilizando (27):

$$\lambda_t = 2.1099 \text{ (1/año)}$$

$$\lambda_t = 0.0057805 \text{ (1/día)}$$

Con los resultados obtenidos y los datos de la tabla 3, utilizando la ecuación (26), el tiempo t_r es:

$$t_r = 10.16 \text{ horas}$$

$$t_r = 0.423 \text{ días}$$

Con la ecuación (A.2) y (A.3), calculamos el FOR y f:

$$\text{donde MTTR} = t_r$$

$$\text{MTTF} = 1/\lambda_L$$

$$\text{FOR} = 0.0006736$$

$$f = 0.001592 \text{ (1/día)}$$

- Línea Milagro - Pascales

Realizamos el cálculo en forma similar a la L/T anterior, tomando en cuenta la longitud expresada en la Fig. 17.

$$L = 44 \text{ Km.}$$

$$L = 27.3462 \text{ millas}$$

Luego,

$$\lambda_L = 0.38298 \text{ (1/año)}$$

$$\lambda_t = 0.6727 \text{ (1/año)}$$

$$t_r = 11.63 \text{ horas}$$

$$\text{FOR} = 0.0005081$$

$$f = 0.001049 \text{ (1/día)}$$

Con los resultados obtenidos para cada uno de los elementos, se construyen las tablas de salida de cada uno de ellos, de la misma forma que se realiza en el apéndice 1.

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 5

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
∅	100	1	∅.
100	∅	0.01	0.012

Tipo de elemento: transformador

Número de unidades: 5

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
∅	112	1.	∅
112	∅	0.001838	0.00005743

Tipo de elemento: transformados

Número de unidades: 6

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
∅	112	1.	∅.
112	∅	0.001838	0.00005743

Tipo de elemento: L/T Paute-Milagro

Número de unidades: 2

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
∅	226	1.	∅.
226	∅	0.0006736	0.001592

Tipo de elemento: L/T Milagro-Pascuales

Número de unidades: 2

SALIDA CAPACIDAD	CAPACIDAD OPERACION	PROBABILIDAD ACUMULATIVA	FRECUENCIA ACUMULATIVA
∅	226	1.	∅.
226	∅	0.0005081	0.001049

IV C A P I T U L O
=====

MODELO DEL SISTEMA Y ALGORITMO

Un sistema radial, básicamente se encuentra formado por elementos, los cuales están conectados entre sí en serie o en paralelo.

El análisis de confiabilidad de un sistema radial por el método que se plantea en esta tesis, consiste en ir absorbiendo cada uno de los elementos en forma secuencial y partiendo desde la generación; se obtiene, de este modo, un elemento que es resultado de la combinación de otros dos consecutivos, ya sea por la conexión serie o por la conexión paralelo.

A continuación, se realiza un análisis para obtener las fórmulas que permitirán realizar las distintas conexiones, y se incluyen ejemplos de aplicación que aclararán el uso de dichas fórmulas, cuyos resultados pueden ser comprobados con los de la referencia /6/.

4.1. CONEXION PARALELO

4.1.1. DESARROLLO DE ECUACIONES

La probabilidad de que dos elementos se combinen en paralelo está dado por la intersección de sus capacidades

$$p(X_A \cap X_B) = p(X_k)$$

donde:

$$X_k = X_A + X_B$$

Si consideramos que C es el elemento producido por la combinación paralelo de dos elementos de un sistema de potencia A y B, el objetivo es derivar las funciones de probabilidad y frecuencia acumulativa para el elemento C.

$$X_i \quad i = \emptyset, 1, \dots, N_a$$

X_i = estados de salida de capacidad del elemento A

$$X_j \quad j = \emptyset, 1, \dots, N_b$$

X_j = estados de salida de capacidad del elemento B

$$p_{C'}(X_i \cap X_j) = p_a(X_i | X_j) * p_b(X_j)$$

donde:

$p_{C'}$ = probabilidad exacta de que el elemento A se encuentre en el estado X_i , y el elemento B en el estado X_j

Si los sucesos son independientes (mutuamente excluyentes),

$$p_a(X_i | X_j) = p_a(X_i)$$

entonces:

$$p_{C'}(X_i \cap X_j) = p_a(X_i) * p_b(X_j)$$

$$p_{C'}(X_k) = p_a(X_i) * p_b(X_j)$$

$$\text{tal que } X_k = X_i + X_j$$

Tanto el elemento A como el elemento B, tienen varios - estados:

$$p_c(X_k) = \sum_{X_i + X_j = X_k} p_a(X_i) * p_b(X_j) \quad (28)$$

donde:

$$p_c(X_k) = \text{es la probabilidad exacta de que el elemento C se encuentre en el estado } X_k, \text{ tal que } X_k = X_i + X_j \quad (29)$$

$$X_i = X_k - X_j$$

entonces:

$$p_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} p_a(X_k - X_j) * p_b(X_j) \quad (30)$$

La probabilidad acumulativa será por tanto:

$$P_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} p_c(X_m) \quad (31)$$

$$P_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} \sum_{j=0}^{Nb} p_a(X_m - X_j) * p_b(X_j)$$

Por la definición de probabilidad acumulativa, esta expresión se reduce a:

$$P_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} p_a(X_k - X_j) * p_b(X_j) \quad (32)$$

Por la definición (10), se tiene:

$$p_b(X_j) = P_b(X_j) - P_b(X_{j+1}) \quad (33)$$

es la probabilidad exacta en función de las probabilidades acumulativas, entonces:

$$P_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} P_a(X_k - X_j) * (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1})) \quad (34)$$

Esta fórmula nos da la probabilidad a acumulativa del elemento C en función de las acumulativas de los elementos integrantes en la combinación.

El desarrollo de la función de Frecuencia Acumulativa se inicia a partir de la ecuación (15), donde:

$$f_{c'}(X_i \cap X_j) = p_a(X_i) * f_b(X_j) + f_a(X_i) * p_b(X_j)$$

$f_{c'}$ = frecuencia incremental, en la que el elemento A se encuentra en el estado X_i , y el elemento B en el estado X_j

$$f_c(X_k) = \sum_{X_i + X_j = X_k} f_{c'}(X_i, X_j)$$

donde:

f_c = frecuencia incremental del elemento C, cuando se encuentra en el estado de salida de capacidad X_k , tal que $X_i + X_j = X_k$

Entonces:

$$f_c(X_k) = \sum_{X_i + X_j = X_k} (p_a(X_i) * f_b(X_j) + f_a(X_i) * p_b(X_j)) \quad (35)$$

como: $X_i = X_k - X_j$

$$f_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} (p_a(X_k - X_j) * f_b(X_j) + f_a(X_k - X_j) * p_b(X_j)) \quad (36)$$

La frecuencia acumulativa es :

$$F_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} f_c(X_m) \quad (37)$$

Por tanto:

$$F_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} \sum_{j=0}^{Nb} (p_a(X_m - X_j) * f_b(X_j) + f_a(X_m - X_j) * p_b(X_j))$$

Por las definiciones de probabilidad y frecuencia acumulativas; la expresión se reduce a:

$$F_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} P_a(X_k - X_j) * f_b(X_j) + F_a(X_k - X_j) * p_b(X_j) \quad (38)$$

Por las definiciones (10) y (12);

$$\begin{aligned} p_b(X_j) &= P_b(X_j) - P_b(X_{j+1}) \\ f_b(X_j) &= F_b(X_j) - F_b(X_{j+1}) \end{aligned} \quad (39)$$

son las funciones de probabilidad exacta y frecuencia incremental, relacionadas a las funciones acumulativas

Por tanto:

$$\begin{aligned} F_c(X_k) &= \sum_{j=0}^{Nb} P_a(X_k - X_j) * (F_b(X_j) - F_b(X_{j+1})) + \\ &+ F_a(X_k - X_j) * (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1})) \end{aligned} \quad (40)$$

Esta fórmula nos da la función de frecuencia acumulativa del elemento C en función de las probabilidades y frecuencias acumulativas de los elementos que ingresan a formar la combinación.

En forma similar se puede obtener fórmulas equivalentes a (34) y (40) si se parte de:

$$X_j = X_k - X_i$$

reemplazando en la ecuación (28):

$$p_c(X_k) = \sum_{X_i + X_j = X_k} p_a(X_i) * p_b(X_k - X_i) \quad (41)$$

La probabilidad acumulativa será:

$$P_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} \sum_{j=0}^{Na} p_a(X_j) * p_b(X_k - X_j) \quad (42)$$

Por la definición de probabilidad acumulativa:

$$P_c(X_k) = \sum_{i=0}^{Na} p_a(X_i) * P_b(X_k - X_i) \quad (43)$$

si ponemos la probabilidad exacta en función de las pro babilidades acumulativas:

$$P_c(X_k) = \sum_{i=0}^{Na} (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) * P_b(X_k - X_i) \quad (44)$$

La frecuencia acumulativa se obtiene de la siguiente ma nera;

reemplazando $X_j = X_k - X_i$ en (35), se obtiene:

$$f_c(X_k) = \sum_{i=0}^{Na} p_a(X_i) * f_b(X_k - X_i) + f_a(X_i) * p_b(X_k - X_i) \quad (45)$$

La frecuencia acumulativa es:

$$F_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} \sum_{i=0}^{Na} p_a(X_i) * f_b(X_m - X_i) + f_a(X_i) * p_b(X_m - X_i) \quad (46)$$

Por la definición de frecuencia acumulativa, la expre - sión se reduce a:

$$F_c(X_k) = \sum_{i=0}^{Na} p_a(X_i) * F_b(X_k - X_i) + f_a(X_i) * P_b(X_k - X_i) \quad (47)$$

Usando las definiciones (10) y (12), se pone la probabilidad exacta y frecuencia incremental en relación a sus funciones acumulativas, entonces:

$$F_c(X_k) = \sum_{i=0}^{Na} (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) * F_b(X_k - X_i) + (F_a(X_i) - F_a(X_{i+1})) * P_b(X_k - X_i) \quad (48)$$

De este modo se han encontrado dos grupos de ecuaciones (34), (40) y (44), (48), que son las fórmulas básicas para el operador paralelo "+", combinando dos elementos en otro equivalente.

Solamente se ha asumido la independencia de los elementos. Estas fórmulas permiten la formación de las tablas de salida producto de la combinación de los elementos.

En particular, no se requiere de las tasas de transición, lo que simplifica considerablemente su análisis y su computación.

Esas fórmulas también demuestran que el operador "+" es conmutativo y saociativo.

Prueba Conmutativa

$$\begin{array}{ll} \text{si } C \leftarrow A \oplus B & A \rightarrow X_i \quad i = \emptyset, 1, \dots, Na \\ & B \rightarrow X_j \quad j = \emptyset, 1, \dots, Nb \end{array}$$

Utilizando (34) y (40):

$$P_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} P_a(X_k - X_j) * (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1}))$$

$$F_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} P_a(X_k - X_j) * (F_b(X_j) - F_b(X_{j+1})) +$$

$$+ F_a(X_k - X_j) * (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1}))$$

si $C \leftarrow B \oplus A$

Utilizando (44) y (48):

$$P_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1})) * P_a(X_k - X_j)$$

$$F_c(X_k) = \sum_{j=0}^{Nb} (P_b(X_j) - P_b(X_{j+1})) * F_a(X_k - X_j) +$$

$$+ (F_b(X_j) - F_b(X_{j+1})) * P_a(X_k - X_j)$$

lo que demuestra que se cumple la propiedad conmutativa para el operador "+".

4.1.2. EJEMPLO DE APLICACION

Supongamos tres líneas de transmisión de 10 Mw, con un FOR = 0.005 y un $t_r = 0.5$ días. La tabla de salida para cada elemento se indica en el siguiente cuadro:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	10	1	0
10	0	0.005	0.01

Utilizando la ecuación (34); primeramente combinamos dos elementos:

$$A: X_0 = 0$$

$$X_1 = 10$$

$$B: X_0 = 0$$

$$X_1 = 10$$

$$C: X_0 = 0$$

$$X_1 = 10$$

$$X_2 = 20$$

Calculamos la probabilidad acumulativa:

para $k=0$

$$\begin{aligned}
 P_c(0) &= \sum_{i=0}^1 P_b(0-X_i) * (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) \\
 &= P_b(0) * (P_a(0) - P_a(10)) + P_b(-10) * (P_a(10) - P_a(20)) \\
 &= 1 * (1 - 0.005) + 1(0.005 - 0) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

para $k=1$

$$\begin{aligned}
 P_c(10) &= \sum_{i=0}^1 P_b(10-X_i) * (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) \\
 &= 9.975 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

para $k=2$

$$\begin{aligned}
 P_c(20) &= \sum_{i=0}^1 P_b(20-X_i) * (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) \\
 &= 0.25 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Calculamos la frecuencia acumulativa:

para $k=0$

$$\begin{aligned}
 F_c(0) &= \sum_{i=0}^1 F_b(0-X_i) (P_a(X_i) - P_a(X_{i+1})) + \\
 &\quad + P_b(0-X_i) (F_a(X_i) - F_a(X_{i+1})) \\
 &= F_b(0) * (P_a(0) - P_a(10)) + P_b(0) * (F_a(0) - F_a(10)) + \\
 &\quad + F_b(-10) * (P_a(10) - P_a(20)) + P_b(10) * (F_a(10) - F_a(20)) \\
 &= 0(1 - 0.005) + 1(0 - 0.01) + \\
 &\quad + 0(0.05 - 0) + 1(0.01 - 0)
 \end{aligned}$$

$$= 0$$

para $k=1$

$$F_C(10) = 0.0199$$

para $k=2$

$$F_C(20) = 0.0001$$

La tabla de salida producto de la combinación de los dos elementos es :

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	20	1	0
10	10	9.975×10^{-3}	0,0199
20	0	0.25×10^{-4}	0,0001

Este elemento pasa a ser el elemento A, para la nueva combinación, siendo el elemento B, la línea de 10 Mw. Entonces:

A: $X_0 = 0$	B: $X_0 = 0$	C: $X_0 = 0$
$X_1 = 10$	$X_1 = 10$	$X_1 = 10$
$X_2 = 20$		$X_2 = 20$
		$X_3 = 30$

Aplicando las mismas ecuaciones y siguiendo el procedimiento en forma similar al anterior, la tabla de salida de la combinación se presenta en el siguiente cuadro:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	30	1	0
10	20	0.1492×10^{-1}	0.2970×10^{-1}
20	10	0.7473×10^{-4}	0.2985×10^{-3}
30	0	0.1250×10^{-6}	0.7500×10^{-6}

Planteamos otro ejemplo; dos transformadores de 10 Mw., con un FOR=0.0005 y $t_r=32$ días. La tabla de salida de cada elemento se indica a continuación:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	10	1	0.000
10	0	0,0005	1.5625×10^{-5}

Aplicando las fórmulas correspondiente, la tabla de salida de la combinación es:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	20	1	0
10	10	0.9998×10^{-3}	0.3123×10^{-4}
20	0	0.2500×10^{-6}	0.1563×10^{-7}

4.2. CONEXION PARALELO DE COMPONENTES IGUALES

4.2.1. DESARROLLO DE ECUACIONES

Cuando tenemos un grupo de elementos iguales y cada uno de ellos con dos estados, es decir en funcionamiento y reparación; el desarrollo que se hará a continuación ,

permitirá disminuir el tiempo de computación, en comparación al tiempo que se utilizaría si se aplica las ecuaciones de la conexión paralelo.

Cada elemento tiene los siguientes datos:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa	probabilidad exacta
0	Z	1	0	1-r
Z	0	r	r/t _r	r

donde:

Z = capacidad nominal
 r = FOR
 t_r = tiempo de reparación o MTTR

Si se quiere calcular la probabilidad de falla de un grupo del total de elementos, sabiendo que cada uno de ellos tiene dos posibles estados, la Distribución Binomial es aplicable.

Si se tiene "n" elementos, de los cuales "k" de ellos fallan, la probabilidad de falla es:

$$p(X_k) = \binom{n}{k} r^k (1-r)^{n-k} \quad (49)$$

/10/

donde:

X_k = k * Z
 = estado de salida de capacidad, de la combinación de elementos
 p(X_k) = probabilidad exacta de encontrarse en el estado X_k

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

La probabilidad acumulativa está dada por:

$$P(X_i) = \sum_{k \geq i} p(X_k) \quad (50)$$

donde:

$$P(X_i) = \text{probabilidad acumulativa en } X_i$$

La frecuencia acumulativa está dada por:

$$F(X_k) = p(X_k) * k/t_r \quad (51)$$

La demostración de la fórmula (51), la realizaremos por inducción, asumiendo que la fórmula es correcta para k unidades falladas de n , añadimos otra unidad en paralelo, y, usando la ecuación (38), se encuentra la frecuencia acumulativa;

$$F_{n+1}(X_k) = \sum_{i=0}^n F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i) + P_1(X_k - X_i) * f_n(X_i) \quad (52)$$

donde:

$$P_1, F_1 = \text{probabilidad y frecuencia acumulativas del elemento añadido.}$$

Separando el sumatorio,

$$F_{n+1}(X_k) = \sum_{i=0}^{k-2} (F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i) + P_1(X_k - X_i) * f_n(X_i)) + F_1(X_1) * p_n(X_{k-1}) + P_1(X_1) * f_n(X_{k-1}) + \sum_{i=k}^n (F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i) + P_1(X_k - X_i) * f_n(X_i)) \quad (53)$$

pero; $(X_k - X_i) > X_1$ para $0 \leq i \leq k-2$

por tanto:

$$F_1(X_k - X_i) = 0$$

$$P_1(X_k - X_i) = 0$$

por tanto, el sumatorio $\sum_{i=0}^{k-2}$, de la ecuación (53), se hace cero.

Ahora, separando el segundo sumatorio de la ecuación (53);

$$\sum_{i=k}^n F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i) = F_1(X_0) * p_n(X_k) + \sum_{i=k+1}^n F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i)$$

pero $X_k - X_i < X_0$ para $k-1 \leq i \leq n$

entonces:

$$\sum_{i=k}^n F_1(X_k - X_i) * p_n(X_i) = F_1(X_0) * p_n(X_k)$$

reemplazando estos resultados en la ecuación (53);

$$\begin{aligned} F_{n+1}(X_k) &= F_1(X_1) p_n(X_{k-1}) + P_1(X_1) f_n(X_{k-1}) \\ &+ F_1(X_0) * p_n(X_k) \\ &+ \sum_{l=k}^n P_1(X_k - X_i) * f_n(X_i) \end{aligned} \quad (54)$$

de la tabla de datos, obtenemos:

$$F_1(X_1) = r/t_r$$

$$P_1(X_1) = r$$

$$F_1(X_0) = \emptyset$$

$$P_1(X_j) = 1 \quad \text{para } j \leq \emptyset$$

reemplazando en la ecuación (54); y tomando en cuenta -

que:

$$\sum_{i=k}^n P_1(X_k - X_i) f_n(X_i) = F_n(X_k)$$

puesto que:

$$P_1(X_k - X_i) = 1 \quad \text{para } k \leq i \leq n$$

entonces:

$$F_{n+1}(X_k) = F_n(X_k) + p_n(X_{k-1}) * r / t_r + f_n(X_{k-1})$$

utilizando la ecuación (51),

$$p_n(X_{k-1}) = F_n(X_{k-1}) * t_r / (k-1),$$

y por la definición de frecuencia exacta:

$$\begin{aligned} F_{n+1}(X_k) &= F_n(X_{k-1}) * r / (k-1) + \\ &\quad + r * (F_n(X_{k-1}) - F_n(X_k)) \\ &= F_n(X_k) (1-r) + F_n(X_{k-1}) * r * k / (k-1) \end{aligned}$$

Utilizando (49) y (51):

$$\begin{aligned} F_{n+1}(X_k) &= \frac{n!}{k! (n-k)!} r^k (1-r)^{n-k} * k / t_r * (1-r) + \\ &\quad + \frac{n!}{(k-1)! (n-k+1)!} r^{k-1} (1-r)^{n-k+1} * \\ &\quad * \left(\frac{k-1}{t_r} \right) \left(\frac{r * k}{k-1} \right) \end{aligned}$$

$$F_{n+1}(X_k) = \frac{(n+1)!}{k! ((n+1)+k)!} * r^k * (1-r)^{(n-1)-k} * \frac{k}{t_r}$$

$$F_{n+1}(X_k) = p_{n+1}(X_k) * k / t_r$$

Lo que nos demuestra que la fórmula (51) es correcta.

4.2.2. EJEMPLO DE APLICACION

Supongamos, el mismo ejemplo para conexión paralelo, se tiene tres líneas de transmisión de 10Mw, FOR = 0.005 y $t_r = 0.5$. La tabla de salida de cada elemento se indica a continuación:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	10	1	0
10	0	0.005	0.01

Calculamos las probabilidades exactas para cada estado, utilizando la ecuación (49)

Se tiene : $n = 3$
 $Z = 10$

para $k=0$ unidades falladas

$$p(X_0) = \frac{3!}{0! (3-0)!} 0.005^0 (1-0.005)^{3-0}$$

$$= 0.985075$$

para $k=1$ unidades falladas

$$p(X_1) = 0.148504 \times 10^{-1}$$

para $k=2$ unidades falladas

$$p(X_2) = 0.74625 \times 10^{-4}$$

para $k=3$ unidades falladas

$$p(X_3) = 0.125 \times 10^{-6}$$

Aplicando la ecuación (50), calculamos las probabilidades acumulativas:

$$\begin{aligned} P(X_0) &= p(x_0) + p(x_1) + p(x_2) + p(x_3) \\ &= 1.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(X_1) &= p(X_1) + p(X_2) + p(X_3) \\ &= 0.14925 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

$$P(X_2) = 0.7475 \times 10^{-4}$$

$$P(X_3) = 0.125 \times 10^{-6}$$

Para el cálculo de las frecuencias acumulativas, utilizamos la ecuación (51):

para $k=0$

$$F(X_0) = 0.0$$

para $k=1$

$$F(X_1) = 0.297 \times 10^{-1}$$

para $k=2$

$$F(X_2) = 0.2985 \times 10^{-3}$$

para $k=3$

$$F(X_3) = 0.7536 \times 10^{-6}$$

Por lo tanto la tabla de salida, producto de la combinación es:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	30	1	0
10	20	0.1493×10^{-1}	0.297×10^{-1}
20	10	0.7475×10^{-4}	0.299×10^{-3}
30	0	0.1250×10^{-6}	0.753×10^{-6}

4.3. CONEXION SERIE

4.3.1. DESARROLLO DE ECUACIONES

Si C es un elemento producido por la conexión serie de dos elementos independientes A y B de un sistema de potencia,

$$C \leftarrow A \otimes B$$

La probabilidad de la combinación serie está dada por la regla de la adición, es decir, la probabilidad de la unión.

si X_i $i=0,1,\dots,Na$
 X_i = estados de salida de capacidad del elemento A

X_j $j=0,1,\dots,Nb$
 X_j = estados de salida de capacidad del elemento B

$$p_C(X_C) = p_C(X_i \cup X_j)$$

$$p_c(X_i \cup X_j) = p_a(X_i) + p_b(X_j) - p_c(X_i \cap X_j) \quad /6/, (55)$$

donde:

p_c = es la probabilidad exacta de que el elemento A se encuentre en el estado X_i o de que el elemento B se encuentre en el estado X_j o ambos

Pero:

$$p_c(X_i \cup X_j) = p_a(X_i | X_j) * p_b(X_j)$$

si consideramos, que los sucesos son independientes;

$$p_c(X_i \cup X_j) = p_a(X_i) * p_b(X_j)$$

por lo tanto:

$$p_c(X_i \cup X_j) = p_a(X_i) + p_b(X_j) - p_a(X_i) * p_b(X_j) \quad (56)$$

Pero la conexión serie requiere que la capacidad de operación del elemento C, sea la misma de los elementos - que intervienen en la combinación para ese estado, entonces:

$$X_{ci} = X_{ai} = X_{bi}$$

Esto, implicaría que la máxima capacidad de operación - del elemento formado, será igual a la menor de las máximas capacidades de los elementos de la combinación; por lo tanto hay que hacer una reorganización de las tablas de salida de los elementos que intervienen en la combinación, en el caso de que uno de ellos posea mayor capacidad de operación, de tal manera de igualar sus capacidades. Esto se aclarará con el ejemplo que se presenta en la sección 4.3.2.

Si nos encontramos en un nivel de salida de capacidad - X_k , la probabilidad exacta en ese nivel de la combinación será:

$$p_c(X_k) = p_a(X_k) + p_b(X_k) - p_a(X_k)*p_b(X_k) \quad (57)$$

La probabilidad acumulativa es:

$$P_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} p_c(X_m) \quad (58)$$

$$P_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} p_a(X_m) + p_b(X_m) - p_a(X_m)*p_b(X_m)$$

Por la definición de probabilidad acumulativa, se tiene:

$$P_c(X_k) = P_a(X_k) + P_b(X_k) - P_a(X_k)*P_b(X_k) \quad (59)$$

Para el cálculo de la frecuencia partimos de:

por la definición de unión de conjuntos:

$$f_c(X_i \cup X_j) = f_a(X_i) + f_b(X_j) - f_c(X_i \cap X_j)$$

donde: (60)

f_c = es la frecuencia incremental de la combinación.

Utilizando la ecuación (15),

$$f_c(X_i \cap X_j) = p_a(X_i)*f_b(X_j) + f_a(X_i)*p_b(X_j)$$

reemplazando en la ecuación (60), se tiene:

$$f_c(X_i \cup X_j) = f_a(X_i) + f_b(X_j) - (p_a(X_i) * f_b(X_j) + f_a(X_i) * p_b(X_j)) \quad (61).$$

$$f_c(X_i \cup X_j) = f_a(X_i) * (1 - p_b(X_j)) + f_b(X_j) * (1 - p_a(X_i)) \quad (62)$$

Como se explicó anteriormente, en la combinación serie debe cumplirse que los estados de capacidad de operación tanto de los elementos que ingresan en la combinación como el elemento formado coinciden.

Luego de modificar las tablas de salida de los elementos integrantes, en el caso de que uno de ellos posea una capacidad máxima de operación mayor, se tiene:

$$X_{ci} = X_{ai} = X_{bi} = X_k$$

Entonces, la ecuación (62) pasaría a ser:

$$f_c(X_k) = f_a(X_k) * (1 - p_b(X_k)) + f_b(X_k) * (1 - p_a(X_k)) \quad (63)$$

Si la frecuencia acumulativa es:

$$F_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} f_c(X_m) \quad (64)$$

Entonces:

$$F_c(X_k) = \sum_{X_m \geq X_k} f_a(X_n) * (1 - p_b(X_m)) + f_b(X_m) * (1 - p_a(X_m)) \quad (66)$$

Obteniéndose de esta manera la frecuencia acumulativa - del elemento combinado, en función de las correspon - dientes de los elementos integrantes.

Las ecuaciones (59) y (66), son las fórmulas básicas pa - ra el uso del operador "x", en la combinación de dos - elementos en otro equivalente.

4.3.2. EJEMPLO DE APLICACION

Se conectará en serie tres líneas de transmisión de - 10 Mw, condos transformadores de 10 Mw; presentados en el ejemplo de aplicación de la conexión paralelo.

Las tablas de salida de cada grupo de elementos, se en - cuentran a continuación:

Para las líneas;

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	30	1.0	0.0
10	20	0.1492×10^{-1}	0.2970×10^{-1}
20	10	0.7475×10^{-4}	0.2985×10^{-3}
30	0	0.1250×10^{-6}	0.7500×10^{-6}

para los transformadores;

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	20	1.0	0.0
10	10	0.9997×10^{-3}	0.3123×10^{-4}
20	0	0.2500×10^{-6}	0.1563×10^{-6}

Para poder operar, tenemos que realizar cambios en la-

tabla de salida de tal manera de igualar sus capacidades de operación.

Como su conexión es serie, la capacidad de 30Mw correspondiente a las líneas eliminamos, puesto que la máxima capacidad de la combinación es igual a la máxima del elemento de menor capacidad.

Entonces la tabla de las líneas pasaría a ser:

salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	20	0.1493×10^{-1}	0.2970×10^{-1}
10	10	0.7475×10^{-4}	0.2985×10^{-4}
20	0	0.1250×10^{-6}	0.7500×10^{-6}

Una vez igualada las tablas, aplicando las fórmulas (59) y (66), obtenemos como resultado la siguiente tabla:

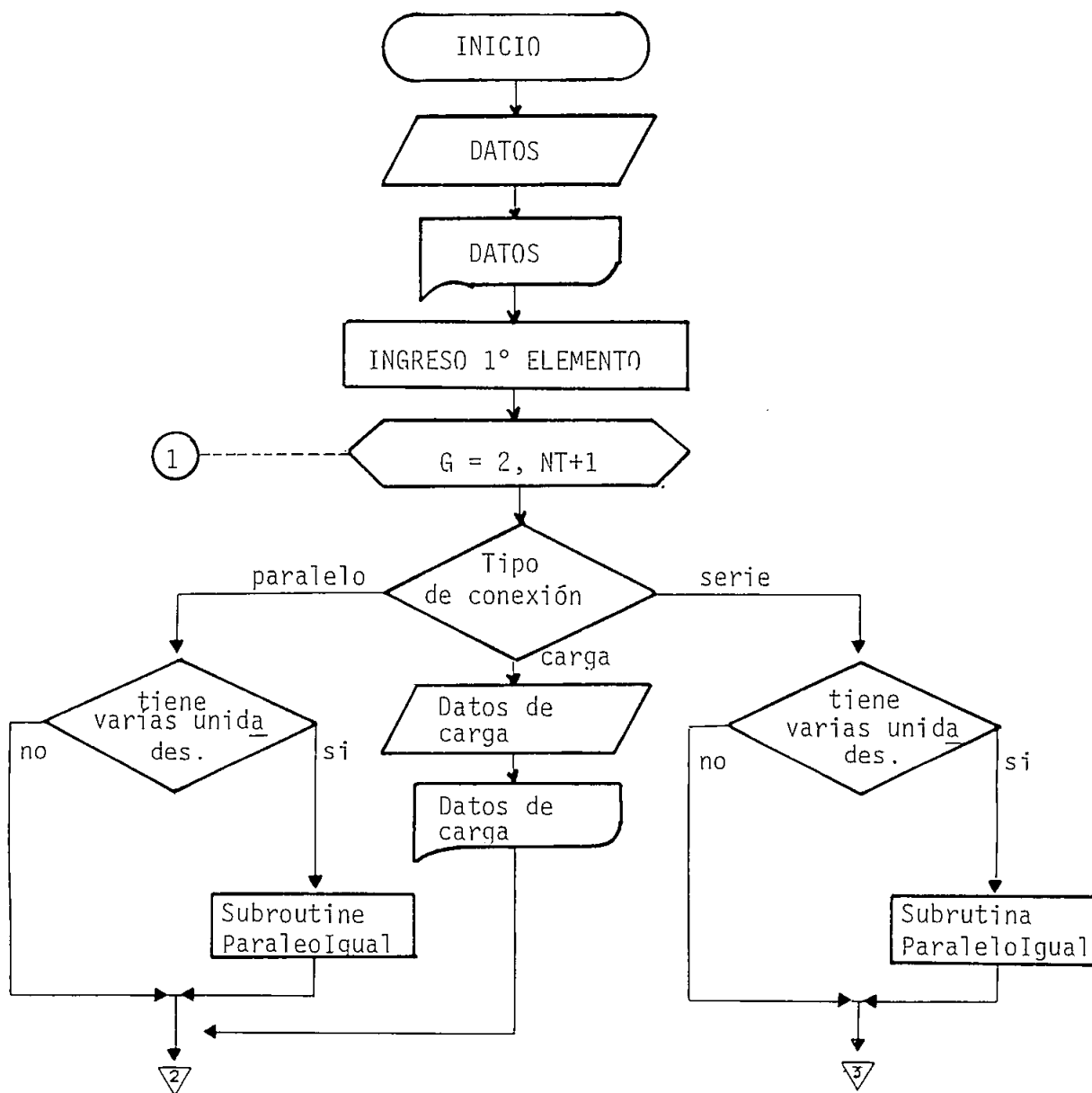
salida capacidad	capacidad operación	probabilidad acumulativa	frecuencia acumulativa
0	20	1.0	0.0
10	10	0.1074×10^{-2}	0.3294×10^{-3}
20	0	0.3750×10^{-6}	0.7656×10^{-6}

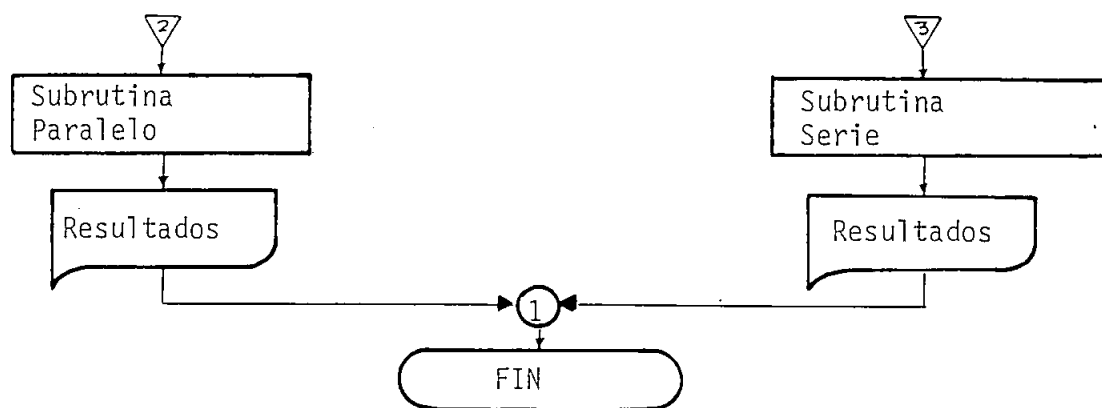
4.4. ALGORITMO PARA REALIZAR PASO A PASO LAS OPERACIONES

Con las ecuaciones obtenidas para los diferentes tipos de conexiones, se realiza un programa de computación en lenguaje FORTRAN que permitirá la utilización de las mismas, para obtener los índices de confiabilidad de un sistema radial.

Para la modelación de la carga también se realiza un programa, el mismo que permite obtener los índices de probabilidad y frecuencia acumulativas, los que ingresan como datos del último elemento en el programa mencionado anteriormente, obteniéndose de esta manera un cuadro de margen de carga y generación de todo el sistema.

A continuación se expone el algoritmo del programa para encontrar los índices del sistema:





La lectura de datos comprende dos partes: la primera, -
lee datos generales del sistema, CT, NT, NR;

- CT = Pico de carga anual del sistema en el punto final donde se encuentra concentrada la carga (Mw).
- NT = Es el número total de elementos, tanto de generación como de transmisión, tomando en cuenta que cuando existen unidades iguales conectadas en paralelo entre si, estas se las toma como un solo elemento.
- NR = Es el nivel de rango de análisis del sistema, expresado en Mw., el cual tiene que ser menor a la capacidad más pequeña de las unidades del sistema;

La segunda parte lee datos correspondientes a cada uno de los elementos del sistema, definiendo el número de estados de cada unidad, la conexión con el elemento anterior, el número de unidades iguales en paralelo y por último la tabla de salida de capacidad con sus respectivos índices.

Una vez ingresado el siguiente elemento, la subrutina paralela aplica las fórmulas (34) y (40) correspondien-

tes a la misma, con el elemento anterior; sus resultados se imprimen.

De igual forma, ingresado un elemento a la subrutina serie, aplica las fórmulas (59) y (66) correspondientes a ese tipo de conexión, con el elemento anterior; sus resultados obtenidos también se imprimen.

Si un elemento tiene varias unidades iguales, conectadas en paralelo entre sí, ingresa a la subrutina paralelo igual, en la que se aplica las fórmulas (49), (50) y (51) al mismo elemento; el resultado obtenido es la combinación paralelo de las unidades iguales, y entra como dato de un nuevo elemento a la subrutina, correspondiente a la conexión de dicho elemento, como se puede apreciar en la Fig. 19.

Una vez ingresado todos los elementos correspondientes a la generación y transmisión, lee los datos de la carga de un archivo que se encuentran en porcentaje del pico de carga anual; se obtienen los verdaderos estados de la carga, los mismos que entran como una unidad de generación negativa para combinarse con el resto del sistema en la subrutina paralelo, con el número de elemento $G=NT+1$, obteniéndose como resultado un cuadro de margen de generación y carga, que proporciona los índices del sistema.

Para la modelación de la carga, se han utilizado los datos presentados en la referencia /8/, los que se exponen a continuación:

PICO DE CARGA SEMANAL EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE PICO
DE CARGA ANUAL

SEMANA	PICO CARGA	SEMANA	PICO CARGA
1	86.2	27	75.5
2	90.0	28	81.6
3	87.8	29	80.1
4	83.4	30	88.0
5	88.0	31	72.2
6	84.1	32	77.6
7	83.2	33	80.0
8	80.6	34	72.9
9	74.0	35	72.6
10	73.7	36	70.5
11	71.5	37	78.0
12	72.7	38	69.5
13	70.4	39	72.4
14	75.0	40	72.4
15	72.1	41	74.3
16	80.0	42	74.4
17	75.4	43	80.0
18	83.7	44	88.1
19	87.0	45	88.5
20	88.0	46	90.9
21	85.6	47	94.0
22	81.1	48	89.0
23	90.0	49	94.2
24	88.7	50	97.0
25	89.6	51	100.0
26	86.1	52	95.2

PICO DE CARGA DIARIA EN PORCENTAJE DEL PICO SEMANAL

DIA	PICO CARGA
Lunes	93
Martes	100
Miércoles	98
Jueves	96
Viernes	94
Sábado	77
Domingo	75

PICO DE CARGA HORARIO EN PORCENTAJE DEL PICO DIARIO

HORA	1-8 44-52		18-30		9-17 31-43	
	SEMANA		SEMANA		SEMANA	
	ORDIN	FIN	ORDIN	FIN	ORDIN	FIN
12-1am	67	78	64	74	63	75
1-2	63	72	60	70	62	73
2-3	60	68	58	66	60	69
3-4	59	66	56	65	58	66
4-5	59	64	56	64	59	65
5-6	60	65	58	62	65	65
6-7	74	66	64	62	72	68
7-8	86	70	76	66	85	74
8-9	95	80	87	81	95	83
9-10	96	88	95	86	99	89
10-11	96	90	99	91	100	92
11-12	95	91	100	93	99	94
12-13	95	90	99	93	93	91
13-14	95	88	100	92	92	90
14-15	93	87	100	91	90	90
15-16	94	87	97	91	88	86
16-17	99	91	96	92	90	85
17-18	100	100	96	94	92	88

18-19	100	99	93	95	96	92
19-20	96	97	92	95	98	100
20-21	91	94	92	100	96	97
21-22	83	92	93	93	90	95
22-23	73	87	87	88	80	90
23-24	63	81	72	80	70	85

ORDIN = día ordinario de la semana

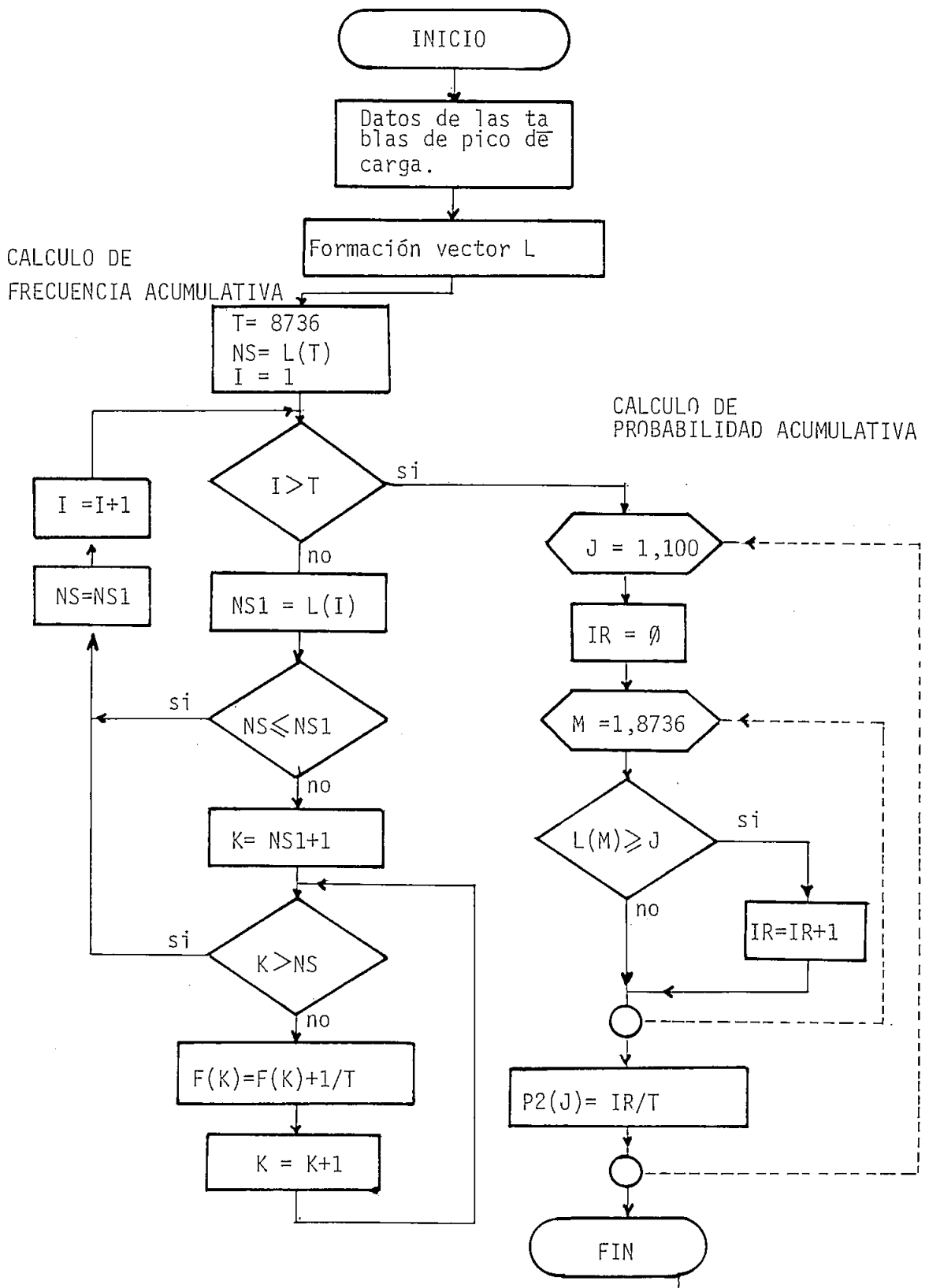
FIN = día de fin de semana

En base a la combinación de las tres tablas anteriores, se obtiene una curva de carga anual con 8736 datos, correspondiente a cada hora en el año, estos datos se almacenan en un vector L, que permitirá obtener los índices de probabilidad y frecuencia acumulativas de la carga. Este modelo es muy ventajoso, puesto que para ser utilizado en cualquier estudio, únicamente se requiere el pico de carga anual en el punto de análisis, el mismo que se introduce como dato en el programa explicado anteriormente.

Se obtienen los datos de carga en porcentaje, en una sola corrida del programa; se almacenan los resultados en un archivo, el mismo que se puede utilizar para el análisis de confiabilidad, sin necesidad de correr este programa cada vez que se requiera de dichos resultados.

El algoritmo del programa se describe a continuación tomando como base el análisis realizado en la sección 2.3 del capítulo II.

En los vectores F y P2 se encuentran almacenadas las frecuencias y probabilidades acumulativas respectivamente, estos datos se introducen en un archivo con el cual trabajará el primer programa.



V C A P I T U L O
=====

APLICACION DEL ALGORITMO Y EVALUACION DE RESULTADOS

Al programa desarrollado se le aplicarán dos sistemas : el primero, definido en el apéndice 1, que servirá de comprobación del programa, ya que sus resultados se encuentran en la referencia /7/, y, el segundo, definido en el capítulo III; que es el objetivo de esta tesis.

Secuencialmente se van obteniendo resultados parciales conforme se ingresan los elementos, hasta que finalmente el conjunto de generación y transmisión son combinados con la carga. El resultado es el margen de generación y carga que permitirá obtener los índices esperados.

La falla del sistema está dada por el primer margen de generación y carga negativo, puesto que los índices son de carácter acumulativo; es decir abarca todos los estados en los cuales la carga a excedido a la generación.

La duración de la falla se obtiene haciendo la relación entre la probabilidad y la frecuencia de falla de dicho estado de margen de generación y carga.

5.1. SISTEMA DE PRUEBA

5.1.1. RESULTADOS DEL PROGRAMA

Se incluye solamente las primeras tablas de los resultados parciales.

I
 I ELEMENTO # : 4
 I TIPO DE CONEXION : 2
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 6
 I

I	I	I	I	I	I	I	I
I	CAP.	OUTAGE	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.	I	I
I	I	0.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	I	50.0	I	0.99999998E-02	I	0.119999998E-01	I
I	I		I		I		I

I
 I ELEMENTO # : 5
 I TIPO DE CONEXION : 2
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 4
 I

I	I	I	I	I	I	I	I
I	CAP.	OUTAGE	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.	I	I
I	I	0.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	I	76.0	I	0.20000000E-01	I	0.119999998E-01	I
I	I		I		I		I

I I ELEMENTO # : 6 I
 I I TIPO DE CONEXION : 2 I
 I I # DE ELEMENTOS IGUALES : 3 I
 I I I

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.					
I	0.0	I	0.1000000E 01	I	0.0000000E 00	I			I
I	100.0	I	0.3999999E-01	I	0.17199997E-01	I			I
I		I		I		I			I

I I ELEMENTO # : 7 I
 I I TIPO DE CONEXION : 2 I
 I I # DE ELEMENTOS IGUALES : 4 I
 I I I

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.					
I	0.0	I	0.1000000E 01	I	0.0000000E 00	I			I
I	155.0	I	0.3999999E-01	I	0.23999996E-01	I			I
I		I		I		I			I

I ELEMENTO # : 8
 I TIPO DE CONEXION : 2
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 3
 I
 I

I	I	I	I	I	I	I	I
I	CAP.	OUTAGE	I	CAP.	OPERACION	I	PROBABILIDAD ACUM.
I	I	I	I	I	I	I	FRECUENCIA ACUM.
I	0.0	197.0	I	197.0	I	0.1000000E 01	0.0000000E 00
I	197.0	0.0	I	0.0	I	0.49999997E-01	0.28999996E-01
I			I		I		

I ELEMENTO # : 9
 I TIPO DE CONEXION : 2
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 1
 I
 I

I	I	I	I	I	I	I	I
I	CAP.	OUTAGE	I	CAP.	OPERACION	I	PROBABILIDAD ACUM.
I	I	I	I	I	I	I	FRECUENCIA ACUM.
I	0.0	350.0	I	350.0	I	0.1000000E 01	0.0000000E 00
I	350.0	0.0	I	0.0	I	0.79999998E-01	0.19199997E-01
I			I		I		

ELEMENTO # :		10									
TIPO DE CONEXION :		2									
# DE ELEMENTOS IGUALES :		2									
I	CAP. OUTAGE	I	CAP. OPERACION	I	PROBABILIDAD ACUM.	I	FRECUENCIA ACUM.				
I	0.0	I	400.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00				
I	400.0	I	0.0	I	0.11999999E 00	I	0.19199997E-01				
I		I		I		I					

I
I
I

R E S U L T A D O S P A R C I A L E S

I
I
I

I	220.0	I	220.0	I	0.60250088E-07	I	0.31443454E-06	I	1
I	230.0	I	210.0	I	0.14619992E-07	I	0.81941948E-07	I	1
I	240.0	I	200.0	I	0.86405283E-08	I	0.49239532E-07	I	1
I	250.0	I	190.0	I	0.18362716E-08	I	0.11119777E-07	I	1
I	260.0	I	180.0	I	0.81431284E-09	I	0.50813291E-08	I	1
I	270.0	I	170.0	I	0.27288161E-09	I	0.17584592E-08	I	1
I	280.0	I	160.0	I	0.65479025E-10	I	0.44511445E-09	I	1
I	290.0	I	150.0	I	0.34185564E-10	I	0.23595798E-09	I	1
I	300.0	I	140.0	I	0.60418103E-11	I	0.44006264E-10	I	1
I	310.0	I	130.0	I	0.27169348E-11	I	0.20175972E-10	I	1
I	320.0	I	120.0	I	0.61352963E-12	I	0.47174946E-11	I	1
I	330.0	I	110.0	I	0.14800707E-12	I	0.11820310E-11	I	1
I	340.0	I	100.0	I	0.59294014E-13	I	0.48126802E-12	I	1
I	350.0	I	90.0	I	0.86220737E-14	I	0.73418295E-13	I	1
I	360.0	I	80.0	I	0.38915785E-14	I	0.38518266E-13	I	1
I	370.0	I	70.0	I	0.44971076E-15	I	0.40501880E-14	I	1
I	380.0	I	60.0	I	0.11387169E-15	I	0.10419952E-14	I	1
I	390.0	I	50.0	I	0.98876720E-17	I	0.94048186E-16	I	1
I	400.0	I	40.0	I	0.38722744E-18	I	0.38358425E-17	I	1
I	410.0	I	30.0	I	0.77734250E-20	I	0.80130330E-19	I	1
I	420.0	I	20.0	I	0.90239856E-22	I	0.96532301E-21	I	1
I	430.0	I	10.0	I	0.31999955E-24	I	0.35583946E-23	I	1
I	440.0	I	0.0	I	0.31999955E-24	I	0.35583946E-23	I	1
I		I		I					1

I		I
I	TABLA DE SALIDA DE MARGEN DE CARGA Y GENERACION DEL SISTEMA	I
I		I

I I I I I
 TABLA DE SALIDA, CON EL INGRESO DEL ELEMENTO # : J.J.
 TIENE#274 IGUALES CONECTADAS EN PARALELO ENTRE SI Y SE
 ENCUENTRA CONECTADO EN PARALELO CON EL RESTO DE ELEMENTOS
 I I I I I

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
-2850.0	3400.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2840.0	3390.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2830.0	3380.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2820.0	3370.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2810.0	3360.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2800.0	3350.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2790.0	3340.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2780.0	3330.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2770.0	3320.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2760.0	3310.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2750.0	3300.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2740.0	3290.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2730.0	3280.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2720.0	3270.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2710.0	3260.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2700.0	3250.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2690.0	3240.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2680.0	3230.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2670.0	3220.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2660.0	3210.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2650.0	3200.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2640.0	3190.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2630.0	3180.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2620.0	3170.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05
-2610.0	3160.0	0.99996066E00	0.99996066E00										-0.15497355E-05

I	-2600.0	I	3150.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2590.0	I	3140.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2580.0	I	3130.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2570.0	I	3120.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2560.0	I	3110.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2550.0	I	3100.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2540.0	I	3090.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2530.0	I	3080.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2520.0	I	3070.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2510.0	I	3060.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2500.0	I	3050.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2490.0	I	3040.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2480.0	I	3030.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2470.0	I	3020.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2460.0	I	3010.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2450.0	I	3000.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2440.0	I	2990.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2430.0	I	2980.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2420.0	I	2970.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2410.0	I	2960.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2400.0	I	2950.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2390.0	I	2940.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2380.0	I	2930.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2370.0	I	2920.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2360.0	I	2910.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2350.0	I	2900.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2340.0	I	2890.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2330.0	I	2880.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2320.0	I	2870.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2310.0	I	2860.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2300.0	I	2850.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2290.0	I	2840.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2280.0	I	2830.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2270.0	I	2820.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2260.0	I	2810.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2250.0	I	2800.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2240.0	I	2790.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2230.0	I	2780.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2220.0	I	2770.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2210.0	I	2760.0	I	0.99996066E00	I	-0.15497355E-05	I

I	-2200.0	I	2750.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2190.0	I	2740.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2180.0	I	2730.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2170.0	I	2720.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2160.0	I	2710.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2150.0	I	2700.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2140.0	I	2690.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2130.0	I	2680.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2120.0	I	2670.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2110.0	I	2660.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2100.0	I	2650.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2090.0	I	2640.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2080.0	I	2630.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2070.0	I	2620.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2060.0	I	2610.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2050.0	I	2600.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2040.0	I	2590.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2030.0	I	2580.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2020.0	I	2570.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2010.0	I	2560.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-2000.0	I	2550.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1990.0	I	2540.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1980.0	I	2530.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1970.0	I	2520.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1960.0	I	2510.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1950.0	I	2500.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1940.0	I	2490.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1930.0	I	2480.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1920.0	I	2470.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1910.0	I	2460.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1900.0	I	2450.0	I	0.99996066E 00	I	-0.15497355E-05	I
I	-1890.0	I	2440.0	I	0.99996066E 00	I	0.70273376E-03	I
I	-1880.0	I	2430.0	I	0.99996066E 00	I	0.77121938E-03	I
I	-1870.0	I	2420.0	I	0.99996066E 00	I	0.33452269E-02	I
I	-1860.0	I	2410.0	I	0.99996066E 00	I	0.35858504E-02	I
I	-1850.0	I	2400.0	I	0.99996066E 00	I	0.45373291E-02	I
I	-1840.0	I	2390.0	I	0.99996066E 00	I	0.12609830E-01	I
I	-1830.0	I	2380.0	I	0.99996066E 00	I	0.13511408E-01	I
I	-1820.0	I	2370.0	I	0.99996066E 00	I	0.16973965E-01	I
I	-1810.0	I	2360.0	I	0.99996066E 00	I	0.26739240E-01	I
I		I		I	0.99996066E 00	I	0.28372955E-01	I

I	-1800.0	I	0.99454439E 00	I	0.32797858E-01	I
I	-1790.0	I	0.99298084E 00	I	0.40148839E-01	I
I	-1780.0	I	0.99252188E 00	I	0.42434283E-01	I
I	-1770.0	I	0.99174333E 00	I	0.45776248E-01	I
I	-1760.0	I	0.98982012E 00	I	0.55470668E-01	I
I	-1750.0	I	0.98919654E 00	I	0.58678336E-01	I
I	-1740.0	I	0.98826075E 00	I	0.62866852E-01	I
I	-1730.0	I	0.98530996E 00	I	0.77840969E-01	I
I	-1720.0	I	0.98453963E 00	I	0.81451803E-01	I
I	-1710.0	I	0.98312533E 00	I	0.87865219E-01	I
I	-1700.0	I	0.97860968E 00	I	0.11391947E 00	I
I	-1690.0	I	0.97749400E 00	I	0.11911890E 00	I
I	-1680.0	I	0.97088933E 00	I	0.15603042E 00	I
I	-1670.0	I	0.96975124E 00	I	0.16176972E 00	I
I	-1660.0	I	0.96667659E 00	I	0.17746010E 00	I
I	-1650.0	I	0.96077240E 00	I	0.20651281E 00	I
I	-1640.0	I	0.95926988E 00	I	0.21318796E 00	I
I	-1630.0	I	0.95552373E 00	I	0.23039904E 00	I
I	-1620.0	I	0.94936395E 00	I	0.25804764E 00	I
I	-1610.0	I	0.94712627E 00	I	0.26783836E 00	I
I	-1600.0	I	0.94332814E 00	I	0.28371924E 00	I
I	-1590.0	I	0.93766737E 00	I	0.31185734E 00	I
I	-1580.0	I	0.93472564E 00	I	0.32486945E 00	I
I	-1570.0	I	0.93157017E 00	I	0.33873576E 00	I
I	-1560.0	I	0.92550051E 00	I	0.36382890E 00	I
I	-1550.0	I	0.92239785E 00	I	0.37702620E 00	I
I	-1540.0	I	0.91899371E 00	I	0.38995755E 00	I
I	-1530.0	I	0.91139960E 00	I	0.42261893E 00	I
I	-1520.0	I	0.90880108E 00	I	0.43272901E 00	I
I	-1510.0	I	0.89844978E 00	I	0.47157645E 00	I
I	-1500.0	I	0.89564013E 00	I	0.48244929E 00	I
I	-1490.0	I	0.89001071E 00	I	0.50305426E 00	I
I	-1480.0	I	0.88131416E 00	I	0.52830827E 00	I
I	-1470.0	I	0.87791395E 00	I	0.54004908E 00	I
I	-1460.0	I	0.87181532E 00	I	0.55780256E 00	I
I	-1450.0	I	0.86274326E 00	I	0.58478570E 00	I
I	-1440.0	I	0.85858793E 00	I	0.59801054E 00	I
I	-1430.0	I	0.85247874E 00	I	0.61542022E 00	I
I	-1420.0	I	0.84399796E 00	I	0.63226628E 00	I
I	-1410.0	I	0.83909118E 00	I	0.64550543E 00	I

I	-1400.0	I	1950.0	I	0.83397055E 00	I	0.65605056E 00	I
I	-1390.0	I	1940.0	I	0.82579231E 00	I	0.67004538E 00	I
I	-1380.0	I	1930.0	I	0.82105803E 00	I	0.68166518E 00	I
I	-1370.0	I	1920.0	I	0.81613672E 00	I	0.68997896E 00	I
I	-1360.0	I	1910.0	I	0.80598474E 00	I	0.71365726E 00	I
I	-1350.0	I	1900.0	I	0.80190229E 00	I	0.72257137E 00	I
I	-1340.0	I	1890.0	I	0.79594243E 00	I	0.73557460E 00	I
I	-1330.0	I	1880.0	I	0.78675008E 00	I	0.75122142E 00	I
I	-1320.0	I	1870.0	I	0.78206241E 00	I	0.75977278E 00	I
I	-1310.0	I	1860.0	I	0.77224994E 00	I	0.76951873E 00	I
I	-1300.0	I	1850.0	I	0.76693606E 00	I	0.78391576E 00	I
I	-1290.0	I	1840.0	I	0.76062322E 00	I	0.79112744E 00	I
I	-1280.0	I	1830.0	I	0.75156188E 00	I	0.80492651E 00	I
I	-1270.0	I	1820.0	I	0.74706435E 00	I	0.81137776E 00	I
I	-1260.0	I	1810.0	I	0.74017739E 00	I	0.82013559E 00	I
I	-1250.0	I	1800.0	I	0.73161006E 00	I	0.83066714E 00	I
I	-1240.0	I	1790.0	I	0.72669971E 00	I	0.83658898E 00	I
I	-1230.0	I	1780.0	I	0.72038531E 00	I	0.84270442E 00	I
I	-1220.0	I	1770.0	I	0.71246719E 00	I	0.85021830E 00	I
I	-1210.0	I	1760.0	I	0.70708799E 00	I	0.85571766E 00	I
I	-1200.0	I	1750.0	I	0.70170641E 00	I	0.86026359E 00	I
I	-1190.0	I	1740.0	I	0.69324839E 00	I	0.86591601E 00	I
I	-1180.0	I	1730.0	I	0.68811297E 00	I	0.87063146E 00	I
I	-1170.0	I	1720.0	I	0.68252218E 00	I	0.87423885E 00	I
I	-1160.0	I	1710.0	I	0.67262006E 00	I	0.87339375E 00	I
I	-1150.0	I	1700.0	I	0.66859162E 00	I	0.89760137E 00	I
I	-1140.0	I	1690.0	I	0.66249788E 00	I	0.90577555E 00	I
I	-1130.0	I	1680.0	I	0.65244853E 00	I	0.91342354E 00	I
I	-1120.0	I	1670.0	I	0.64774394E 00	I	0.91565907E 00	I
I	-1110.0	I	1660.0	I	0.63545036E 00	I	0.93137455E 00	I
I	-1100.0	I	1650.0	I	0.63094559E 00	I	0.93488455E 00	I
I	-1090.0	I	1640.0	I	0.62386572E 00	I	0.94168997E 00	I
I	-1080.0	I	1630.0	I	0.61338723E 00	I	0.94713497E 00	I
I	-1070.0	I	1620.0	I	0.60866356E 00	I	0.94931149E 00	I
I	-1060.0	I	1610.0	I	0.60104167E 00	I	0.95242274E 00	I
I	-1050.0	I	1600.0	I	0.59116375E 00	I	0.96647441E 00	I
I	-1040.0	I	1590.0	I	0.58572638E 00	I	0.96914530E 00	I
I	-1030.0	I	1580.0	I	0.57882464E 00	I	0.97407281E 00	I
I	-1020.0	I	1570.0	I	0.56838894E 00	I	0.97639620E 00	I
I	-1010.0	I	1560.0	I	0.56214058E 00	I	0.98093069E 00	I

I	-1000.0	I	1550.0	I	0.55578542E 00	I	0.98049164E 00	I
I	-990.0	I	1540.0	I	0.54572582E 00	I	0.98376489E 00	I
I	-980.0	I	1530.0	I	0.53981113E 00	I	0.98434699E 00	I
I	-970.0	I	1520.0	I	0.53347492E 00	I	0.98527122E 00	I
I	-960.0	I	1510.0	I	0.52139962E 00	I	0.98277068E 00	I
I	-950.0	I	1500.0	I	0.51673281E 00	I	0.98356664E 00	I
I	-940.0	I	1490.0	I	0.50395274E 00	I	0.97108579E 00	I
I	-930.0	I	1480.0	I	0.49793148E 00	I	0.97056019E 00	I
I	-920.0	I	1470.0	I	0.49029255E 00	I	0.964463180E 00	I
I	-910.0	I	1460.0	I	0.48036718E 00	I	0.94977069E 00	I
I	-900.0	I	1450.0	I	0.47522748E 00	I	0.94870532E 00	I
I	-890.0	I	1440.0	I	0.46773005E 00	I	0.93873882E 00	I
I	-880.0	I	1430.0	I	0.45826840E 00	I	0.92897570E 00	I
I	-870.0	I	1420.0	I	0.45252949E 00	I	0.92321527E 00	I
I	-860.0	I	1410.0	I	0.44530594E 00	I	0.91628826E 00	I
I	-850.0	I	1400.0	I	0.43667984E 00	I	0.90129101E 00	I
I	-840.0	I	1390.0	I	0.43056679E 00	I	0.89373607E 00	I
I	-830.0	I	1380.0	I	0.42454922E 00	I	0.88421512E 00	I
I	-820.0	I	1370.0	I	0.41592324E 00	I	0.86742389E 00	I
I	-810.0	I	1360.0	I	0.41008413E 00	I	0.85928500E 00	I
I	-800.0	I	1350.0	I	0.40445882E 00	I	0.84930074E 00	I
I	-790.0	I	1340.0	I	0.39491296E 00	I	0.83682168E 00	I
I	-780.0	I	1330.0	I	0.39019424E 00	I	0.82990789E 00	I
I	-770.0	I	1320.0	I	0.38387418E 00	I	0.82036495E 00	I
I	-760.0	I	1310.0	I	0.37501150E 00	I	0.81274009E 00	I
I	-750.0	I	1300.0	I	0.37018061E 00	I	0.80341947E 00	I
I	-740.0	I	1290.0	I	0.36107934E 00	I	0.79027331E 00	I
I	-730.0	I	1280.0	I	0.35522074E 00	I	0.78236902E 00	I
I	-720.0	I	1270.0	I	0.34924954E 00	I	0.76991367E 00	I
I	-710.0	I	1260.0	I	0.34003425E 00	I	0.76156342E 00	I
I	-700.0	I	1250.0	I	0.33549124E 00	I	0.75369453E 00	I
I	-690.0	I	1240.0	I	0.32887793E 00	I	0.74395311E 00	I
I	-680.0	I	1230.0	I	0.32033980E 00	I	0.73996174E 00	I
I	-670.0	I	1220.0	I	0.31534904E 00	I	0.73122144E 00	I
I	-660.0	I	1210.0	I	0.30916667E 00	I	0.72379875E 00	I
I	-650.0	I	1200.0	I	0.30110294E 00	I	0.72049081E 00	I
I	-640.0	I	1190.0	I	0.29588622E 00	I	0.71314049E 00	I
I	-630.0	I	1180.0	I	0.29042464E 00	I	0.70658064E 00	I
I	-620.0	I	1170.0	I	0.28215724E 00	I	0.69323695E 00	I
I	-610.0	I	1160.0	I	0.27695876E 00	I	0.68618429E 00	I

I	-600.0	I	1150.0	I	0.27161092E 00	I	0.67599428E 00	I
I	-590.0	I	1140.0	I	0.26211882E 00	I	0.67144132E 00	I
I	-580.0	I	1130.0	I	0.25300592E 00	I	0.66651237E 00	I
I	-570.0	I	1120.0	I	0.25218403E 00	I	0.66004825E 00	I
I	-560.0	I	1110.0	I	0.24287498E 00	I	0.64329958E 00	I
I	-550.0	I	1100.0	I	0.23845237E 00	I	0.63591325E 00	I
I	-540.0	I	1090.0	I	0.22758994E 00	I	0.62243795E 00	I
I	-530.0	I	1080.0	I	0.22334445E 00	I	0.61620168E 00	I
I	-520.0	I	1070.0	I	0.21685845E 00	I	0.60706139E 00	I
I	-510.0	I	1060.0	I	0.20902583E 00	I	0.59096813E 00	I
I	-500.0	I	1050.0	I	0.20479834E 00	I	0.58375239E 00	I
I	-490.0	I	1040.0	I	0.19855002E 00	I	0.57215786E 00	I
I	-480.0	I	1030.0	I	0.19151384E 00	I	0.55725491E 00	I
I	-470.0	I	1020.0	I	0.18681598E 00	I	0.54750025E 00	I
I	-460.0	I	1010.0	I	0.18138885E 00	I	0.53569794E 00	I
I	-450.0	I	1000.0	I	0.17473343E 00	I	0.51592302E 00	I
I	-440.0	I	990.0	I	0.16967082E 00	I	0.50669026E 00	I
I	-430.0	I	980.0	I	0.16519901E 00	I	0.49355519E 00	I
I	-420.0	I	970.0	I	0.15917927E 00	I	0.47859472E 00	I
I	-410.0	I	960.0	I	0.15476125E 00	I	0.46701688E 00	I
I	-400.0	I	950.0	I	0.15050960E 00	I	0.45687050E 00	I
I	-390.0	I	940.0	I	0.14346564E 00	I	0.43995136E 00	I
I	-380.0	I	930.0	I	0.14030257E 00	I	0.43151337E 00	I
I	-370.0	I	920.0	I	0.13394180E 00	I	0.41741258E 00	I
I	-360.0	I	910.0	I	0.12974069E 00	I	0.40826643E 00	I
I	-350.0	I	900.0	I	0.12541696E 00	I	0.39790100E 00	I
I	-340.0	I	890.0	I	0.12021354E 00	I	0.38028342E 00	I
I	-330.0	I	880.0	I	0.11679429E 00	I	0.37183565E 00	I
I	-320.0	I	870.0	I	0.11274287E 00	I	0.35803676E 00	I
I	-310.0	I	860.0	I	0.10824813E 00	I	0.34777480E 00	I
I	-300.0	I	850.0	I	0.10493171E 00	I	0.33843577E 00	I
I	-290.0	I	840.0	I	0.10117960E 00	I	0.32806367E 00	I
I	-280.0	I	830.0	I	0.97259313E-01	I	0.31593847E 00	I
I	-270.0	I	820.0	I	0.94008729E-01	I	0.30590236E 00	I
I	-260.0	I	810.0	I	0.90988457E-01	I	0.29585129E 00	I
I	-250.0	I	800.0	I	0.87426722E-01	I	0.28757042E 00	I
I	-240.0	I	790.0	I	0.84415734E-01	I	0.27895033E 00	I
I	-230.0	I	780.0	I	0.81849560E-01	I	0.27177519E 00	I
I	-220.0	I	770.0	I	0.78184918E-01	I	0.26168060E 00	I
I	-210.0	I	760.0	I	0.75761661E-01	I	0.25480437E 00	I

I	-200.0	I	750.0	I	0.73027670E-01	I	0.24664563E 00	I	I
I	-190.0	I	740.0	I	0.69066331E-01	I	0.23880145E 00	I	I
I	-180.0	I	730.0	I	0.67014173E-01	I	0.23316523E 00	I	I
I	-170.0	I	720.0	I	0.64276457E-01	I	0.22436410E 00	I	I
I	-160.0	I	710.0	I	0.61156869E-01	I	0.21591204E 00	I	I
I	-150.0	I	700.0	I	0.59114076E-01	I	0.20852253E 00	I	I
I	-140.0	I	690.0	I	0.55633135E-01	I	0.20114458E 00	I	I
I	-130.0	I	680.0	I	0.53738244E-01	I	0.19487613E 00	I	I
I	-120.0	I	670.0	I	0.51345699E-01	I	0.18877187E 00	I	I
I	-110.0	I	660.0	I	0.48808821E-01	I	0.18095073E 00	I	I
I	-100.0	I	650.0	I	0.47009557E-01	I	0.17515695E 00	I	I
I	-90.0	I	640.0	I	0.44874139E-01	I	0.16861209E 00	I	I
I	-80.0	I	630.0	I	0.42718768E-01	I	0.16166902E 00	I	I
I	-70.0	I	620.0	I	0.41000687E-01	I	0.15600109E 00	I	I
I	-60.0	I	610.0	I	0.39272621E-01	I	0.15038303E 00	I	I
I	-50.0	I	600.0	I	0.37344597E-01	I	0.14286527E 00	I	I
I	-40.0	I	590.0	I	0.35568468E-01	I	0.13787431E 00	I	I
I	-30.0	I	580.0	I	0.34158416E-01	I	0.13241079E 00	I	I
I	-20.0	I	570.0	I	0.32271311E-01	I	0.12666872E 00	I	I
I	-10.0	I	560.0	I	0.30997224E-01	I	0.12228326E 00	I	I
I	0.0	I	550.0	I	0.29567562E-01	I	0.11780231E 00	I	I
I	10.0	I	540.0	I	0.27649034E-01	I	0.11097173E 00	I	I
I	20.0	I	530.0	I	0.26634540E-01	I	0.10701762E 00	I	I
I	30.0	I	520.0	I	0.24822082E-01	I	0.10150966E 00	I	I
I	40.0	I	510.0	I	0.23752313E-01	I	0.97936168E-01	I	I
I	50.0	I	500.0	I	0.22496197E-01	I	0.93970627E-01	I	I
I	60.0	I	490.0	I	0.21246668E-01	I	0.88464499E-01	I	I
I	70.0	I	480.0	I	0.20286478E-01	I	0.84896952E-01	I	I
I	80.0	I	470.0	I	0.19222133E-01	I	0.80404028E-01	I	I
I	90.0	I	460.0	I	0.18202070E-01	I	0.76913431E-01	I	I
I	100.0	I	450.0	I	0.17303556E-01	I	0.73623687E-01	I	I
I	110.0	I	440.0	I	0.16406231E-01	I	0.70181966E-01	I	I
I	120.0	I	430.0	I	0.15555905E-01	I	0.66153318E-01	I	I
I	130.0	I	420.0	I	0.14718691E-01	I	0.62959671E-01	I	I
I	140.0	I	410.0	I	0.14064064E-01	I	0.59867077E-01	I	I
I	150.0	I	400.0	I	0.13295354E-01	I	0.57106234E-01	I	I
I	160.0	I	390.0	I	0.12574706E-01	I	0.54248735E-01	I	I
I	170.0	I	380.0	I	0.11987844E-01	I	0.51979005E-01	I	I
I	180.0	I	370.0	I	0.11238828E-01	I	0.49122714E-01	I	I
I	190.0	I	360.0	I	0.10726955E-01	I	0.47173873E-01	I	I

I	200.0	I	0.10113895E-01	I	0.44708498E-01	I
I	210.0	I	0.98887728E-02	I	0.42331316E-01	I
I	220.0	I	0.89300629E-02	I	0.40483646E-01	I
I	230.0	I	0.83701909E-02	I	0.37970655E-01	I
I	240.0	I	0.78731626E-02	I	0.36104947E-01	I
I	250.0	I	0.74636713E-02	I	0.34128711E-01	I
I	260.0	I	0.69453735E-02	I	0.32311030E-01	I
I	270.0	I	0.65709762E-02	I	0.30590367E-01	I
I	280.0	I	0.61684735E-02	I	0.29054679E-01	I
I	290.0	I	0.57920404E-02	I	0.27402833E-01	I
I	300.0	I	0.54610847E-02	I	0.25912467E-01	I
I	310.0	I	0.51291930E-02	I	0.24451811E-01	I
I	320.0	I	0.48190588E-02	I	0.23061480E-01	I
I	330.0	I	0.45348871E-02	I	0.21804288E-01	I
I	340.0	I	0.42846361E-02	I	0.20711750E-01	I
I	350.0	I	0.40267259E-02	I	0.19422352E-01	I
I	360.0	I	0.37487885E-02	I	0.18310746E-01	I
I	370.0	I	0.35410235E-02	I	0.17287031E-01	I
I	380.0	I	0.32700214E-02	I	0.16252693E-01	I
I	390.0	I	0.31047855E-02	I	0.15510114E-01	I
I	400.0	I	0.28879810E-02	I	0.14635652E-01	I
I	410.0	I	0.26634703E-02	I	0.13512947E-01	I
I	420.0	I	0.25121644E-02	I	0.12745243E-01	I
I	430.0	I	0.23072124E-02	I	0.11865450E-01	I
I	440.0	I	0.21679662E-02	I	0.11239547E-01	I
I	450.0	I	0.20167208E-02	I	0.10580914E-01	I
I	460.0	I	0.18767021E-02	I	0.98634511E-02	I
I	470.0	I	0.17553191E-02	I	0.92311800E-02	I
I	480.0	I	0.16331219E-02	I	0.86163674E-02	I
I	490.0	I	0.15266787E-02	I	0.80994740E-02	I
I	500.0	I	0.14243526E-02	I	0.76137129E-02	I
I	510.0	I	0.13277445E-02	I	0.71159890E-02	I
I	520.0	I	0.12393743E-02	I	0.66227843E-02	I
I	530.0	I	0.11465561E-02	I	0.62027201E-02	I
I	540.0	I	0.10829696E-02	I	0.58299452E-02	I
I	550.0	I	0.10013611E-02	I	0.54592732E-02	I
I	560.0	I	0.92664897E-03	I	0.50745113E-02	I
I	570.0	I	0.86227676E-03	I	0.47658514E-02	I
I	580.0	I	0.79280476E-03	I	0.44050757E-02	I
I	590.0	I	0.74399926E-03	I	0.41728402E-02	I

I	600.0	I	-50.0	I	0.68332104E-03	I	0.38481057E-02	I
I	610.0	I	-60.0	I	0.62451605E-03	I	0.35823984E-02	I
I	620.0	I	-70.0	I	0.58008789E-03	I	0.33396063E-02	I
I	630.0	I	-80.0	I	0.52996096E-03	I	0.30750376E-02	I
I	640.0	I	-90.0	I	0.49155578E-03	I	0.28734258E-02	I
I	650.0	I	-100.0	I	0.45527483E-03	I	0.26686434E-02	I
I	660.0	I	-110.0	I	0.41795254E-03	I	0.24680323E-02	I
I	670.0	I	-120.0	I	0.38588594E-03	I	0.22871778E-02	I
I	680.0	I	-130.0	I	0.35535247E-03	I	0.21264632E-02	I
I	690.0	I	-140.0	I	0.32895582E-03	I	0.19740309E-02	I
I	700.0	I	-150.0	I	0.30335819E-03	I	0.18203936E-02	I
I	710.0	I	-160.0	I	0.27959782E-03	I	0.16864254E-02	I
I	720.0	I	-170.0	I	0.25769864E-03	I	0.15593024E-02	I
I	730.0	I	-180.0	I	0.23694412E-03	I	0.14446757E-02	I
I	740.0	I	-190.0	I	0.22057071E-03	I	0.13527032E-02	I
I	750.0	I	-200.0	I	0.20285891E-03	I	0.12442099E-02	I
I		I		I				I

5.1.2. EVALUACION DE RESULTADOS

Del cuadro de margen de generación y carga se tiene:

- Margen negativo = -10 Mw.
- Probabilidad de falla del sistema = 0.9266×10^{-3}
- Frecuencia de falla = 0.5075×10^{-2}

Esto nos indicaría que la probabilidad de falla del sistema es del orden del 0.9%, y la frecuencia de falla está alrededor del 0.5%.

Por lo tanto, la duración esperada de la falla es:

$$\begin{aligned}
 \text{Duración esperada de la falla} &= \frac{\text{probabilidad de falla}}{\text{frecuencia de falla}} \\
 &= \frac{0.9266 \times 10^{-3}}{0.5075 \times 10^{-2}} \\
 &= 0.1826 \text{ días} \\
 &= 4.38 \text{ horas}
 \end{aligned}$$

5.2. SISTEMA PAUTE

5.2.1. RESULTADOS DEL PROGRAMA

Se incluye solamente las primeras tablas de los resultados parciales, ya que el interés primordial es la tabla de margen de generación y carga.

I
 I
 I
 I
 I
 I
 I
 I

D A T O S D E L S I S T E M A

PICO DE CARGA ANUAL : 420.00 MW.
 NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS : 6
 NIVEL DE RANGO DE RANGO DE ANALISIS : 10 MW.

I
 I
 I
 I
 I
 I
 I

I
 I
 I
 I
 I

ELEMENTO # : 1

TIPO DE CONEXION : 1
 # DE ELEMENTOS IGUALES : 1

I	I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	I	CAP.	OPERACION	I	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.
I	0.0	I	100.0	I	0.1000000E 01	I	0.0000000E 00
I	100.0	I	0.0	I	0.9999999E-02	I	0.1199999E-01
I		I		I		I	

I
 I
 I
 I
 I

ELEMENTO # : 2						
TIPO DE CONEXION : 2						
# DE ELEMENTOS IGUALES : 4						
I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	CAP.	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.	
I	0.0	I	100.0	I	0.0000000E 00	I
I	100.0	I	0.0	I	0.119999998E-01	I
I		I		I		I

ELEMENTO # : 3						
TIPO DE CONEXION : 1						
# DE ELEMENTOS IGUALES : 5						
I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	CAP.	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.	
I	0.0	I	112.0	I	0.0000000E 00	I
I	112.0	I	0.0	I	0.574299998E-04	I
I		I		I		I

I
 I ELEMENTO # : 4
 I TIPO DE CONEXION : 1
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 6
 I
 I

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	CAP.	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.				
I	0.0	I	112.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I	
I	112.0	I	0.0	I	0.18379998E-02	I	0.57429999E-04	I	
I		I		I		I		I	

I
 I ELEMENTO # : 5
 I TIPO DE CONEXION : 1
 I # DE ELEMENTOS IGUALES : 2
 I
 I

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CAP.	OUTAGE	CAP.	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.				
I	0.0	I	226.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I	
I	226.0	I	0.0	I	0.67359989E-03	I	0.15919998E-02	I	
I		I		I		I		I	

I
I
I

RESULTADOS PARCIALES

I
I
I

TABLA DE SALIDA, CON EL INGRESO DEL ELEMENTO # : 2,
 TIENE 4 IGUALES CONECTADAS EN PARALELO ENTRE SI Y SE
 ENCUENTRA CONECTADO EN PARALELO CON EL RESTO DE ELEMENTOS

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
CAP. DUTAGE (MM.)	CAP. DUTAGE (MM.)	CAP. DUTAGE (MM.)	CAP. DUTAGE (MM.)	CAP. DUTAGE (MM.)	CAP. DUTAGE (MM.)	OPERACION	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.					
0.0	0.0					I	0.99999917E 00	--0.18626451E-08	I				
10.0	10.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
20.0	20.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
30.0	30.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
40.0	40.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
50.0	50.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
60.0	60.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
70.0	70.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
80.0	80.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
90.0	90.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
100.0	100.0					I	0.49009912E-01	0.57635710E-01	I				
110.0	110.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
120.0	120.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
130.0	130.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
140.0	140.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
150.0	150.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
160.0	160.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
170.0	170.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
180.0	180.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
190.0	190.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
200.0	200.0					I	0.98014879E-03	0.23287158E-02	I				
210.0	210.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				
220.0	220.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				
230.0	230.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				
240.0	240.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				
250.0	250.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				
260.0	260.0					I	0.98505934E-05	0.35283578E-04	I				

I	270. 0	I	230. 0	I	0. 98505934E-05	I	0. 35283578E-04	I
I	280. 0	I	220. 0	I	0. 98505934E-05	I	0. 35283578E-04	I
I	290. 0	I	210. 0	I	0. 98505934E-05	I	0. 35283578E-04	I
I	300. 0	I	200. 0	I	0. 98505934E-05	I	0. 35283578E-04	I
I	310. 0	I	190. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	320. 0	I	180. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	330. 0	I	170. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	340. 0	I	160. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	350. 0	I	150. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	360. 0	I	140. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	370. 0	I	130. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	380. 0	I	120. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	390. 0	I	110. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	400. 0	I	100. 0	I	0. 49599983E-07	I	0. 23759989E-06	I
I	410. 0	I	90. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	420. 0	I	80. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	430. 0	I	70. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	440. 0	I	60. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	450. 0	I	50. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	460. 0	I	40. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	470. 0	I	30. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	480. 0	I	20. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	490. 0	I	10. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I	500. 0	I	0. 0	I	0. 99999967E-10	I	0. 59999972E-09	I
I		I		I				I

I	270.0	I	230.0	I	0.98506498E-05	I	0.35283578E-04	I
I	280.0	I	220.0	I	0.98506498E-05	I	0.35283578E-04	I
I	290.0	I	210.0	I	0.98506498E-05	I	0.35283578E-04	I
I	300.0	I	200.0	I	0.98506498E-05	I	0.35283578E-04	I
I	310.0	I	190.0	I	0.49656961E-07	I	0.23760700E-06	I
I	320.0	I	180.0	I	0.49656961E-07	I	0.23760700E-06	I
I	330.0	I	170.0	I	0.49656961E-07	I	0.23760700E-06	I
I	340.0	I	160.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	350.0	I	150.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	360.0	I	140.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	370.0	I	130.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	380.0	I	120.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	390.0	I	110.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	400.0	I	100.0	I	0.49599997E-07	I	0.23759989E-06	I
I	410.0	I	90.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	420.0	I	80.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	430.0	I	70.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	440.0	I	60.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	450.0	I	50.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	460.0	I	40.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	470.0	I	30.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	480.0	I	20.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	490.0	I	10.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I	500.0	I	0.0	I	0.10002094E-09	I	0.60000294E-09	I
I		I		I		I		I

TABLA DE SALIDA DE LA CARGA						
I	I	I	I	I	I	I
CAP. OUTAGE (MW.)	CAP. OPERACION (MW.)	PROBABILIDAD ACUM.	FRECUENCIA ACUM.			
-420.0	0.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-415.8	-4.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-411.6	-8.4	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-407.4	-12.6	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-403.2	-16.8	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-399.0	-21.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-394.8	-25.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-390.6	-29.4	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-386.4	-33.6	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-382.2	-37.8	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-378.0	-42.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-373.8	-46.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-369.6	-50.4	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-365.4	-54.6	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-361.2	-58.8	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-357.0	-63.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-352.8	-67.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-348.6	-71.4	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-344.4	-75.6	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-340.2	-79.8	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-336.0	-84.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-331.8	-88.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-327.6	-92.4	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-323.4	-96.6	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-319.2	-100.8	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-315.0	-105.0	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I
-310.8	-109.2	0.10000000E 01	0.00000000E 00	I	I	I

I	-306.6	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-302.4	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-298.2	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-294.0	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-289.8	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-285.6	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-281.4	I	0.10000000E 01	I	0.00000000E 00	I
I	-277.2	I	0.99965656E 00	I	0.27472526E-02	I
I	-273.0	I	0.99759603E 00	I	0.10989008E-01	I
I	-268.8	I	0.99255931E 00	I	0.41208789E-01	I
I	-264.6	I	0.98637819E 00	I	0.76923057E-01	I
I	-260.4	I	0.98019671E 00	I	0.10164829E 00	I
I	-256.2	I	0.97275639E 00	I	0.13461527E 00	I
I	-252.0	I	0.96165287E 00	I	0.18406558E 00	I
I	-247.8	I	0.94471133E 00	I	0.27197719E 00	I
I	-243.6	I	0.92593849E 00	I	0.36813045E 00	I
I	-239.4	I	0.90407491E 00	I	0.46153659E 00	I
I	-235.2	I	0.88060680E 00	I	0.55219436E 00	I
I	-231.0	I	0.86034787E 00	I	0.64285111E 00	I
I	-226.8	I	0.83974349E 00	I	0.71427786E 00	I
I	-222.6	I	0.81696427E 00	I	0.79669309E 00	I
I	-218.4	I	0.79132318E 00	I	0.87086689E 00	I
I	-214.2	I	0.76270592E 00	I	0.92855775E 00	I
I	-210.0	I	0.73248613E 00	I	0.99174273E 00	I
I	-205.8	I	0.70604372E 00	I	0.10109730E 01	I
I	-201.6	I	0.68269229E 00	I	0.10219610E 01	I
I	-197.4	I	0.65613532E 00	I	0.10576730E 01	I
I	-193.2	I	0.63518751E 00	I	0.10576730E 01	I
I	-189.0	I	0.61492670E 00	I	0.10549259E 01	I
I	-184.8	I	0.59500909E 00	I	0.10411899E 01	I
I	-180.6	I	0.57486260E 00	I	0.10274549E 01	I
I	-176.4	I	0.55826449E 00	I	0.10082259E 01	I
I	-172.2	I	0.53949165E 00	I	0.98075402E 00	I
I	-168.0	I	0.52003193E 00	I	0.10109730E 01	I
I	-163.8	I	0.49896967E 00	I	0.98899567E 00	I
I	-159.6	I	0.47825086E 00	I	0.10027318E 01	I
I	-155.4	I	0.45421237E 00	I	0.98350120E 00	I
I	-151.2	I	0.43120420E 00	I	0.10027318E 01	I
I	-147.0	I	0.40602106E 00	I	0.98350120E 00	I
I	-142.8	I	0.38312727E 00	I	0.96976531E 00	I

I	-138.6	I	0.35828745E 00	I	0.92306340E 00	I
I	-134.4	I	0.33493578E 00	I	0.86811972E 00	I
I	-130.2	I	0.31513268E 00	I	0.79669309E 00	I
I	-126.0	I	0.29304028E 00	I	0.74449670E 00	I
I	-121.8	I	0.27472526E 00	I	0.67856443E 00	I
I	-117.6	I	0.25675356E 00	I	0.61263227E 00	I
I	-113.4	I	0.23923987E 00	I	0.57966602E 00	I
I	-109.2	I	0.22458789E 00	I	0.54944718E 00	I
I	-105.0	I	0.20844778E 00	I	0.51098669E 00	I
I	-100.8	I	0.19093409E 00	I	0.47801995E 00	I
I	-96.6	I	0.17319140E 00	I	0.46977830E 00	I
I	-92.4	I	0.15728018E 00	I	0.45878929E 00	I
I	-88.2	I	0.14148349E 00	I	0.41483349E 00	I
I	-84.0	I	0.12419869E 00	I	0.41483349E 00	I
I	-79.8	I	0.10702839E 00	I	0.36538327E 00	I
I	-75.6	I	0.90430379E-01	I	0.35714155E 00	I
I	-71.4	I	0.75091556E-01	I	0.31868017E 00	I
I	-67.2	I	0.61469778E-01	I	0.27747166E 00	I
I	-63.0	I	0.49107134E-01	I	0.22527418E 00	I
I	-58.8	I	0.40178567E-01	I	0.19505459E 00	I
I	-54.6	I	0.30792117E-01	I	0.15659317E 00	I
I	-50.4	I	0.23809519E-01	I	0.14560428E 00	I
I	-46.2	I	0.18200547E-01	I	0.10439560E 00	I
I	-42.0	I	0.13163919E-01	I	0.87912068E-01	I
I	-37.8	I	0.98443218E-02	I	0.57692297E-01	I
I	-33.6	I	0.76694125E-02	I	0.46703286E-01	I
I	-29.4	I	0.57234429E-02	I	0.38461536E-01	I
I	-25.2	I	0.35485346E-02	I	0.30219778E-01	I
I	-21.0	I	0.26327837E-02	I	0.19230768E-01	I
I	-16.8	I	0.13736258E-02	I	0.13736259E-01	I
I	-12.6	I	0.68681303E-03	I	0.82417578E-02	I
I	-8.4	I	0.34340657E-03	I	0.54945042E-02	I
I	-4.2	I	0.34340657E-03	I	0.27472526E-02	I
I	0.0	I	0.22893769E-03	I	0.27472526E-02	I

I	I
I	I
I	I
TABLA DE SALIDA DE MARGEN DE CARGA Y GENERACION DEL SISTEMA	
I	I

I	-170.0	I	200.0	I	0.53417039E 00	I	0.10194752E 01	I
I	-160.0	I	190.0	I	0.49166840E 00	I	0.10167422E 01	I
I	-150.0	I	180.0	I	0.41940945E 00	I	0.10018165E 01	I
I	-140.0	I	170.0	I	0.37209892E 00	I	0.94491303E 00	I
I	-130.0	I	160.0	I	0.30741578E 00	I	0.77392650E 00	I
I	-120.0	I	150.0	I	0.27111262E 00	I	0.64894164E 00	I
I	-110.0	I	140.0	I	0.23854131E 00	I	0.58823371E 00	I
I	-100.0	I	130.0	I	0.18623826E 00	I	0.51085579E 00	I
I	-90.0	I	120.0	I	0.15379474E 00	I	0.45515954E 00	I
I	-80.0	I	110.0	I	0.11788017E 00	I	0.39822263E 00	I
I	-70.0	I	100.0	I	0.72824672E-01	I	0.30920672E 00	I
I	-60.0	I	90.0	I	0.51003464E-01	I	0.22740579E 00	I
I	-50.0	I	80.0	I	0.27581688E-01	I	0.13590488E 00	I
I	-40.0	I	70.0	I	0.18056836E-01	I	0.87639570E-01	I
I	-30.0	I	60.0	I	0.12397019E-01	I	0.65275773E-01	I
I	-20.0	I	50.0	I	0.59879702E-02	I	0.38572108E-01	I
I	-10.0	I	40.0	I	0.38595730E-02	I	0.22511192E-01	I
I	0.0	I	30.0	I	0.25605527E-02	I	0.14220884E-01	I
I	10.0	I	20.0	I	0.18157384E-02	I	0.87307133E-02	I
I	20.0	I	10.0	I	0.14511575E-02	I	0.71037356E-02	I
I	30.0	I	0.0	I	0.11512695E-02	I	0.53319298E-02	I
I	40.0	I	-10.0	I	0.99367835E-03	I	0.45008239E-02	I
I	50.0	I	-20.0	I	0.88612863E-03	I	0.40473118E-02	I
I	60.0	I	-30.0	I	0.78776479E-03	I	0.36316593E-02	I
I	70.0	I	-40.0	I	0.65657054E-03	I	0.32468401E-02	I
I	80.0	I	-50.0	I	0.54778485E-03	I	0.28229929E-02	I
I	90.0	I	-60.0	I	0.43890043E-03	I	0.22450229E-02	I
I	100.0	I	-70.0	I	0.36803976E-03	I	0.18112762E-02	I
I	110.0	I	-80.0	I	0.31616754E-03	I	0.15572982E-02	I
I	120.0	I	-90.0	I	0.24233654E-03	I	0.12545148E-02	I
I	130.0	I	-100.0	I	0.19507535E-03	I	0.10432459E-02	I
I	140.0	I	-110.0	I	0.14737251E-03	I	0.85501978E-03	I
I	150.0	I	-120.0	I	0.85419262E-04	I	0.58628456E-03	I
I	160.0	I	-130.0	I	0.56220670E-04	I	0.40278432E-03	I
I	170.0	I	-140.0	I	0.26291393E-04	I	0.20914304E-03	I
I	180.0	I	-150.0	I	0.14588111E-04	I	0.11723497E-03	I
I	190.0	I	-160.0	I	0.88154193E-05	I	0.76680823E-04	I
I	200.0	I	-170.0	I	0.27204060E-05	I	0.27893881E-04	I
I	210.0	I	-180.0	I	0.12202463E-05	I	0.12761999E-04	I
I	220.0	I	-190.0	I	0.97671591E-06	I	0.83156228E-05	I
I	230.0	I	-200.0	I	0.58959688E-06	I	0.34352111E-05	I
I		I		I				I

5.2.2. EVALUACION DE RESULTADOS

Adicionalmente en los resultados se ha incluido el cuadro de índices de carga, los mismos que son combinados con el resto del sistema, obteniéndose el cuadro de margen de generación y carga. De este, la falla está dada por:

- Margen negativo = -10 Mw.
- Probabilidad de falla del sistema = 0.9937×10^{-3}
- Frecuencia de falla = 0.4500×10^{-2}

Por lo tanto:

Duración esperada de la falla = 0.2208 días

= 5.30 horas

En base a este resultado y considerando que el pico de carga utilizada para este análisis; es el de una carga proyectada para 1990, se puede apreciar que la confiabilidad del sistema es bastante alta, ya que la duración y la frecuencia de falla son pequeñas.

La probabilidad de falla del sistema es del orden de 0.1%, y la frecuencia de falla está alrededor del 0.4%.

Este resultado puede servir de comparación al realizar las siguientes fases propuestas en el desarrollo del Sistema Nacional Interconectado.

A P E N D I C E 1
=====

DEFINICION DEL SISTEMA DE PRUEBA

Inicialmente se desarrolla un ejemplo de un sistema - planteado por el IEEE, para la aplicación de métodos - probabilísticos en confiabilidad de sistemas. /8/

El modelo de carga utilizado para el análisis de este e jemplo es el mismo que se ha implementado anteriormente.

El objeto de presentar este ejemplo, es comprobar el - funcionamiento del programa implementado; los resulta - dos obtenidos en la aplicación de este ejemplo, pueden ser comparados con los resultados que se exponen en la referencia /6/, en el cual, además se analizan los re - sultados.

A1.1. DIAGRAMA DEL SISTEMA

El sistema tal como se presenta en el trabajo menciona - do en la referencia /8/, se diagrama en la Fig. 20.

En la forma como se presenta el sistema, no se puede ha - cer un análisis del sistema radial, razón por las que - se harán las siguientes consideraciones, de tal manera que los datos puedan ser introducidos en el programa im - plementado. Estas son:

- Todas las unidades de generación se encuentran conec - tadas a una sola barra.

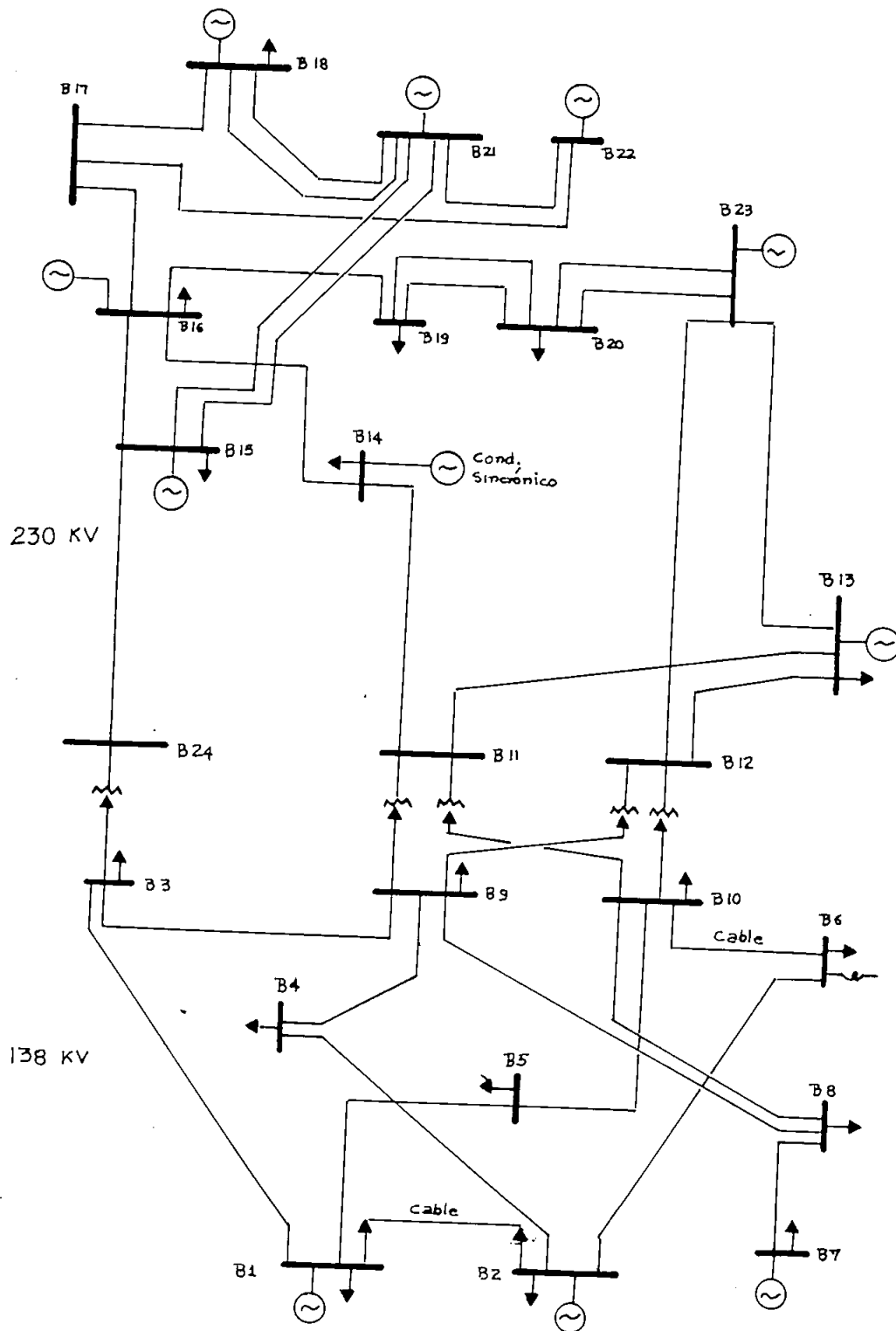


Fig. 20. Sistema de prueba de la referencia
/8/

- Se suprime todo el sistema de transmisión existente.
- Toda la carga se encuentra concentrada en la barra.

En base a estas consideraciones, el diagrama del sistema quedaría como se indica en la Fig. 21.

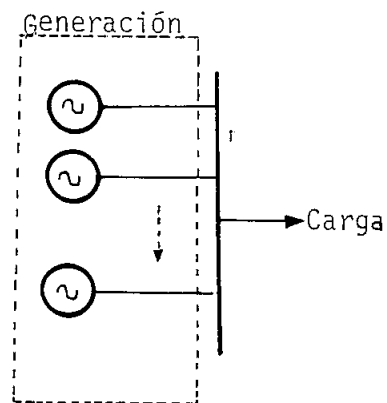


Fig. 21. Sistema de prueba simplificado

A1.2. LISTADO DE LAS COMPONENTES

A1.2.1. GENERACION

Unidad	1	2	3	4	5	6
Barra	(Mw.)	(Mw.)	(Mw.)	(Mw.)	(Mw.)	(Mw.)
1	20	20	76	76		
2	20	20	76	76		
7	100	100	100			
13	197	197	197			
15	12	12	12	12	12	155
16	155					
18	400					
21	400					
22	50	50	50	50	50	50
23	155	155	350			

A1.2.2. CARGA

El sumatorio de todas las cargas repartidas en las diferentes barras del sistema, da un valor de 2850 Mw., este valor representa el 100% del pico anual; es introducido en el programa, de tal manera de obtener la verdadera tabla de salida de la carga.

A1.3. TABLAS DE SALIDA DE CAPACIDAD DE ELEMENTOS

A1.3.1. GENERACION

Para la formación de las tablas de salida de las unidades de generación, partimos de los siguientes datos proporcionados en la referencia /8/.

Capacidad (Mw.)	Número Unidad	MTTF (Horas)	MTTR (Horas)
12	5	2940	60
20	4	450	50
50	6	980	20
76	4	1960	40
100	3	1200	50
155	4	960	40
197	3	950	50
350	1	1150	100
400	2	1100	150

Donde:

MTTF = Tiempo medio a fallar

MTTR = Tiempo medio de reparación

El siguiente paso, sería calcular el FOR; el cual, re -

presenta la indisponibilidad de la unidad, es decir, es la probabilidad de que la unidad se encuentre en un estado de salida de capacidad igual a la máxima de operación.

Por ser este el estado de mayor salida de capacidad, el FOR coincide con la probabilidad acumulativa del mismo.

Si:

$$\bar{A} = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF}$$

por tanto:

$$FOR = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF}$$

La frecuencia para este caso estaría dada por:

$$f = \frac{FOR}{MTTR} = \bar{A}$$

Como a los elementos se los ha considerado con dos estados; el uno con salida de capacidad total (analizado anteriormente), el otro con salida de capacidad nula (se encuentra en capacidad de operación máxima). La probabilidad acumulativa de que la salida de capacidad sea igual a cero o mayor, se la puede obtener en base al siguiente análisis:

Sea:

S = Conjunto muestral

$S = (X_i)$

donde:

X_i = Estados de salida de capacidad

$i = 0, \dots, N$

X_0 = salida de capacidad nula

X_N = salida de capacidad total

Como cada elemento inicialmente se lo consideró con dos estados;

$$S = (X_0, X_1)$$

$$P(X_0) = P(X \geq X_0) = p(X_0) + p(X_1)$$

$$P(S) = p(X_0) + p(X_1)$$

$$P(S) = 1$$

entonces:

$$P(X_0) = 1$$

Con lo analizado anteriormente la tabla de salida del elemento quedaría:

Estado	Salid	Probab	Probab	Frec.
Exac	Acum	capac	exacta	acumul
1	2'	X_0	$1 - \bar{A} = A$	1
2	1'	X_1	$\bar{A} = \text{FOR}$	\bar{A} / MTTR

Para calcular la frecuencia acumulativa del estado X_0 utilizamos la siguiente fórmula recursiva:

$$F_{n'} = F_{(n-1)'} - A_k * \lambda_{-k} + A_k * \lambda_{+k} \quad /17/$$

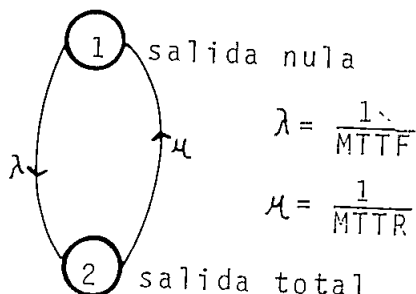
donde:

$F_{n'}$ = Frecuencia acumulativa del estado n'

A_k = Disponibilidad o probabilidad exacta

$\lambda_{-k}, \lambda_{+k}$ = tasa de transición de salida de un estado exacto K a un estado de menor capacidad o mayor capacidad respectivamente.

Graficamente tenemos:



Entonces utilizando la fórmula recursiva;

$$F(X_0) = F_2' = F_1' - (A_1 * \lambda) + (A_1 * \emptyset)$$

$$F_1' = f_2 = \frac{\bar{A}}{MTTR}$$

donde:

$$A_1 = A$$

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

$$F(X_0) = \frac{\bar{A}}{MTTR} - \frac{A}{MTTF}$$

pero:

$$\bar{A} = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF}$$

$$A = \frac{MTTF}{MTTR + MTTF}$$

reemplazando, se tiene que:

$$F(X_0) = \emptyset$$

En base al análisis realizado, las tablas de salida para los elementos de generación y transmisión, siendo tratados como elementos reparables, queda de la siguiente forma:

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
\emptyset	Z	.1	\emptyset
Z	\emptyset	r	r/t_r

donde:

Z = máxima capacidad de operación del elemento (Mw)

r = representa el FOR

t_r = representa el MTTR o simplemente el tiempo de reparación, en este caso está dado en (días)

Esto simplifica la formación de las tablas de salida de cada elemento, puesto que, para cualquier análisis que se desee realizar en confiabilidad de sistemas radiales basándose en el método descrito, el requerimiento de datos por elemento, no representa mayor inconveniente, sobre todo cuando se tiene sistemas radiales con muchos elementos.

Con los datos del sistema, se procede hacer el cálculo de los índices indispensables para la formación de las tablas de salida de los distintos elementos:

Capacidad máxima operación (Mw)	Número Unidades	FOR	MTTR t_r (días)
12	5	0.02	2.50
20	4	0.10	2.08
50	6	0.01	0.83
76	4	0.02	1.67
100	3	0.04	2.08

155	4	0.04	1.67
197	3	0.05	2.08
350	1	0.08	4.17
400	2	0.12	6.25

Con los cálculos realizados en la tabla anterior, formamos las tablas de salida de cada elemento:

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 5

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	12	1	0
12	0	0.02	0.008

Tipo de unidad: unidad de generación

Número de unidades: 4

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	20	1	0
20	0	0.10	0.048

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 6

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	50	1	0
50	0	0.01	0.012

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 4

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	76	1	0
76	0	0.02	0.012

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 3

Salida Capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	100	1	0
100	0	0.04	0.019

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 4

Salida Capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	155	1	0
155	0	0.04	0.024

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 3

Salida Capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	197	1	0
197	0	0.05	0.024

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 1

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	350	1	0
350	0	0.08	0.019

Tipo de elemento: unidad de generación

Número de unidades: 2

Salida capacidad	Capacidad operación	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	400	1	0
400	0	0.12	0.019

A P E N D I C E 2
=====

MANUAL DE USO DE LOS PROGRAMAS

B.1. MANUAL DE USO DEL PROGRAMA PARA EL CALCULO DE INDICES DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS RADIALES

B.1.1. OBJETIVO

Obtener índices de confiabilidad (probabilidad y frecuencia acumulativas de falla) de sistemas radiales. El sistema incluye: generación, transmisión y carga.

B.1.2. METODO

Por tratarse de sistemas radiales formados por elementos series y/o paralelos, el método para lograr el objetivo, está basado en la resolución de ecuaciones para la combinación de elementos series, como también paralelos.

Partiendo de la generación, secuencialmente, elemento por elemento es combinado con el anterior, obteniéndose uno solo como resultado de la misma. Este proceso lo hace con todos los elementos del sistema hasta llegar a la carga; la misma que se la toma como un elemento de generación negativa, que se encuentra en paralelo con el resto del sistema. El resultado obtenido es una tabla de margen de generación y carga, de la que se obtendrán los índices requeridos.

B.1.3. DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa básicamente se encuentra dividido en dos partes:

- Lectura de datos
- Solución de las combinaciones serie y paralelo

En la segunda parte se encuentra incluida la salida de resultados, puesto que el programa obtiene resultados - parciales conforme se va ejecutando.

El programa consta de cinco subrutinas:

a) Subrutina PARAL1

Esta subrutina se encarga de elaborar la combinación paralelo de dos elementos diferentes.

b) Subrutina SERIE1

Realiza la combinación serie de dos elementos.

c) Subrutina PARALI

Este subprograma se encarga de ejecutar la combinación de dos o más elementos iguales conectados en paralelo entre sí.

d) Subrutina FACTØ

Esta subrutina resuelve la expresión:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

utilizada en el subprograma PARALI.

e) Subrutina MODELØ

Lee los datos del archivo MODEL1, en el que se encuentran los índices de la carga con sus capacidades en porcentaje del pico anual de carga, transformándoles a capacidades reales.

El archivo MODEL1, es creado por el programa MODEL.Ø.

B.1.4. DESCRIPCION DE VARIABLES

Símbolo	Descripción
CT	: Pico de carga anual en el punto de análisis.
NT	: Número total de elementos (cuando existen varias unidades iguales conectadas en paralelo entre sí, a estas se las toma como un <u>solo</u> elemento).
NR	: Nivel de rango o intervalo de análisis, que se requiere para evaluar los diferentes estados de margen.
N	: Número de estados de cada componente, generalmente 2 (funcionamiento y reparación).
SP	: Relación de cada componente con la anterior; 1 para serie 2 para paralelo
NP	: Número de elementos iguales en paralelo, correspondientes a la componente.
MI	: Matriz de datos de las componentes
X_1, X_2	: Vector de salida de capacidad del elemento.
Z_1, Z_2	: Vector de capacidad de operación del elemento.
P_1, P_2	: Vector de probabilidades acumulativas del elemento.
F_1, F_2	: Vector de frecuencias acumulativas del elemento.

B.1.5. RESTRICCIONES

- a) El programa está diseñado únicamente para obtener índices de confiabilidad de sistemas radiales formados por elementos series y/o paralelos.
- b) El nivel de rango de análisis (NR), tiene ser menor o igual que la menor capacidad nominal de los elementos que integran el sistema, sin considerar la carga.
- c) Está diseñado para analizar un sistema formado por un máximo de 40 elementos, si se requiere más, unicamente hay que variar el dimensionamiento de NT.
- d) El primer elemento no debe tener unidades iguales en paralelo, en caso de tenerlo, a este lo dividimos en dos tablas: la primera con una sola unidad; y la segunda con las unidades restantes. Las dos tablas deben tener los mismos índices.

B.1.6. INGRESO DE DATOS DEL SISTEMA

- Datos generales.

Símbolo	Unidad	Formato
CT	Mw	F7.2
NT, NR		2I4

- Datos de cada elemento

Los datos de ingreso de cada elemento son:

	Símbolo	Unidad	Formato
*	N, SP, NP		3I2
*	Tablas de salida del elemento, tal como se encuentra definido en el apéndice 1, considerando que cada línea (salida de capacidad, capacidad de operación, probabilidad acumulativa y frecuencia acumulativa, correspondientes a cada estado), tiene un formato de 4F10.6 .		

En las hojas de codificación que se encuentran a continuación, se detalla el ingreso de datos de los dos ejemplos.

Ejemplo 1: planteado por el IEEE, detallado en el apéndice 1.

Ejemplo 2: Sistema Paute, detallado en el capítulo - III.

NUMERO DE SECUENCIA	A		B	
	C	D	E	F
1	2	0	1	0
2	2	0	0	0
3	5	0	0	0
4	6	0	0	0
5	0	0	0	0
6	2	4	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0
54	0	0	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	0	0	0	0
60	0	0	0	0
61	0	0	0	0
62	0	0	0	0
63	0	0	0	0
64	0	0	0	0
65	0	0	0	0
66	0	0	0	0
67	0	0	0	0
68	0	0	0	0
69	0	0	0	0
70	0	0	0	0
71	0	0	0	0
72	0	0	0	0
73	0	0	0	0
74	0	0	0	0
75	0	0	0	0
76	0	0	0	0
77	0	0	0	0
78	0	0	0	0
79	0	0	0	0
80	0	0	0	0
81	0	0	0	0
82	0	0	0	0
83	0	0	0	0
84	0	0	0	0
85	0	0	0	0
86	0	0	0	0
87	0	0	0	0
88	0	0	0	0
89	0	0	0	0
90	0	0	0	0
91	0	0	0	0
92	0	0	0	0
93	0	0	0	0
94	0	0	0	0
95	0	0	0	0
96	0	0	0	0
97	0	0	0	0
98	0	0	0	0
99	0	0	0	0
100	0	0	0	0
101	0	0	0	0
102	0	0	0	0
103	0	0	0	0
104	0	0	0	0
105	0	0	0	0
106	0	0	0	0
107	0	0	0	0
108	0	0	0	0
109	0	0	0	0
110	0	0	0	0
111	0	0	0	0
112	0	0	0	0
113	0	0	0	0
114	0	0	0	0
115	0	0	0	0
116	0	0	0	0
117	0	0	0	0
118	0	0	0	0
119	0	0	0	0
120	0	0	0	0
121	0	0	0	0
122	0	0	0	0
123	0	0	0	0
124	0	0	0	0
125	0	0	0	0
126	0	0	0	0
127	0	0	0	0
128	0	0	0	0
129	0	0	0	0
130	0	0	0	0
131	0	0	0	0
132	0	0	0	0
133	0	0	0	0
134	0	0	0	0
135	0	0	0	0
136	0	0	0	0
137	0	0	0	0
138	0	0	0	0
139	0	0	0	0
140	0	0	0	0
141	0	0	0	0
142	0	0	0	0
143	0	0	0	0
144	0	0	0	0
145	0	0	0	0
146	0	0	0	0
147	0	0	0	0
148	0	0	0	0
149	0	0	0	0
150	0	0	0	0
151	0	0	0	0
152	0	0	0	0
153	0	0	0	0
154	0	0	0	0
155	0	0	0	0
156	0	0	0	0
157	0	0	0	0
158	0	0	0	0
159	0	0	0	0
160	0	0	0	0
161	0	0	0	0
162	0	0	0	0
163	0	0	0	0
164	0	0	0	0
165	0	0	0	0
166	0	0	0	0
167	0	0	0	0
168	0	0	0	0
169	0	0	0	0
170	0	0	0	0
171	0	0	0	0
172	0	0	0	0
173	0	0	0	0
174	0	0	0	0
175	0	0	0	0
176	0	0	0	0
177	0	0	0	0
178	0	0	0	0
179	0	0	0	0
180	0	0	0	0
181	0	0	0	0
182	0	0	0	0
183	0	0	0	0
184	0	0	0	0
185	0	0	0	0
186	0	0	0	0
187	0	0	0	0
188	0	0	0	0
189	0	0	0	0
190	0	0	0	0
191	0	0	0	0
192	0	0	0	0
193	0	0	0	0
194	0	0	0	0
195	0	0	0	0
196	0	0	0	0
197	0	0	0	0
198	0	0	0	0
199	0	0	0	0
200	0	0	0	0

FORMA DE CODIFICACION

PROGRAMA **CONFIABILIDAD DE SISTEMAS RADIALES (ANN)** SISTEMA **PAUTE** HOJA **1** DE **2**

PROGRAMADOR _____ FECHA _____ IDENT. _____

NUMERO DE SECUENCIA	A			B																																																																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	DATOS GENERALES																																																																															
	PICO DE CARGA ANUAL																																																																															
4	2000																																																																															
NT	NR																																																																															
6	10																																																																															
	DATOS DEL ELEMENTO 1																																																																															
NSP	NP																																																																															
2	1																																																																															
	CAP. OPERAC. PROBABILIDAD FRECUENCIA																																																																															
0	100																																																																															
100	0																																																																															
2	2																																																																															
	DATOS DEL ELEMENTO 2																																																																															
0	100																																																																															
100	0																																																																															
2	1																																																																															
	DATOS DEL ELEMENTO 3																																																																															
2	1																																																																															
0	112																																																																															
112	0																																																																															
	0001838																																0000057																																															

FORMA DE CODIFICACION

PROGRAMA CONFIABILIDAD DE SISTEMAS RADIALES (ANN) SISTEMA PAUTE HOJA 2 DE 2
 PROGRAMADOR FECHA IDENT.

NUMERO DE SECUENCIA	A		B	
	C	D	E	F
1	2	1	1	1
2	1	6		
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				

B.1.7. LISTADO DEL PROGRAMA

```

C
C*****
C*
C*   PROGRAMA:   CONFIABILIDAD DEL PROYECTO FAUTE MEDIANTE EL CONCEPTO *
C*
C*               DE FRECUENCIA Y DURACION *
C*
C*   REALIZADO POR :       RENE V. MORALES C. *
C*
C*   DIRIGIDA POR :       ING. ALFREDO MENA P. *
C*
C*****
C
C
C   DESCRIPCION DEL PROBLEMA:
C----> EL PROGRAMA OBTIENE INDICES DE CONFIABILIDAD (PROBABILIDAD ACUMULA-
C      TIVA Y FRECUENCIA DE FALLA) DE UN SISTEMA RADIAL
C
C   METODO:
C----> EL METODO UTILIZADO ES DE FRECUENCIA Y DURACION, PARA UN SISTEMA
C      CONFORMADO POR SUBSISTEMAS RADIALES CUYAS COMPONENTES SE ENCUENTRAN
C      EN SERIE Y/O PARALELO
C
C----> DESCRIPCION DE VARIABLES:
C   CT:   CARGA TOTAL DEL SISTEMA
C   NT:   NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS ( LOS ELEMENTOS IGUALES ENTRE SI
C         LES TOMA EN CUENTA COMO UNO SOLO )
C   NR:   NIVEL DE RANGO DE LOS INTERVALOS DE LOS DIFERENTES ESTADOS,
C         MARGEN QUE SE REQUIERE
C   N :   NUMERO DE ESTADOS DE CADA COMPONENTE
C   SP:   RELACION DE CADA COMPONENTE CON LA ANTERIOR
C         1   PARA   SERIE
C         2   PARA   PARALELO
C         3   PARA   CARGA
C   NP:   NUMERO DE COMPONENTE IGUALES EN PARALELO
C   MI:   MATRIZ DE DATOS DE LAS COMPONENTES
C   X1:   VECTOR DE CAPACIDAD OUTAGE DEL ELEMENTO
C   Z1:   VECTOR DE CAPACIDAD DEL ELEMENTO
C   P1:   VECTOR DE PROBABILIDAD DEL ELEMENTO
C   F1:   VECTOR DE FRECUENCIAS DEL ELEMENTO
C
C
C
C****PROGRAMA PRINCIPAL:
C           - LECTURA E IMPRESION DE DATOS
C           - DETERMINA LA SUBROUTINA A UTILIZAR EN CADA ELEMENTO
C   INTEGER*4  A, A1, B, C, C1, G, SP(40), F, Q, E, FAC1, FAC2, FAC3, DIF
C   INTEGER*4  N(400), NP(40), NI(400)
C   REAL  MI(50, 4), X1(450), X2(450), X3(450), P1(450), P2(450),
C *P3(450), F1(450), F2(450), F3(450), Z1(450), Z2(450), Z3(450), P31(450)
C   DATA  P3, F3/450*0., 450*0. /
C   CALL  SRCH##( : 1, 'DATO1', 5, 3, ITIP, ICOD)
C   CALL  SRCH##( : 2, 'SALID1', 6, 4, ITIP, ICOD)
C****LECTURA DE DATOS
C   READ(7, 2) CT

```



```

2   FORMAT(F7. 2)
   READ (7, 3) NT, NR
3   FORMAT(2I4)
   WRITE(8, 4) CT, NT, NR
4   FORMAT(/, 3(/), 20X, 89(---), /20X, /I', 87X, /I', /20X, /I', 27X, /D A T O
* S   D E L   S I S T E M A', 27X, /I', /20X, /I', 87X, /I', /20X, /I', 15X,
* /PICO DE CARGA ANUAL : /, F7. 2, 2X, /MW. ', 38X, /I', /20X, /I', 15X, /NUMER
* O TOTAL DE ELEMENTOS : /, I4, 40X, /I', /20X, /I', 15X, /NIVEL DE RANGO D
* E RANGO DE ANALISIS : /, I4, 2X, /MW. ', 25X, /I', /20X, /I', 87X, /I', /20X,
* 89(---))
   A1=1
   Q=0
   DO 10 A=1, NT
   READ(7, 7) N(A), SP(A), NP(A)
7   FORMAT (3I2)
   WRITE(8, 8) A, SP(A), NP(A)
8   FORMAT(//20X, 89(---), /20X, /I', /20X, /I', 15X, /ELEMENTO # : /, I4,
* 55X, /I', /20X, /I', 25X, /TIPO DE CONEXION : /, I4, 38X, /I', /20X,
* /I', 25X, /# DE ELEMENTOS IGUALES : /, I4, 38X, /I', /, 20X, /I', 87X, /I',
* /20X, 89(---), /20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, /I', 3X, /CAP. OUTA
* GE', 3X, /I', 2X, /CAP. OPERACION', X, /I', 4X, /PROBABILIDAD ACUM. ', 3X,
* /I', 5X, /FRECUENCIA ACUM. ', 4X, /I', /
* 20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, 89(---))
   N1(A)=N(A)
   Q=Q+N(A)
   DO 15 B=A1, Q
   READ(7, 12) (MI(B, C), C=1, 4)
12  FORMAT (4F10. 6)
   WRITE(8, 11)(MI(B, C), C=1, 4)
11  FORMAT(20X, /I', 2(5X, F8. 1, 4X, /I'), 2(5X, E16. 8, 4X, /I'))
15  CONTINUE
   WRITE(8, 13)
13  FORMAT(20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, 89(---))
   A1=A1+N(A)
10  CONTINUE
   CALL SRCH##(: 4, /DATO1', 5, 3, ITIP, ICCD)
   WRITE(8, 16)
16  FORMAT(/, //20X, 89(---), /20X, /I', 87X, /I', /20X, /I', 24X, /R E S U L
* T A D O S   P A R C I A L E S', 23X, /I', /20X, /I', 87X, /I', /20X,
* 89(---))
   NN=N1(1)
   WRITE(8, 9)
9   FORMAT(/, 3(/), 20X, 89(---), /20X, /I', 87X, /I', /20X, /I', 15X, /TABLA D
* E SALIDA DEL PRIMER ELEMENTO', 37X, /I', /20X, /I', 87X, /I', /20X,
* 89(---), /20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, /I', 3X, /CAP. OUTAGE',
* 3X, /I', 2X, /CAP. OPERACION I', 4X, /PROBABILIDAD ACUM. ', 3X, /I', 5X,
* /FRECUENCIA ACUM. ', 4X, /I', /20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X,
* 89(---), /20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'))
   DO 20 C=1, NN
   X1(C)=MI(C, 1)
   P1(C)=MI(C, 3)
   F1(C)=MI(C, 4)
   Z1(C)=MI(C, 2)
   WRITE(8, 11) X1(C), Z1(C), P1(C), F1(C)

```

```

20    CONTINUE
      WRITE(8,27)
27    FORMAT(20X,'I',87X,'I',/20X,89(' '))
      C1=0
      NM=NT+1
      DO 3520 G=2,NM
        IF(SP(G).EQ.1) GO TO 610
        IF(SP(G).EQ.2) GO TO 550
        IF(G.EQ.NT+1) GO TO 520
        WRITE (8,30)
30    FORMAT(10X,'ESTAN MAL LOS DATOS DEL VECTOR SP')
        GO TO 3520
520   CALL MODELO(CT, X1, Z1, P1, F1, NP, X2, Z2, P2, F2, G, N, II)
        CALL PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        GO TO 3520
550   IF(NP(G).EQ.1) GO TO 590
        CALL PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        II=2
        CALL PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        GO TO 3520
590   II=1
        CALL PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        GO TO 3520
610   IF(NP(G).EQ.1) GO TO 650
        CALL PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        II=2
        CALL SERIEI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
        GO TO 3520
650   II=1
        CALL SERIEI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3, II, NP)
3520  CONTINUE
      CALL SRCH##(:4,'SALIDI',6,4,ITIP,ICOD)
3530  CALL EXIT
      END
C
C*****
C*
C*          SUBROUTINE    PARALELO          *
C*
C*
C*****
C
C          SUBROUTINE PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3,
*II, NP)
C*****RESUELVE EL PARLELO MEDIANTE LAS SIGUIENTES ECUACIONES:
C    PROBABILIDAD ACUMULATIVA:
C       $PC(XK)=SUM(PA(XK-XJ)(PB(XJ)-PB(XJ+1)))$ 
C    FRECUENCIA ACUMULATIVA:
C       $FC(XK)=SUM(FA(XK-XJ)(PB(XJ)-PB(XJ+1))+$ 
C       $PA(XK-XJ)(F(XJ)-FB(XJ+1)))$ 
C    INTEGER*4 C1, G, C, A, E, F, N(400), N1(400), NP(40)
C    REAL MI(50,4), X1(450), X2(450), X3(450), P1(450), P2(450),
*F3(450), F1(450), F2(450), F3(450), Z1(450), Z2(450), Z3(450)
C    IF(II.EQ.2) GO TO 53

```

```

      IF(II.EQ.3) GO TO 54
      GO TO 49
54    TAUX=X1(N(1))+X2(1)+ZOO.
      XMAX=X1(N(1))+X2(1)
      GO TO 55
C*****LECTURA DE DATOS DEL ELEMENTO
49    C1=C1+N1(G-1)
      NN1=N1(G)
      DO 50 C=1, NN1
      X2(C)=MI(C1+C, 1)
      P2(C)=MI(C1+C, 3)
      F2(C)=MI(C1+C, 4)
      Z2(C)=MI(C1+C, 2)
50    CONTINUE
53    TAUX=X1(N(1))+X2(N(G))
      XMAX=TAUX
55    X3(1)=X2(1)
      WRITE(8,52) G, NP(G)
52    FORMAT(/, 3(/), 20X, 89(' '), /20X, 'I', 87X, 'I', /20X, 'I', 15X, 'TABLA D
      *E SALIDA, CON EL INGRESO DEL ELEMENTO # : ', I4, ', ', 19X, 'I', /20X,
      *'I', 15X, 'TIENE', I4, ' IGUALES CONECTADAS EN PARALELO ENTRE SI Y SE
      *', 16X, 'I', /20X, 'I', 15X, 'ENCUENTRA CONECTADO EN PARALELO CON EL RES
      *TO DE ELEMENTOS', 16X, 'I', /20X, 'I', 87X, 'I', /
      *20X, 89(' '), /20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'), /20X, 'I', 3X, 'CAP. OUTAG
      *E', 3X, 'I', 2X, 'CAP. OPERACION', X, 'I', 4X, 'PROBABILIDAD ACUM. ', 3X,
      *'I', 5X, 'FRECUENCIA ACUM. ', 4X, 'I', /20X, 'I', 2(6X, '(MW. )', 6X, 'I'), 2(
      *25X, 'I'), /20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'),
      */20X, 89(' '), /20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'))
      A=2
850   X3(A)=X3(A-1)+NR
      IF(X3(A).GT.TAUX) GO TO 890
      A=A+1
      GO TO 850
890   N3=A-1
C*****PROCESO DE CALCULOS PARALELO
      DO 1490 E=1, N3
      NN2=N(1)
      DO 1490 J=1, NN2
      AUX=X3(E)-X1(J)
      IF(AUX.LE.X2(1)) GO TO 1360
      IF(AUX.GT.X2(N(G))) GO TO 1380
      NN3=N(G)
      DO 1340 F=2, NN3
      IF(AUX.LE.X2(F)) GO TO 1310
      GO TO 1340
1310  AUXP=F2(F)
      AUXF=F2(F)
      F=N(G)
1340  CONTINUE
      GO TO 1400
1360  AUXP=F2(1)
      GO TO 1390
1380  AUXP=0.
1390  AUXF=0.

```

```

1400 IF(J+1.GT.N(1)) GO TO 1440
      AUXA=F1(J+1)
      AUXB=F1(J+1)
      GO TO 1460
1440 AUXA=0.
      AUXB=0.
1460 P3(E)=P3(E)+AUXP*(F1(J)-AUXA)
      F3(E)=F3(E)+AUXF*(F1(J)-AUXA)+AUXP*(F1(J)-AUXB)
1490 CONTINUE
      N(1)=N3
      NN4=N(1)
C*****IMPRESION DE RESULTADOS
      DO 1610 M=1,NN4
        X1(M)=X3(M)
        P1(M)=P3(M)
        F1(M)=F3(M)
        Z1(M)=XMAX-X3(M)
        P3(M)=0.
        F3(M)=0.
        WRITE(8,81) X1(M),Z1(M),P1(M),F1(M)
81    FORMAT(20X,'I',2(5X,F8.1,4X,'I'),2(5X,E16.8,4X,'I'))
1610 CONTINUE
        WRITE(8,71)
71    FORMAT(20X,'I',2(17X,'I'),2(25X,'I'),/20X,89('--'))
      RETURN
      END

C
C*****
C*
C*          SUBROUTINE      SERIE          *
C*
C*****
C
C
C          SUBROUTINE SERIE1(C1,G,N1,MI,X1,Z1,P1,F1,N,NR,X2,Z2,P2,F2,P3,F3,
*II,NP)
C*****RESUELVE EL SERIE MEDIANTE LS SIGUIENTES ECUACIONES:
C      PROBBILIDAD ACUMULATIVA:
C           $PC(XK)=SUM((N/K)*R**K*((1-R)**(N-K)))$ 
C      FRECUENCIA ACUMULATIVA:
C           $FC(XK)=FC(XK)*K/TR$ 
C
      INTEGER*4 C1,G,C,A,E,F,N1(400),N(400),NP(40)
      REAL MI(50,4),X1(450),X2(450),X3(450),P1(450),P2(450),
*P3(450),F1(450),F2(450),F3(450),Z1(450),Z2(450),Z3(450)
      IF(II.EQ.2) GO TO 92
      C1=C1+N1(G-1)
      NN5=N1(G)
C*****LECTURA DE DATOS DEL ELEMENTO
      DO 1760 C=1,NN5
        X2(C)=MI(C1+C,1)
        P2(C)=MI(C1+C,3)
        F2(C)=MI(C1+C,4)
        Z2(C)=MI(C1+C,2)

```

```

1760 CONTINUE
92 C=1
C*****PROCESO DE CALCULO DEL SERIE
WRITE(8,91) G, NP(G)
91 FORMAT(' ', 3(/), 20X, 89(' '), /20X, 'I', 87X, 'I', /20X, 'I', 15X, 'TABLA D
*E SALIDA, CON EL INGRESO DEL ELEMENTO # : ', I4, ', ', 19X, 'I', /20X,
*'I', 15X, 'TIENE', I4, ' IGUALES CONECTADAS EN PARALELO ENTRE SI Y S
*E', 16X, 'I', /20X, 'I', 15X, 'ENCUENTRA CONECTADO EN SERIE CON EL RESTO
* DE ELEMENTOS', 16X, 'I', /
*20X, 'I', 87X, 'I', /20X, 89(' '), /20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'), /
*20X, 'I', 3X, 'CAP. OUTAGE', 3X, 'I', 2X, 'CAP. OPERACION', X, 'I', 4X,
*'PROBABILIDAD ACUM.', 3X, 'I', 5X, 'FRECUENCIA ACUM.', 4X, 'I', /20X,
*'I', 2(6X, '(MW.)', 6X, 'I'), 2(25X, 'I'), /
*20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'), /20X, 89(' '), /20X, 'I', 2(17X, 'I'),
*2(25X, 'I'))
IF(Z2(C).GT.Z1(1)) GO TO 1940
IF(Z1(C).GT.Z2(1)) GO TO 1820
GO TO 2040
1820 C=C+1
IF(Z1(C).GT.Z2(1)) GO TO 1820
AUXT=Z1(C)
NN6=N(1)-C+1
DO 1910 M=1, NN6
X1(M)=AUXT-Z1(M+C-1)
Z1(M)=Z1(M+C-1)
F1(M)=F1(M+C-1)
F1(M)=F1(M+C-1)
1910 CONTINUE
N(1)=N(1)-C+1
GO TO 2040
1940 C=C+1
IF(Z2(C).GT.Z1(1)) GO TO 1940
AUXT=Z2(C)
NN7=N(G)-C+1
DO 2020 M=1, NN7
X2(M)=AUXT-Z2(M+C-1)
Z2(M)=Z2(M+C-1)
F2(M)=F2(M+C-1)
F2(M)=F2(M+C-1)
2020 CONTINUE
N(G)=N(G)-C+1
2040 X3(1)=X2(1)
A=Z
TAUX=AUXT
2070 X3(A)=X3(A-1)+NR
IF(X3(A).GT.TAUX) GO TO 2110
A=A+1
GO TO 2070
2110 N3=A-1
DO 2550 E=1, N3
NNS=N(1)
DO 2450 F=1, NNS
IF(X3(E).LE.X1(F)) GO TO 2420
GO TO 2450

```

```

2420  AUXC=F1(F)
      AUXD=F1(F)
      F=N(1)
2450  CONTINUE
      NN9=N(G)
      DO 2520 F=1, NN9
      IF(X3(E).LE.X2(F)) GO TO 2490
      GO TO 2520
2490  AUXE=P2(F)
      AUXF=P2(F)
      F=N(G)
2520  CONTINUE
      P3(E)=AUXC + AUXE -(AUXC * AUXE)
      F3(E)=AUXD * (1-AUXE) + AUXF * (1-AUXC)
2550  CONTINUE
      N(1)=N3
      NN10=N(1)
C*****IMPRESION DE RESULTADOS
      DO 2650 M=1, NN10
      X1(M)=X3(M)
      P1(M)=P3(M)
      F1(M)=F3(M)
      Z1(M)=X3(N(1))-X3(M)
      P3(M)=0.
      F3(M)=0.
      WRITE(8, 101) X1(M), Z1(M), P1(M), F1(M)
101   FORMAT(20X, 'I', 2(5X, F8. 1, 4X, 'I'), 2(5X, E16. 8, 4X, 'I'))
2650  CONTINUE
      WRITE(8, 103)
103   FORMAT(20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'), /20X, 89('—'))
      RETURN
      END

C
C*****
C*
C*          SUBROUTINE  PARALELO  IGUAL
C*
C*****
C
C
      SUBROUTINE  PARALI(C1, G, N1, MI, X1, Z1, P1, F1, N, NR, X2, Z2, P2, F2, P3, F3,
*II, NP)
C*****RESUELVE EL PARALELO DE ELEMENTOS IGUALES MEDIANTE:
C   PROBABILIDAD ACUMULATIVA:
C       PC(XK)=SUM((N/K)*R**K((1-R)**(N-K)))
C   FRECUENCIA ACUMULATIVA:
C       FC(XK)=PC(XK)*K/TR
      INTEGER*4  C1, G, C, A, B, K, N1(400), NP(40), N(400)
      REAL  MI(50, 4), X2(450), X3(450), Z2(450), Z3(450), P2(450),
*P3(450), F2(110), F3(450), P31(450), X1(450), Z1(450), F1(450), P1(450)
      C1=C1+N1(G-1)
      NN11=N1(G)
C*****LECTURA DE DATOS DEL ELEMENTO
      DO 2780 C=1, NN11

```

```

      X2(C)=MI(C1+C, 1)
      F2(C)=MI(C1+C, 3)
      F2(C)=MI(C1+C, 4)
      Z2(C)=MI(C1+C, 2)
2780  CONTINUE
C*****PROCESO DE CALCULO
      N3=1+NP(G)*(N1(G)-1)
      X3(1)=X2(1)
      DO 2830 A=2, N3
2830  CONTINUE
      DO 2880 B=1, N3
      K=B-1
      CALL FACTO(NP, K, BIN, G)
      P31(B)=BIN*(P2(N1(G))**K)*((1-P2(N1(G)))**(NP(G)-K))
2880  CONTINUE
      TR=P2(N1(G))/F2(N1(G))
      DO 2960 A=1, N3
      DO 2930 B=A, N3
      P3(A)=P3(A) + P31(B)
2930  CONTINUE
      K=A-1
      P3(A)=P3(A)*K/TR
2960  CONTINUE
C*****IMPRESION DE RESULTADOS
      DO 3050 C=1, N3
      X2(C)=X3(C)
      F2(C)=F3(C)
      F2(C)=F3(C)
      Z2(C)=X3(N3)-X3(C)
      P3(C)=0.
      F3(C)=0.
3050  CONTINUE
      N(G)=N3
      RETURN
      END

```

```

C
C*****
C*
C*          SUBROUTINE  FACTORIAL
C*
C*****
C
C

```

```

      SUBROUTINE FACTO(NP, K, BIN, G)
C*****RESUELVE EL BINOMIAL(N/K) QUE SE UTILIZA EN PARALELO IGUAL
      INTEGER*4 FAC1, A, G, FAC2, B, C, DIF, FAC3, NP(40), K
      FAC1=1
      NN12=NP(G)
      DO 3170 A=2, NN12
      FAC1=FAC1*A
3170  CONTINUE
      FAC2=1
      IF(K.LE. 1) GO TO 3230

```

```

      DO 3220 B=2,K
      FAC2=FAC2*B
3220  CONTINUE
3230  DIF =NP(G)-K
      FAC3=1
      IF(DIF.LE.1) GO TO 3290
      DO 3280 C=2,DIF
      FAC3=FAC3*C
3280  CONTINUE
3290  BIN=FAC1/(FAC2*FAC3)
      RETURN
      END
C
C*****
C*
C*          SUBROUTINE  MODELO
C*
C*****
C
C
      SUBROUTINE MODELO(CT, X1, Z1, P1, F1, NP, X2, Z2, P2, F2, G, N, II)
C*****INTRODUCE LOS DATOS DE LA CARGA PARA OBTENER EL CUADRO FINAL
C  DE MARGEN DE CARGA DEL SISTEMA
      INTEGER*4 G, N(400), NP(400)
      REAL X2(450), P2(450), Z2(450), F2(450), X1(450), Z1(450), P1(450),
      *F1(450)
      WRITE(8, 317)
317  FORMAT(/, //, 20X, 89('-',) /, 20X, /I', 87X, /I', /20X, /I', 15X, /TABLA DE
* SALIDA DE LA CARGA', 45X, /I', /20X, /I', 87X, /I', /20X, 89('-',) /, 20X,
* /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, /I', 3X, /CAP. OUTAGE', 3X, /I', 2X,
* /CAP. OPERACION I', 4X, /PROBABILIDAD ACUM. ', 3X, /I', 5X, /FRECUENCIA A
* CUM. ', 4X, /I', /20X, /I', 2(6X, / (MW. )', 6X), 2(25X, /I'), /20X, /I', 2(
* 17X, /I'), 2(25X, /I'), /20X, 89('-',) /, 20X, /I', 2(17X, /I'), 2(25X, /I'))
      CALL SRCH##(: 1, /MODEL1', 6, 6, ITIP, ICOD)
      J=1
3405  READ(10, 122, END=3440) X22, Z22, P22, F22
122  FORMAT(10X, I3, 10X, I3, 10X, E14. 7, 10X, E14. 7)
      X2(J)=-Z22
      Z2(J)=-X22
      P2(J)=P22
      F2(J)=F22
      J=J+1
      GO TO 3405
121  FORMAT(20X, /I', 2(5X, FB. 1, 4X, /I'), 2(5X, E14. 8, 4X, /I'))
3440  CALL SRCH##(: 4, /MODEL1', 6, 6, ITIP, ICOD)
      N(G)=101
      DO 3510 I=1, 101
      X2(I)=X2(I)*CT/100.
      Z2(I)=- (CT+X2(I))
C*****IMPRESION DE LOS DATOS DE LA CARGA
      WRITE(8, 121) X2(I), Z2(I), P2(I), F2(I)
3510  CONTINUE
      II=3
      WRITE(8, 314)

```



```
314  FORMAT(20X, 'I', 2(17X, 'I'), 2(25X, 'I'), /20X, B9('--'))
      WRITE(8, 319)
319  FORMAT(' ', 20(/), 20X, B9('--'), /20X, 'I', 87X, 'I', /20X, 'I', 15X, 'TABLA
*DE SALIDA DE MARGEN DE CARGA Y GENERACION DEL SISTEMA', 14X, 'I', /
*20X, 'I', 87X, 'I', /20X, B9('--'))
      RETURN
      END
```

B.2. PROGRAMA PARA OBTENER LA PROBABILIDAD Y FRECUENCIA ACUMULATIVAS PARA DIFERENTES ESTADOS DE CARGA

B.2.1. OBJETIVO

Obtener un archivo (MODEL1), en el que se almacena la probabilidad y frecuencia acumulativas para diferentes estados de carga.

B.2.2. METODO

El método y su descripción se encuentran desarrollados en el capítulo IV .

Este programa obtiene un modelo de carga general, pues que los estados de la misma, se encuentran dados en porcentaje del pico de carga anual.

Con una sola vez que se corra el programa se forma el archivo, el mismo que sirve para todos los sistemas que se desee analizar con el programa descrito en la sección B.1.

B.2.3. DESCRIPCION DE VARIABLES

Símbolo	Descripción
L	: Vector de datos de la curva de carga anual
F	: Frecuencia acumulativa de la carga
P2	: Probabilidad acumulativa de la carga
0	: Vector de carga horario para un día ordinario-comprendido entre las semanas 1-8 y 44-52.
01	: Vector de carga horario para un día feriado -comprendido entre las semanas 1-8 y 44-52.

- P : Vector de carga horario para un día ordinario comprendido entre las semanas 18-30
- P1 : Vector de carga horario para un día feriado - comprendido entre las semanas 18-30.
- Q : Vector de carga horario para un día ordinario comprendido entre las semanas 9-17 y 31-43.
- Q1 : Vector de carga horario para un día feriado - comprendido entre las semanas 9-17 y 31-43.
- S1 : Vector de carga semanal en función del pico de carga anual.
- D : Vector de carga diario en función del pico de carga semanal

B.2.4. INGRESO DE DATOS

No se requiere de ningún dato de entrada para que el programa pueda ser corrido.

B.2.5. LISTADO DEL PROGRAMA

```

C
C*****
C*
C*   PROGRAMA:   MODELO DE CARGA
C*
C*   REALIZADO POR :   RENE V. MORALES C.
C*
C*   DIRIGIDA POR   :   ING. ALFREDO MENA P.
C*
C*****
C
C
C----> EL PROGRAMA OBTIENE PROBABILIDAD Y FRECUENCIAS ACUMULATIVAS DE LA
C      CARGA, LOS VALORES DE CAPACIDAD DE SALIDA SE ENCUENTRAN DADOS EN
C      FUNCION DEL PORCENTAJE DE DE PICO DE CARGA ANUAL EN EL PUNTO DE
C      ANALISIS.
C
C----> EL PROGRAMA MODELA LA CARGA EN BASE A TRES TABLAS:
C      - PICO DE CARGA SEMANAL EN FUNCION DEL PICO DE CARGA ANUAL
C      - PICO DE CARGA DIARIA EN FUNCION DEL PICO DE CARGA SEMANAL
C      - PICO DE CARGA HORARIO EN FUNCION DEL PICO DE CARGA DIARIA
C
C----> LA COMBINACION DE LAS TRES TABLAS PERMITE FORMAR UNA CURVA DE
C      CARGA ANUAL CON DATOS DE CARGA HORARIO.
C
C----> DESCRIPCION DE VARIABLES:
C      L :   VECTOR DE DATOS DE LA CURVA DE CARGA ANUAL
C      F :   FRECUENCIA ACUMULATIVA DE LA CARGA
C      P2:   PROBABILIDAD ACUMULATIVA DE LA CARGA
C      O :   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN DIA DE LA SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 1 - 8 Y 44 - 52
C      O1:   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN FIN DE SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 1 - 8 Y 44 - 52
C      P :   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN DIA DE LA SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 18 -30
C      P1:   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN FIN DE SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 18 - 30
C      Q :   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN DIA DE LA SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 9 - 17 Y 31 - 43
C      Q1:   VECTOR DE CARGA HORARIO PARA UN FIN DE SEMANA ENTRE LAS
C            SEMANAS 9 - 17 Y 31 - 43
C      S1:   VECTOR DE CARGA SEMANAL EN FUNCION DEL PICO DE CARGA ANUAL
C      D :   VECTOR DE CARGA DIARIO EN FUNCION DEL PICO DE CARGA
C            SEMANAL
C
C
C
C      INTEGER*4 O(24),O1(24),Q(24),Q1(24),A,B,C,E,G,R,K,T,
C      *P(24),P1(24),D1(7)
C      REAL P2(110),F(110),S1(52),L(8760)
C**** VECTOR DE CARGA DE LA CARGA SEMANAL EN FUNCION DEL PICO DE
C      CARGA ANUAL
C      DATA S1/86. 2,90. ,87. 8,83. 4,88. ,84. 1,83. 2,80. 6,74. ,73. 7,71. 5,72. 7,
C      *70. 4,75. ,72. 1,80. ,75. 4,83. 7,87. ,88. ,85. 6,81. 1,90. ,88. 7,89. 6,86. 1,
C      *75. 5,81. 6,80. 1,

```

```

*88. , 72. 2, 77. 6, 80. , 72. 9, 72. 6, 70. 5, 78. , 69. 5, 72. 4, 72. 4, 74. 3, 74. 4,
*80. , 88. 1, 88. 5, 90. 9, 94. , 89. , 94. 2, 97. , 100. , 95. 2/
C*** VECTOR DE CARGA DIARIO EN FUNCION DEL PICO DE CARGA SEMANAL
DATA D1/93, 100, 98, 96, 94, 77, 75/
C*** VECTORES DE CARGA HORARIO EN FUNCION DEL PICO DE CARGA DIARIO
DATA Q/67, 63, 60, 59, 59, 60, 74, 86, 95, 96, 96, 95, 95, 95, 93, 94, 99, 100,
*100, 96, 91, 83, 73, 63/
DATA Q1/78, 72, 68, 66, 64, 65, 66, 70, 80, 88, 90, 91, 90, 88, 87, 87, 91, 100,
*99, 97, 94, 92, 87, 81/
DATA P/64, 60, 58, 56, 56, 58, 64, 76, 87, 95, 99, 100, 99, 100, 100, 97, 96, 96,
*93, 92, 92, 93, 87, 72/
DATA P1/74, 70, 66, 65, 64, 62, 62, 66, 81, 86, 91, 93, 93, 92, 91, 91, 92, 94, 95,
*95, 100, 93, 88, 80/
DATA Q/63, 62, 60, 58, 59, 65, 72, 85, 95, 99, 100, 99, 93, 92, 90, 88, 90, 92, 96,
*98, 96, 90, 80, 70/
DATA Q1/75, 73, 69, 66, 65, 65, 68, 74, 83, 89, 92, 94, 91, 90, 90, 86, 85, 88,
*92, 100, 97, 95, 90, 85/
C*** FORMACION DEL VECTOR L
CALL SRCH##(: 2, 'MODEL1', 6, 4, ITIP, ICOD)
I=0
DO 275 A=1, 52
DO 275 B=1, 7
X=(S1(A)*D1(B))/10000.
DO 275 C=1, 24
I=I+1
IF(A. LE. 8) GO TO 190
IF(A. LE. 17) GO TO 220
IF(A. LE. 30) GO TO 250
IF(A. LE. 52) GO TO 190
WRITE(1, 103)
103 FORMAT (10X, 'ESTAN MAL LOS DATOS')
GO TO 275
190 IF(B. GE. 6) GO TO 210
L(I)=X*D(C)
GO TO 275
210 L(I)=X*D1(C)
GO TO 275
220 IF(B. GE. 6) GO TO 240
L(I)=X*Q(C)
GO TO 275
240 L(I)=X*Q1(C)
GO TO 275
250 IF(B. GE. 6) GO TO 270
L(I)=X*P(C)
GO TO 275
270 L(I)=X*P1(C)
275 CONTINUE
WRITE(1, 280)
280 FORMAT(10X, 'TERMINO DE FORMAR VECTOR L(I)')
C*** CALCULO DE LAS FRECUENCIAS ACUMULATIVAS
T=8736.
PA=100.
S=1.
NO=INT(PA/S+0. 5)

```

```
      DO 530 J=1,NO
      F(J)=0.
530   CONTINUE
      N1=INT(L(T)/S+0.5)
      I=1
545   IF(I.GT.T) GO TO 700
      N2=INT(L(I)/S+0.5)
      IF(N1.LE.N2) GO TO 565
      GO TO 580
565   N1=N2
      I=I+1
      GO TO 545
580   K=N2+1
585   IF(K.GT.N1) GO TO 565
      F(K)=F(K)+24./T
      K=K+1
      GO TO 585
C***  CALCULO DE LAS PROBABILIDADES ACUMULATIVAS
700   DO 740 E=1,100
      R=0
      DO 730 G=1,8736
      IF(L(G).GE.E) GO TO 725
      GO TO 730
725   R=R+1
730   CONTINUE
      P2(E)=R/8736.
740   CONTINUE
C***  IMPRESION DE RESULTADOS EN EL ARCHIVO MODELI
      DO 755 M=1,100
      MM=100-M
      WRITE (8,750) M,MM,P2(M),F(M)
750   FORMAT(10X,I3,10X,I3,10X,E14.7,10X,E14.7)
755   CONTINUE
      CALL SRCH##(:4,'MODELI',6,4,ITIP,ICOD)
      CALL EXIT
      END
```

B.2.6. LISTADO DEL ARCHIVO MODEL1

Estado de la carga	Salida de la carga	Probabilidad acumulativa	Frecuencia acumulativa
0	100	0.1000000E 01	0.0000000E 00
1	99	0.1000000E 01	0.0000000E 00
2	98	0.1000000E 01	0.0000000E 00
3	97	0.1000000E 01	0.0000000E 00
4	96	0.1000000E 01	0.0000000E 00
5	95	0.1000000E 01	0.0000000E 00
6	94	0.1000000E 01	0.0000000E 00
7	93	0.1000000E 01	0.0000000E 00
8	92	0.1000000E 01	0.0000000E 00
9	91	0.1000000E 01	0.0000000E 00
10	90	0.1000000E 01	0.0000000E 00
11	89	0.1000000E 01	0.0000000E 00
12	88	0.1000000E 01	0.0000000E 00
13	87	0.1000000E 01	0.0000000E 00
14	86	0.1000000E 01	0.0000000E 00
15	85	0.1000000E 01	0.0000000E 00
16	84	0.1000000E 01	0.0000000E 00
17	83	0.1000000E 01	0.0000000E 00
18	82	0.1000000E 01	0.0000000E 00
19	81	0.1000000E 01	0.0000000E 00
20	80	0.1000000E 01	0.0000000E 00
21	79	0.1000000E 01	0.0000000E 00
22	78	0.1000000E 01	0.0000000E 00
23	77	0.1000000E 01	0.0000000E 00
24	76	0.1000000E 01	0.0000000E 00
25	75	0.1000000E 01	0.0000000E 00
26	74	0.1000000E 01	0.0000000E 00
27	73	0.1000000E 01	0.0000000E 00
28	72	0.1000000E 01	0.0000000E 00
29	71	0.1000000E 01	0.0000000E 00
30	70	0.1000000E 01	0.0000000E 00
31	69	0.1000000E 01	0.0000000E 00
32	68	0.1000000E 01	0.0000000E 00
33	67	0.1000000E 01	0.0000000E 00
34	66	0.9996566E 00	0.2747253E-02
35	65	0.9975961E 00	0.1098901E-01
36	64	0.9925594E 00	0.4120879E-01
37	63	0.9863782E 00	0.7692307E-01
38	62	0.9801968E 00	0.1016483E 00
39	61	0.9727564E 00	0.1346153E 00
40	60	0.9616529E 00	0.1840656E 00
41	59	0.9447114E 00	0.2719772E 00
42	58	0.9259386E 00	0.3681305E 00
43	57	0.9040750E 00	0.4615366E 00
44	56	0.8806089E 00	0.5521944E 00
45	55	0.8603479E 00	0.6428512E 00
46	54	0.8397435E 00	0.7142779E 00

47	53	0. 8169643E 00	0. 7966932E 00
48	52	0. 7913232E 00	0. 8708670E 00
49	51	0. 7627060E 00	0. 9285578E 00
50	50	0. 7324862E 00	0. 9917428E 00
51	49	0. 7060438E 00	0. 1010973E 01
52	48	0. 6826923E 00	0. 1021961E 01
53	47	0. 6561354E 00	0. 1057673E 01
54	46	0. 6351876E 00	0. 1057673E 01
55	45	0. 6149267E 00	0. 1054926E 01
56	44	0. 5950091E 00	0. 1041190E 01
57	43	0. 5748626E 00	0. 1027455E 01
58	42	0. 5582646E 00	0. 1008226E 01
59	41	0. 5394917E 00	0. 9807541E 00
60	40	0. 5200320E 00	0. 1010973E 01
61	39	0. 4989697E 00	0. 9889957E 00
62	38	0. 4782509E 00	0. 1002732E 01
63	37	0. 4542124E 00	0. 9835013E 00
64	36	0. 4312042E 00	0. 1002732E 01
65	35	0. 4060211E 00	0. 9835013E 00
66	34	0. 3831273E 00	0. 9697654E 00
67	33	0. 3582875E 00	0. 9230634E 00
68	32	0. 3349358E 00	0. 8681198E 00
69	31	0. 3151327E 00	0. 7966932E 00
70	30	0. 2930403E 00	0. 7444968E 00
71	29	0. 2747253E 00	0. 6785645E 00
72	28	0. 2567536E 00	0. 6126323E 00
73	27	0. 2392399E 00	0. 5796661E 00
74	26	0. 2245879E 00	0. 5494472E 00
75	25	0. 2084478E 00	0. 5109867E 00
76	24	0. 1909341E 00	0. 4780200E 00
77	23	0. 1731914E 00	0. 4697783E 00
78	22	0. 1572802E 00	0. 4587893E 00
79	21	0. 1414835E 00	0. 4148335E 00
80	20	0. 1241987E 00	0. 4148335E 00
81	19	0. 1070284E 00	0. 3653833E 00
82	18	0. 9043039E-01	0. 3571416E 00
83	17	0. 7509157E-01	0. 3186802E 00
84	16	0. 6146978E-01	0. 2774717E 00
85	15	0. 4910714E-01	0. 2252742E 00
86	14	0. 4017857E-01	0. 1950546E 00
87	13	0. 3079212E-01	0. 1565932E 00
88	12	0. 2380952E-01	0. 1456043E 00
89	11	0. 1820055E-01	0. 1043956E 00
90	10	0. 1316392E-01	0. 8791208E-01
91	9	0. 9844322E-02	0. 5769230E-01
92	8	0. 7669413E-02	0. 4670329E-01
93	7	0. 5723443E-02	0. 3846154E-01
94	6	0. 3548535E-02	0. 3021978E-01
95	5	0. 2632784E-02	0. 1923077E-01
96	4	0. 1373626E-02	0. 1373626E-01
97	3	0. 6868131E-03	0. 8241758E-02
98	2	0. 3434066E-03	0. 5494505E-02
99	1	0. 3434066E-03	0. 2747253E-02
100	0	0. 2289377E-03	0. 2747253E-02

REFERENCIAS

- /1/ Alfredo Mena, "Confiabilidad de Sistemas de Potencia", Colección Escuela Politécnica Nacional, pp. 25-27, Quito, 1983.

- /2/ J. Endreny, "Reliability Modeling in Electric Power Systems", John Wiley & Sons, Ltd., p. 320, Chichester, 1978.

- /3/ Item. 2, pp. 109-112.

- /4/ IEEE Committee Report, "Proposed Definitions of Terms for Reporting and Analyzing Outage of Electrical Transmission and Distribution Facilities and Interruptions", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, pp. 1318-1323, Mayo 1968.

- /5/ Item. 2, p. 110.

- /6/ X. Wang, C. Pottle, "A Concise Frequency and Duration Approach to Generating System Reliability Studies", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, pp. 2521-2528, Agosto 1983.

- /8/ Subcommittee Report, "IEEE Reliability Test System" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, pp. 2047-2054, Noviembre/Diciembre 1979.

- /7/ R. J. Ringlee and A.J. Wood, "Frequency and Duration Methods for Power System Reliability Calculations. Part II: Demand Model and Capacity Reserve Model", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, pp. 375-388, April 1969
- /9/ Item. 1, p. 66.
- /10/ Item. 1, pp. 12-13.
- /11/ Jorge Santillan, "Curso de Diseño de L/T de 69 KV en adelante, Inecel, 1983.
- /12/ Item. 2, pp. 148-152.
- /13/ Item. 1, p. 87.
- /14/ Item. 2, p. 132.
- /15/ Item. 2, pp. 125-126.
- /16/ Item. 1, p. 70.
- /17/ Item. 1, p. 91.

BIBLIOGRAFIA

- MENA, Alfredo.- "Confiabilidad de Sistemas de Potencia", Colección Escuela Politécnica Nacional, 1983.
- ENDRENYI, J. .- "Reliability Modeling in Electric Power Systems", Chichester, 1978.
- DHILLON y SINGH.- "Engineering Reliability New Techniques and Applications", John Wiley & Sons Ltd., 1980.
- BILLINTON, RINGLE y WOOD.- " Power System Reliability Calculations", The MIT Press, 1973.
- HALL, RINGLEE y WOOD.- "Frequency and Durations Methods for Power System Reliability Calculations. Part I: Generation System Model", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, pp. 1787-1796, Septiembre 1968.
- BILLINTON y SINGH.- "Generation Capacity Reliability Evaluation in Interconnected Systems Using a Frequency and Duration Approach Part 1: Mathematical Analysis", IEEE Transactions on Power Apparatus and System Vol. PAS-90, pp. 1646-1654, julio/agosto 1971.
- SUBCOMMITTEE REPORT.- "IEEE Reliability Test System", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-98, pp. 2047-2054, nov/dic 1979.

- RINGLEE y WOOD.- " Frequency and Duration Methods for Power System Reliability Calculations. Part II: Demand Model and Capacity Reserve Model", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, pp. 375-388, abril 1969.

- BILLINTON y SINGH.- "System Load Representation in Generating Capacity Reliability Studies. Part I: Model Formulation and Analysis", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, pp. 2125-2132, Sep/Octubre 1972.

- BILLINTON y SINGH.- "System Load Representation in Generating Capacity Reliability Studies. Part II: Applications and Extensions", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, pp. 2133-2143, Septiembre/Octubre 1972.

- AYOUB y PATTON.- "A Frequency and Duration Method for Generating System Reliability Evaluation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-95, pp. 1929-1933, Nov/Diciembre 1976.

- WNAG y POTTLE.- "A concise Frequency and Duration Approach to Generating System Reliability Studies" , IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol PAS-102, agosto 1983.