

ATP PARA INEXPERTOS

Ing. Raúl BIANCHI LASTRA

IITREE
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de
La Plata



CONTENIDO

1. BREVE DESCRIPCION DEL ATP	1
1.1. ALGUNAS ACLARACIONES RESPECTO A ESTE MANUAL	4
2. NOTAS GENERALES	6
3. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA DE LA ENTRADA DE DATOS	8
3.1. TARJETAS "\$" (COMANDOS)	9
3.2. TEMAS NO DESCRITOS EN LA PRESENTE PUBLICACIÓN	10
4. FORMATOS DE LOS CAMPOS DE LAS TARJETAS	11
5. COMO COMENZAR CON LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA	13
6. TARJETAS DE DATOS MISCELANEOS. INTRODUCCION	14
6.1. PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS	14
6.2. SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS	15
6.3. TERCERA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS	17
6.3.1. NENERG ES POSITIVO:	17
6.3.2. NENERG ES NEGATIVO:	19
6.3.3. NENERG ES POSITIVO Y ISW = "4444".	20
7. MODELOS DE ELEMENTOS DE RAMAS. INTRODUCCION	21
7.1. MODELO DE RESISTENCIAS, INDUCTANCIAS Y CAPACIDADES NO ACOPLADAS	21
7.1.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS	21
7.2. MODELO DE RESISTENCIA E INDUCTANCIA ACOPLADAS. USO DE LOS VALORES Z0 Y Z1	22
7.2.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS	23
7.3. TRANSFORMADORES	23
7.3.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS.	24
7.3.2. OPCIÓN DE USO DE LOS NODOS DE REFERENCIA:	26
7.3.3. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES SOBRE EL USO DE MODELOS DE TRANSFORMADORES	27
7.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON PARÁMETROS DISTRIBUÍDOS	27
7.4.1. MODELO DE LÍNEA SIN DISTORSIÓN.	27
7.4.2. MODELO DE LÍNEA CON RESISTENCIA CONCENTRADA.	28
7.4.3. MODELO DE LÍNEA CON PARÁMETROS DEPENDIENTES DE LA FRECUENCIA	28
7.4.4. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES SOBRE EL USO DE MODELOS DE LÍNEAS	30
7.5. DESCARGADORES	31
7.5.1. MODELO DE DESCARGADORES DE CARBURO DE SILICIO (TIPO 99)	31

7.5.2. MODELO DE DESCARGADORES DE OXIDO METÁLICO (TIPO 92)	33
7.5.3. RESISTENCIA ALINEAL A SEGMENTOS LINEALES CON EXPLOSOR	36
8. MODELOS DE INTERRUPTORES. CONSIDERACIONES GENERALES	39
8.1. INTERRUPTORES ORDINARIOS	39
8.1.1. REGLAS GENERALES PARA LA ENTRADA DE DATOS DE LOS INTERRUPTORES ORDINARIOS.	40
8.1.2. INTERRUPTORES CONVENCIONALES	41
8.1.3. INTERRUPTORES CONTROLADOS POR TENSIÓN	41
8.2. INTERRUPTORES ESTADÍSTICOS Y SISTEMÁTICOS.	42
8.2.1. INTERRUPTORES ESTADÍSTICOS	42
8.2.2. INTERRUPTORES SISTEMÁTICOS	43
8.2.3. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS	43
8.3. INTERRUPTORES PARA MEDICIÓN.	44
8.3.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS.	45
8.4. IDEAS PARA LA SIMULACIÓN DE ALGUNOS FENÓMENOS	45
8.4.1. PRE-ARCO	45
8.4.2. REIGNICIONES	45
8.4.3. RESISTENCIA DE ARCO	46
9. FUENTES	47
9.1.1. TIPO 11: FUNCION ESCALÓN.	47
9.1.2. TIPO 12: FUNCION RAMPA.	48
9.1.3. TIPO 13: FUNCION DOBLE RAMPA.	48
9.1.4. TIPO 14: FUNCIÓN SINUSOIDAL.	48
9.1.5. TIPO 15: FUNCION IMPULSO	49
10. SALIDAS NUMÉRICAS Y GRAFICAS	50
10.1. SALIDAS NUMÉRICAS	50
10.2. SALIDAS GRÁFICAS	50
10.3. CARACTERÍSTICA GENERALES DE PCPLOT	51
10.4. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	52
10.4.2. INSTALACIÓN DEL PCPLOT	52
10.4.3. COMO INICIAR EL USO DE PCPLOT	52
10.4.4. USANDO PCPLOT	52
10.4.5. PANTALLA 1: SELECCIÓN DEL ARCHIVO CON LOS DATOS A GRAFICAR.	53
10.4.6. PANTALLA 2: SELECCIÓN DEL TIPO DE GRÁFICO Y DE LAS VARIABLES A INCLUIR.	55
10.4.7. PANTALLA 3: ESPECIFICACIÓN DE UNIDADES E IMPRESIÓN.	56
11. GUIA PARA COMENZAR CON EL MODELO DE UN SISTEMA	59
11.1. UNIDADES DE LOS PARÁMETROS	59
11.2. REQUISITOS DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED	59
11.3. SELECCIÓN DEL PASO DE TIEMPO Y DEL TIEMPO MÁXIMO DE SIMULACIÓN	60

11.4. SELECCIÓN DE LOS DATOS A INCLUIR EN LAS SALIDAS	63
11.5. SUGESTIONES PARA EL SEGUIMIENTO DE ERRORES	63
11.6. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS.	64

1. BREVE DESCRIPCION DEL ATP

El programa de transitorios electromagnéticos EMTP (ElectroMagnetic Transient Program), es un programa digital utilizado para simular transitorios electromagnéticos, electromecánicos y de sistemas de control en sistemas eléctricos polifásicos de potencia. Inicialmente fue desarrollado junto con otros programas, como contraparte digital del Analizador de Transitorios en Redes (TNA - Transient Network Analyzer). Posteriormente, durante un período de quince años, se lo ha ampliado considerablemente, resultando actualmente un programa de amplia difusión y utilización en todo el mundo.

El EMTP (actualmente conocido como ATP) fue desarrollado a fines de la década del 60 por el Dr. Hermann DOMMEL, quien cedió el programa a la **B**oneville **P**ower **A**dministration (**BPA**). Desde entonces, el EMTP fue expandido y distribuido bajo la dirección de la BPA. Algunos modelos han sido desarrollados dentro de la misma y otros han sido desarrollados por otras empresas y universidades.

En la actualidad, el desarrollo del programa está a cargo de un equipo dedicado a tal fin en la Universidad de Leuven, en Bélgica, el cual, tras algunos cambios, lo ha rebautizado **ATP** (**A**lternative **T**ransient **P**rogram), del cual existe tanto una versión para PC (el cambio más importante), como para computadoras grandes (mainframe).

Existen grupos formales de usuarios en todo el mundo, los cuales editan numerosos artículos que tratan temas relacionados con el uso del programa y sus aplicaciones.

Los estudios que involucran el uso del ATP, tienen objetivos encuadrados dentro de dos categorías. Una es el diseño, la cual incluye la coordinación de la aislación, dimensionamiento de los equipos, especificación de los equipos de protección, diseño de los sistemas de control, etc. La otra es la solución de problemas de operación, tales como fallas en los sistemas y análisis de los transitorios que normalmente ocurren en la operación del sistema.

Una lista parcial de los casos típicos de estudio se indica a continuación :

1. Transitorios de maniobra
 - a) Determinísticos.
 - b) Probabilísticos.
 - c) Maniobra de reactores.
 - d) Maniobra de capacitores.
 - e) Maniobra de interruptores.
 - f) Recierres rápidos.
 - g) Tensión transitoria de restablecimiento.
 - h) Transitorios de maniobra en cables.
2. Impulsos atmosféricos

- a) Contorneos inversos.
 - b) Impulsos inducidos.
 - c) Ingreso de impulsos atmosféricos a subestaciones.
3. Coordinación de la aislación
- a) Líneas aéreas.
 - b) Subestaciones.
 - c) Subestaciones blindadas en SF6 (GIS).
 - d) Descargadores.
4. Solicitaciones torsionales de ejes
- a) Resonancia subsincrónica.
 - b) Rechazo de carga.
5. Sistemas de alta tensión en corriente continua (HVDC)
- a) Control.
 - b) Transitorios eléctricos.
 - c) Armónicos.
6. Compensadores estáticos
- a) Control.
 - b) Sobretensiones.
 - c) Armónicos.
7. Ferroresonancia
8. Análisis armónico
9. Arranque de motores
10. Sistemas de control
11. Análisis de sistemas desbalanceados

Esta es solo una lista parcial. Una de las mayores ventajas del ATP es su flexibilidad para modelar sistemas, por lo tanto un usuario experimentado puede aplicar el programa a una gran variedad de estudios.

El usuario define el sistema a ser simulado interconectando los diversos componentes que constituyen el modelo del sistema. Los tipos de componentes que pueden ser utilizados son :

- a) Resistencias, capacidades e inductancias concentradas. Estas pueden ser elementos monofásicos, o secciones pi polifásicas consistentes en matrices R, C y L simétricas.
- b) Modelos de ondas viajeras para representar líneas aéreas o cables más exactamente que con secciones pi. Se disponen de distintos tipos de modelos

que permiten considerar las transposiciones, la variación de los parámetros con la frecuencia, etc.

- c) Impedancias no lineales, como por ejemplo inductores no lineales para representar dispositivos con saturación magnética.
- d) Llaves de diversos tipos que permiten representar interruptores, diodos, tiristores, etc.
- e) Fuentes ideales de corriente y tensión, las cuales pueden ser sinusoidales de cualquier frecuencia, exponenciales, o cualquier otra especial definida por el usuario.
- f) Máquinas sincrónicas, siendo posible modelar la parte eléctrica, mecánica y también sus dispositivos de control.
- g) Modelo de máquina universal que permite representar máquinas sincrónicas, de inducción y de continua.
- h) Sistemas de control. Las señales eléctricas medidas pueden ser transferidas a un programa auxiliar denominado TACS (Transient Analysis of Control System), donde se emula una computadora analógica y se calculan las variables de control que son retornadas a la red eléctrica principal.

Las entradas del programa consisten en el intervalo de tiempo para el cálculo, el tiempo máximo de simulación, las variables de salida deseadas y los datos del modelo.

Los datos de entrada requeridos por el ATP son diferentes y superiores en cantidad que los necesarios para otros programas tales como flujo de carga, cortocircuito y estabilidad. Esto se debe a que el ATP utiliza modelos más detallados que dichos programas, para poder simular en forma precisa los transitorios de alta frecuencia que ocurren durante cortos períodos de tiempo. Para facilitar la entrada de datos, existen programas auxiliares que ayudan al usuario en la entrada de los datos de líneas, cables, transformadores, etc.

Como método de resolución, el ATP utiliza la regla de integración trapezoidal sobre las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de la mayoría de los elementos que componen una red eléctrica.

Como resultado de la simulación, el ATP provee las tensiones de barra, corrientes de ramas, energía, variables de máquina, variables de control, etc. Estos valores pueden ser graficados y/o impresos como función del tiempo y almacenados en archivos para su posterior tratamiento. También se dispone de la impresión de los valores máximos y mínimos de las variables y del tiempo al cual ocurren.

Una solución de estado estacionario es realizada antes de la simulación transitoria para definir las condiciones iniciales, y esto puede ser también una útil herramienta de estudio en sí misma. Todas las tensiones, corrientes y potencias de estado estacionario son determinadas para todos los nodos de la red. También se dispone

de una opción de barrido en frecuencia de las fuentes que permite realizar estudios de armónicos en el sistema eléctrico.

Dada la magnitud del programa, hasta hace poco tiempo solo era posible correrlo sobre grandes computadoras, debido a los requerimientos de CPU y memoria necesarios. Esta es la razón por la cual inicialmente solo eran usuarios del mismo, las grandes empresas y universidades que tuvieran acceso a centros de cómputos.

En la actualidad la versión del ATP para computadoras personales, (aunque por supuesto con limitaciones respecto a su versión original), lo hace accesible a un mayor número de usuarios, siendo previsible un uso cada vez mayor del programa durante los próximos años.

El ATP no es un programa comercial, su distribución es gratuita. Las sucesivas versiones del programa y toda la información relacionada con el mismo (manuales y diversas publicaciones) es recibida y distribuida por los comités de usuarios.

En nuestro país, el **Comité Argentino de Usuarios del EMTP (CAUE)** es el encargado de concentrar las actividades de los usuarios, y está conformado por numerosos miembros, entre los que se cuentan empresas de energía y universidades.

El ingreso como miembro al comité es gratuito y permite acceder al programa y a toda información referente al mismo.

El objetivo primordial que persigue el CAUE, es el intercambio de información entre sus miembros, como así también de experiencias relacionadas con su utilización a través de cursos, seminarios, etc.

1.1. ALGUNAS ACLARACIONES RESPECTO A ESTE MANUAL

El presente manual no pretende reemplazar al manual original de uso del programa, dado que constituye sólo una breve descripción del formato de entrada de los elementos más utilizados en el **ATP**, junto con algunas descripciones y recomendaciones respecto al uso de los mismos.

El hecho de que el manual original esté escrito en inglés, y que además su organización es poco clara, obliga a la redacción de esta publicación, la cual intenta ser útil en la etapa inicial, dado que para aplicaciones complejas y/o para seguimiento de errores es recomendable referirse al manual original.

La intención, por lo tanto, es vencer la dificultad con la que inicialmente se encuentra profesional que intenta hacer uso del programa, ofreciéndose una alternativa al manual original y a la bibliografía "poco amigable" actualmente existente.

Respecto al análisis de transitorios, uno de los aspectos más remarcables es el hecho de que, un simple elemento físico, puede ser modelado de distintas formas dependiendo esto del fenómeno de interés.

Así, una línea de transmisión puede ser tratada como tal, o como una inductancia, una capacidad ó una resistencia dependiendo del fenómeno específico a estudiar. Un transformador puede ser modelado como una inductancia, un capacitor ó una combinación de ambos. Así mismo la alinealidad de un circuito magnético puede o no ser importante dependiendo de la naturaleza del estudio.

Por otro lado, un único evento puede producir varios fenómenos, como ser sobretensiones y/o sobrecorrientes de tiempos de frente rápidos ó no, transitorios electromecánicos, etc. Sin embargo, en general, uno sólo de ellos será el más importante o de interés.

Conceptualmente se puede imaginar un modelo matemático que represente fielmente a un elemento ó al sistema en cualquier circunstancia, como así también que sirva para el análisis de todos los fenómenos que pueda originar un único evento, pero aunque exista, seguramente resultará en la ineficiencia del programa de simulación.

Por lo tanto, es necesario un conocimiento general del tema a investigar a fin de determinar cual es el modelo adecuado para un estudio en particular. Es de remarcar que: La habilidad para predeterminar el modelo adecuado se adquiere con la experiencia en el campo del análisis de transitorios y no con el conocimiento de uso de este programa, el cual sólo constituye una herramienta.

Se recomienda entonces que los resultados de los estudios realizados con el ATP, sean analizados cuidadosamente, justificandose incluso la consulta a profesionales con mayor experiencia, dado que es fácil llegar a resultados erróneos causados por un modelo no adecuado del elemento ó sistema a investigar.

2. NOTAS GENERALES

Antes de comenzar con la descripción del uso del programa, es necesario realizar algunos comentarios respecto a reglas de aplicación general en este manual:

- En adelante, se utilizará la convención de denominar "tarjeta" a cada uno de los registros de 80 columnas del archivo que contiene los datos de entrada.
- Se denomina "tarjeta en blanco" a aquella que tiene la palabra BLANK en las columnas 1 a 6 (la columna 6 debe estar en blanco). El resto de las columnas (7 a 80) puede utilizarse para indicar cualquier comentario.
- La mayoría de los modelos tiene la opción de indicar un número en la columna 80 (variable IOU), con el que se puede solicitar alguna variable de salida, según la siguiente convención:

IOU = 0 --> ninguna variable de salida.

IOU = 1 --> corriente de rama.

IOU = 2 --> tensión de rama.

IOU = 3 --> corriente y tensión de rama.

IOU = 4 --> potencia y energía de rama

Se recomienda en cada caso consultar las reglas particulares de cada modelo, pues para algunos de ellos, ciertas opciones pueden no estar disponibles.

Además, todas las variables de salida, solicitadas por medio de IOU>0, serán incluidas en el archivo de graficación utilizado por el programa PCPLOT, el cual será descrito posteriormente.

- Es posible insertar comentarios en cualquier lugar del archivo de datos. Para ello es necesario indicar "C " en las columnas 1 y 2 (la columna 2 debe estar en blanco), con lo cual puede utilizarse el resto de la tarjeta (columnas 3 a 80) para escribir algún comentario. Esto también es útil para anular transitoriamente una tarjeta, sin necesidad de borrarla del archivo.
- La descripción del formato de cada una de las tarjetas de los modelos, se hará en este manual siguiendo la siguiente forma:

1...3	<--- columnas entre las que debe ingresarse el dato
ITYPE	<--- nombre de la variable
I2	<--- formato FORTRAN del campo

- En muchos modelos es posible utilizar la opción de "nodos de referencia". Esto es útil cuando los datos de un elemento son idénticos a los de otro ya

ingresado, con lo cual sólo será necesario indicar, en las columnas correspondientes (generalmente indicadas con BUS-3 y BUS-4), el par de nombres del elemento que contiene los datos a copiar. Es recomendable utilizar esta opción a fin de minimizar la posibilidad de errores en la introducción de los datos.

- Si bien en la descripción de cada modelo se tratará el tema, es de destacar aquí que:
 - Si hay dos o más ramas en paralelo con el mismo par de nombres pero con diferentes datos, y se hace referencia a una de ellas en alguna otra tarjeta, el programa no será capaz de determinar a cual de todas se hace referencia. Por defecto, copiará los datos de la primera que encuentre, lo cual puede no ser correcto. En esta situación, no imprimirá además ningún mensaje de error ni de advertencia.
 - Si son dos las tarjetas en las condiciones descritas anteriormente, una solución consiste en invertir el par de nombres de una de las ramas, lo cual resultará en dos pares de nombres distintos para el programa. Es decir, por ejemplo la rama "BARRA1 BARRA2" es distinta a la "BARRA2 BARRA1", sin que se vea afectada la topología de la red.
- En el programa se emplea para los campos numéricos, la notación que utiliza la coma para los miles, y el punto para los decimales.

3. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA DE LA ENTRADA DE DATOS

El ingreso de todas las tarjetas de datos, necesarios para la representación digital completa de un sistema, está organizado según una estructura determinada.

Es decir, el conjunto de datos puede ser considerado como dividido en grupos, los cuales se indican a continuación, y cuya secuencia debe ser respetada.

1. Tarjetas que indican el comienzo de un nuevo caso, las cuales están compuestas por :
 - a) Tarjeta con la frase BEGIN NEW DATA CASE.
 - b) Tarjetas para la solicitud de algún requisito especial (son opcionales, consultar el manual).
 - c) Tarjetas de datos misceláneos. Pueden ser dos o tres, según el caso.
2. Tarjetas que indican la utilización de TACS, compuestas por:
 - a) Una tarjeta con la frase TACS HYBRID, en caso en que se utilice el programa de simulación de sistemas de control (TACS) conjuntamente con el ATP, o TACS STAND ALONE si sólo se utiliza TACS.
 - b) Todas las tarjetas que definen el modelo del sistema a ser simulado con TACS (ver el manual).
3. Tarjetas de ramas lineales o no lineales, transformadores, descargadores, líneas de transmisión, cables, etc., terminadas con una tarjeta en blanco.
4. Tarjetas de interruptores, diodos, etc., terminadas con una tarjeta en blanco.
5. Tarjetas de fuentes de tensión, corriente, y/o máquina síncrona, terminadas con una tarjeta en blanco.
6. Tarjeta para sobrescribir las condiciones iniciales.
7. Tarjetas que definen los nodos cuyas tensiones serán impresas en la salida, terminadas con una tarjeta en blanco.
8. Tarjetas para definir fuentes punto a punto (TYPE 1-10, ver manual). Debe existir una tarjeta por cada paso de tiempo, terminadas con una tarjeta con 9999 en columnas 1-4.
9. Tarjetas para la graficación, terminadas con una tarjeta en blanco. En la versión del programa para computadoras personales deben omitirse estas tarjetas. Sólo debe colocarse la tarjeta en blanco.
10. Dos tarjetas que indican el fin del lote de datos, las cuales son :

- a) Una tarjeta con la frase BEGIN NEW DATA CASE.
- b) Una tarjeta en blanco.

Los grupos de tarjetas 2], 6] y 8] son opcionales y pueden no existir. Las tarjetas 1] y 10] siempre deben existir. Para el resto de los grupos, aunque en algún modelo particular no se utilicen por ejemplo interruptores, debe colocarse la tarjeta en blanco que indica el fin de datos (no existentes) de éstos elementos.

Los grupos de tarjetas 1] a 10] pueden repetirse las veces que se desee, de manera que al terminar con un caso de simulación, el programa continuará con el que le sigue en secuencia automáticamente.

3.1. TARJETAS "\$" (COMANDOS)

Existe un tipo especial de tarjetas que comienzan con un signo "\$" en la columna 1, seguido de un comando. Estas tarjetas tienen la característica de que pueden ser ubicadas en cualquier lugar y orden dentro del archivo de datos, y tienen la función de ejecutar alguna tarea especial sobre la salida del programa. La descripción de algunos de estos comandos se indica a continuación:

- \$OPEN / \$CLOSE: son utilizados para conectar/desconectar un archivo en disco a un canal de entrada/salida del programa. Un ejemplo de esto es cuando se desea grabar, con un nombre especial, un archivo en disco que contenga los puntos para graficar con el programa PCPLOT. Esto será tratado con más detalle en el capítulo correspondiente a salidas numéricas y gráficas.
- \$DISABLE / \$ENABLE: el comando \$DISABLE hace que las tarjetas que siguen sean ignoradas por el programa, es decir, tratadas como si estuvieran comentarizadas, hasta que se encuentre un comando \$ENABLE. Esto es útil cuando se desea anular un gran bloque de datos sin borrarlo del archivo.
- \$LISTOFF / \$LISTON: el comando \$LISTOFF causa que no sean mostradas en la salida (aunque sí tomadas en cuenta) las siguientes tarjetas de datos, hasta que se encuentre un comando \$LISTON. Esto es útil cuando se desea reducir el archivo de salida, al omitirse la impresión de bloques de datos que ya han sido probados y usados anteriormente.
- \$WIDTH,M: este comando permite modificar el ancho en caracteres de la salida, truncando aquellos superiores al valor entero indicado por "M". Por defecto, "M" es 132.
- \$WATCH,M: con este comando es posible que una de cada "M" tarjetas sean mostradas incondicionalmente en pantalla. Esto es realmente útil únicamente cuando se ha redireccionado la salida a un archivo en disco (por ejemplo, con la opción DISK al comenzar la ejecución, la cual se describe más adelante), con lo cual sino se perdería en cierta forma el control sobre la ejecución del programa.

-
- \$COMMENT: indica al programa que no muestre en la salida todas aquellas tarjetas que se encuentren comentarizadas.

3.2. TEMAS NO DESCRITOS EN LA PRESENTE PUBLICACIÓN

- Las tarjetas para requisitos especiales indicadas en 1.b
- El tema referente a la simulación de sistema de control (**TACS** - **T**ransient **A**nalysis of **C**ontrol **S**ystems), dado que la extensión e importancia del mismo supera los alcances de este manual.
- Los modelos de máquinas rotantes.
- Las tarjetas para sobre escribir las condiciones iniciales indicadas en 7]
- Las tarjetas para definir las fuentes punto a punto indicadas en 8]

4. FORMATOS DE LOS CAMPOS DE LAS TARJETAS

Dado que el programa fuente del ATP está escrito en FORTRAN, los formatos posibles de los distintos campos de las tarjetas son aquellos admitidos por dicho lenguaje, es decir:

- **FORMATO 'F':** los campos con este formato requieren la entrada de un número decimal. Por ejemplo un campo con formato 'F10.3', implica que se admite un número de hasta 10 columnas de ancho (téngase en cuenta que el punto decimal ocupa una columna), de los cuales los tres últimos de la derecha son tomados como decimales, si es que se ingresa expresamente el punto. Si no se ingresa el punto, el "3" del formato es ignorado.

Si se ingresa el punto, el número puede ser ingresado en cualquier lugar dentro del campo, aunque la práctica común indica que debe alinearse a la derecha. Si no se indica el punto, los espacios a la derecha sobrantes serán llenados por ceros por el programa.

Ejemplos de un formato F10.3 son los siguientes:

```
C 34567890
  -39.5    <--- correcto, aunque no esté ajustado a la
derecha
    2345   <--- es el número 2.345
    2345   <--- es el número 234.5
    3.1415 <--- es el número Pi
```

- **FORMATO 'I':** este campo es para la entrada de números enteros, y no admite el ingreso del punto decimal. Tampoco admite una potencia de diez (es decir, en notación científica).

Además, debe estar ajustado a la derecha, pues sino los espacios en blanco que queden serán completados con ceros por el programa.

Ejemplos de un formato 'I10' son:

```
C 34567890
    -39    <--- es correcto
    -99    <--- implica el número 99,000 !!!
```

- **FORMATO 'E':** campos con este tipo de formato son para la entrada de números en notación científica. No es obligatorio el ingreso de una potencia de diez, se podría decir que el formato 'F' es un caso especial de este formato, donde la potencia de 10 es cero.

Si se ingresa una potencia de diez, el número debe estar alineado a la derecha, caso contrario los espacios en blanco a la derecha serán llenados con ceros por el programa.

Ejemplos de un formato 'E10.3'

```
C 34567890
  1.609E3 <--- correcto, es el número 1609
    1609E3 <--- correcto, también es el número 1609
  1.609E3 <--- esto implica 1.609E300 !!!
  3.141592 <--- correcto, es el número Pi
  -39.5    <--- correcto, aunque no esté alineado a la
derecha
  -5.2E-4 <--- correcto, es el número -0.00052
  5.2E+4 <--- correcto, es el número 52000
```

- FORMATO 'A': este formato es el único disponible para la entrada de cadena de caracteres. Un ejemplo de campos que utilizan este tipo de formato, es el correspondiente a los nombres de los nodos, que usan el formato 'A6', es decir, los nombres de nodos pueden tener hasta 6 caracteres o letras de extensión.

Ejemplos de un formato 'A6':

```
C 3456
  CAPA
  CAPA <-- los tres son válidos, aunque distintos entre sí.
  CAPA
  1.e+!! <--- si bien es raro, también es correcto.
```

5. COMO COMENZAR CON LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

El archivo ejecutable del ATP es el 'TP1.EXE' que se encuentra en el directorio 'C:\ATPSIM\LEC'.

Al tipear desde este directorio 'TP1 <ENTER>', se comenzará con la ejecución del programa, apareciendo el siguiente mensaje en pantalla:

'EMTP BEGINS. SEND(SPY, FILE_NAME, DISK, HELP, GO, KEY):'

A pesar de las opciones que se muestran, las respuestas posibles del usuario son:

- a) file-name (nombre de archivo): Si se indica un nombre de archivo de datos, el ATP comenzará con la lectura de los datos del mismo y continuará con la resolución del caso. Normalmente la extensión de este archivo será '.DAT'.

La salida será dirigida a la pantalla, en donde se podrá observar el desarrollo de la simulación. Finalizada la ejecución, la salida se perderá (salvo los archivos de graficación, lo cual será detallado posteriormente en este manual), a no ser que se indique lo siguiente:

- b) DISK: Si en respuesta al mensaje se responde con la palabra 'DISK' (en mayúsculas), esto significará que se desea que la salida sea dirigida a un archivo en disco. El programa repetirá el mensaje, a cual habrá que responder con lo indicado en a), es decir, con el nombre del archivo que contiene los datos. Luego, más adelante, el programa preguntará por el nombre del archivo que contendrá la salida de la simulación (LUNIT 6), debiéndose entonces indicar aquí el nombre deseado para el mismo (incluido el "Path"), según las reglas del DOS.
- c) STOP: Con esta indicación se detiene la ejecución del programa, retornándose al sistema operativo DOS.

6. TARJETAS DE DATOS MISCELANEOS. INTRODUCCION

Este grupo está compuesto por dos ó tres tarjetas, que deben preceder a las tarjetas de ramas, y contendrán los datos de configuración generales de la corrida, tales como el tiempo máximo de simulación (TMAX), el paso de tiempo (DELTAT), etc.

Los detalles de los datos a ingresar se describe a continuación:

6.1. PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS

El formato y los datos a introducirse en esta tarjeta son los siguientes:

1...8	9...16	17...24	25...32	33...40	41...48	49...56
DELTAT	TMAX	XOPT	COPT	EPSILN	TOLMAT	TSTART
E8.0	E8.0	E8.0	E8.0	E8.0	E8.0	E8.0

- DELTAT : Es el paso de tiempo empleado para la integración numérica, en segundos. La solución numérica será calculada para instantes de tiempo separados por este paso
- TMAX : Es el tiempo total de simulación, en segundos. La cantidad de puntos a calcular será de TMAX/DELTAT.

Si bien el límite del EMTP permite un valor máximo de TMAX/DELTAT de 10^6 , en la práctica el valor recomendado resulta mucho menor debido al problema que implica el excesivo tiempo computacional requerido para calcular tal cantidad de puntos, el cual depende además de la complejidad del sistema modelado y del sistema de cómputos utilizado. Es conveniente no utilizar más de 50.000 puntos.

TMAX puede ser negativo, en cuyo caso sólo se realizará el cálculo del estado estacionario, sin efectuarse la solución transitoria.

- XOPT : Parámetro que indica la forma en que deben entrarse los valores inductivos de todas las ramas
 - Si XOPT = 0 o en blanco, los valores serán considerados como de inductancias y deben entrarse en milihenrios (mH).
 - Si XOPT = f (>0), los valores serán considerados como de reactancia

inductiva $wL=2\pi fL$ y deben ser entrados en ohms a la frecuencia f .

- COPT : Parámetro que indica la forma en que deben entrarse los valores capacitivos de todas las ramas
 - Si $XOPT = 0$ o en blanco, los valores serán considerados como de capacitancias y deben entrarse en microfaradios (μF).
 - Si $XOPT = f$ (>0), los valores serán considerados como de susceptancia capacitiva $wC=2\pi fC$ y deben ser entrados en micromhos a la frecuencia f .
- EPSILN, TOLMAT, TSTART : Estas tres tarjetas no son utilizadas normalmente, por lo menos en la etapa inicial de aprendizaje. Ver el manual del programa.

6.2. SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS

1...8	9...16	17...24	25...32	33...40	41...48	49...56	57...64	65...72	73...80
IOUT	IPLOT	IDOUB L	KSSO UT	MAXO UT	IPUN	MEMS AV	ICAT	NENE RG	IPRSU P
I8	I8	I8	I8	I8	I8	I8	I8	I8	I8

- IOUT : Parámetro que controla la frecuencia de impresión de los valores de las variables de salida.
 - Si $IOUT = 0$ o 1 , los valores serán impresos para cada paso de tiempo.
 - Si $IOUT = K > 1$, los valores serán impresos cada K_{esimo} paso de tiempo.
- Se imprimirán entonces $TMAX/(DELAT*IOUT)$ puntos de cada variable.
- $IOUT$ debe ser 0 o un número impar. Esto es debido a que un número par no permite que posibles oscilaciones numéricas sean detectadas, en la salida, por el usuario.
- IPLOT : Parámetro que controla la frecuencia en que los puntos son utilizados para la graficación:
 - Si $IPLOT = 0$ o 1 , cada punto calculado será utilizado para la graficación.
 - Si $IPLOT = M > 1$, solo cada M puntos calculados se usará uno para la graficación. Esto es útil cuando por alguna razón se debe utilizar un paso de tiempo menor para la solución que para la salida gráfica, obteniéndose por lo tanto de esta manera una ejecución más rápida. En el gráfico no estarán incluidos los valores de la variables que caen dentro del intervalo definido por

M*DELTAT (segundos).

- Si el usuario especifica un valor par para IPLOT, el programa lo incrementará automáticamente en una unidad a fin de obtener un valor impar.
- Si IPLOT = -1, no se realizará ningún gráfico. Esta opción debe utilizarse si no se desean gráficos a fin de obtener una ejecución más rápida
- IDOUBL : Parámetro que controla la impresión de la tabla de conectividad, la cual indica como las ramas, fuentes, interruptores, etc., se interconectan entre sí. Es útil para encontrar posibles errores en la conexión de los elementos.
 - Si IDOUBL = 0 no se imprime la tabla.
 - Si IDOUBL = 1, si se imprime.
- KSSOUT : Parámetro que controla la impresión de los valores de las variables en el estado estacionario, calculados por el EMTP previo a la iniciación del cálculo transitorio.
 - Si KSSOUT = 0, no se imprime
 - Si KSSOUT = 1, se imprime la solución del estado estacionario completa.
 - Si KSSOUT = 2, se imprimen los valores correspondientes sólo a los interruptores y fuentes, pero no de ramas.
 - Si KSSOUT = 3, igual que el anterior, más los valores de ramas indicados en la columna 80 de cada tarjeta de datos.
- MAXOUT : Parámetro que controla la impresión de los valores máximos y mínimos de las variables y de los tiempos al cual ocurren:
 - Si MAXOUT = 0, no se imprimen.
 - Si MAXOUT = 1, se imprimen teniendo en cuenta todos los pasos de tiempo.
 - Si MAXOUT = 2, se imprimen pero sólo considerando los pasos de tiempo indicados para la impresión o graficación, excepto para la potencia o energía, en donde se consideran todos los pasos de tiempo.
- IPUN y MEMSAV: No se utilizan en la etapa inicial de aprendizaje. Consultar el manual del programa para más detalles.
- ICAT: Si se deja en blanco, no se guardarán los puntos para una posterior graficación con el programa PCPLOT. Si se indica un 1, los puntos serán guardados en disco con un nombre que, generalmente, consiste en una composición de la fecha y hora en que se inició la corrida. Existe la alternativa de indicar un nombre distinto, la cual será descrita en el capítulo correspondiente a las salidas gráficas.

- **NENERG** : Parámetro de control relacionado con el estudio estadístico de maniobras de energización de líneas:
 - Si NENERG = 0 o en blanco, es el caso normal de estudios determinísticos.
 - Si NENERG = $K > 0$, esto implica un estudio estadístico, en donde se realizarán K energizaciones (cierre de interruptores).
 - Si NENERG = $K < 0$, esto implica un estudio sistemático del sistema, en el cual se realizarán K energizaciones.
 - En cualquiera de los casos en que NENERG $\neq 0$, se deberá agregar una tercera tarjeta de datos misceláneos.
 - El valor de NENERG está comprendido usualmente entre 100 y 200. Cuanto mas maniobras se realicen, mayor es el tiempo computacional requerido para la solución. Es recomendable comenzar con un valor reducido de NENERG a fin de detectar posibles errores sin utilizar mucho tiempo computacional, y una vez que se adquiere confianza en el modelo, poner el valor de NENERG definitivo.
- **IPRSUP** : No se utilizan en la etapa inicial de aprendizaje. Consultar el manual del programa para más detalles.

6.3. TERCERA TARJETA DE DATOS MISCELÁNEOS

1...8	9...16	17...24	25...32	33...40	41...48	49...56	57...64	65...72	73...80
ISW	ITEST	IDIST	AINCR	XMAXMX	DEGMIN	DEGMAX	STATFR	SIGMAX	NSEED
I8	I8	I8	F8.0	F8.0	F8.0	F8.0	F8.0	F8.0	I8

Esta tarjeta puede tener tres significados diferentes, en función del valor de NENERG.

6.3.1. NENERG ES POSITIVO:

Esto implica que sigue la tarjeta de datos ESTADISTICOS, compuesta por los siguientes campos:

- **ISW** : Parámetro que controla la impresión de los tiempos de cierre/apertura de los interruptores para cada energización
 - Si ISW = 0 no los imprime.
 - Si ISW = 1 los imprime.

Al imprimir los tiempos para cada maniobra, será posible posteriormente repetir únicamente el caso en que se obtuvo la mayor sobretensión, a fin de obtener la

forma de onda de la misma.

- ITEST : Parámetro que controla la adición de un tiempo extra (determinado al azar) a los generados aleatoriamente por el programa, y puede tener los siguientes valores:
 - Si ITEST = 0 se agrega el tiempo extra al azar a cada tiempo de operación, teniendo en cuenta los valores de DEGMIN, DEGMAX, y STATFR. Esto se utiliza para considerar que la secuencia de operación de los interruptores se inicia en cualquier punto de la onda de tensión de frecuencia STATFR, dentro de los límites definidos por DEGMIN y DEGMAX. Es el caso usual.
 - Si ITEST = 1, no se produce tal adición de tiempo.
 - Si ITEST = 2, solo se efectúa para los tiempos de cierre aleatorios.
 - Si ITEST = 3, solo se efectúa para los tiempo aleatorios de apertura.
- IDIST : Parámetro que controla la distribución de los tiempos de cierre generados al azar:
 - Si IDIST = 0, los tiempos serán generados de acuerdo a una distribución GAUSIANA. Es el caso usual.
 - Si IDIST = 1, los tiempos generados tendrán una distribución UNIFORME.
- AINCR : La tabulación de los resultados estadísticos de las sobretensiones, que se realiza luego de terminadas las NENERG operaciones, usará un incremento en la discretización de tensión de AINCR en por unidad. Un valor de AINCR = 0 o en blanco producirá un valor por defecto de 0,05 por unidad.

El valor de AINCR está comprendido usualmente entre 0,05 y 0,10. En general, se debe utilizar un valor tal que se obtengan entre 10 a 20 clases en el histograma de la salida estadística de tensiones en p.u.

Un valor de AINCR de "55." implica un caso especial en donde además se imprimirán los valores máximos y mínimos y el tiempo en que ocurren, para cada energización.
- XMAXMX : Parámetro que indica el valor máximo en por unidad, que será considerado por el algoritmo de conteo. Un campo con 0 o en blanco implica un valor por defecto de 2.0

Como máximo debe utilizarse un valor de XMAXMX de 5,0, ya que si las sobretensiones exceden este valor, es probable que exista un error en el modelo y por lo tanto será necesario verificarlo.
- DEGMIN, DEGMAX y STATFR : Si ITEST = 0, un tiempo al azar será adicionado a los generados para los cierres del interruptor, el cual es determinado en base a estos tres parámetros, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ta = (1/(360*STATFR))*\{(1-\alpha)DEGMIN + \alpha*DEGMAX\}$$

en donde α es un número determinado al azar entre 0 y 1.

DEGMIN y DEGMAX son los ángulos mínimos y máximos en grados, que definen una "ventana" de una onda senoidal de frecuencia STATFR, dentro de la cual el tiempo es aleatoriamente seleccionado de acuerdo a una distribución uniforme.

DEGMIN debe ser cero, mientras que DEGMAX debe ser 360 para estudios de recierre sobre carga atrapada, caso contrario se puede usar 180 dado que los semiciclos de la onda de 50 Hz son simétricos.

- SIGMAX : Para el caso de una distribución gaussiana, SIGMAX es el valor al cual será truncada la distribución para el cálculo de los tiempos aleatorios de los interruptores. Se debe indicar un múltiplo de la desviación estandar y se lo considerará simétrico respecto al valor medio.

Un campo con un cero o en blanco implica un valor por defecto de 4.

- NSEED : La generación de los tiempos de operación dependerá o no de la hora del sistema de cómputos, en función del valor de éste parámetro:
 - Si NSEED = 0, los tiempos no dependerán de la hora del sistema y por lo tanto todas las corridas que se efectúen se realizarán con idénticos tiempos de cierre.
 - Si NSEED = 1, la generación de tiempos dependerá de la hora del sistema y por lo tanto cada corrida será diferente de la anterior.

6.3.2. NENERG ES NEGATIVO:

Esto implica que sigue la tarjeta de datos SISTEMATICO, compuesta por los siguientes campos:

- ISW : Igual significado que para el punto A.
- ITEST :
 - Si ITEST = 0, el tiempo indicado en el campo TCLOSE de la tarjeta de datos de interruptores sistemáticos, será interpretada como el tiempo medio. La variación será entonces alrededor de éste valor.
 - Si ITEST = 1, el tiempo será interpretado como el tiempo mínimo. La variación será para tiempos mayores que éste.
- AINCR : Igual significado que para el punto A.
- XMAXMX : Igual significado que para el punto A.

6.3.3. NENERG ES POSITIVO Y ISW = "4444".

No se realizará la simulación estadística y en su lugar se efectuará la impresión de los tiempos de cierre generados, a fin de poder compararlos con los esperados teóricamente.

7. MODELOS DE ELEMENTOS DE RAMAS. INTRODUCCION

Se tratará aquí la descripción de la entrada de datos de todos aquellos elementos pasivos conectados entre dos nodos de una red eléctrica.

Los elementos más comúnmente modelados, los cuales se describirán a continuación, son:

- Resistencias, inductancias y capacidades concentradas no acopladas.
- Resistencias e inductancias concentradas acopladas.
- Transformadores monofásicos y trifásicos.
- Líneas de transmisión.
- Descargadores de Carburo de Silicio y de Oxido de Metálico.

7.1. MODELO DE RESISTENCIAS, INDUCTANCIAS Y CAPACIDADES NO ACOPLADAS

Este modelo puede ser utilizado para representar la impedancia interna de máquinas, u otra impedancia que pueda considerarse concentrada en el sistema.

El formato de la tarjeta de entrada de datos es el siguiente :

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	27...32	33...38	39...44	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	R (OHM)	L (mH)	C (μF)	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	E6.2	E6.2	E6.2	I1

7.1.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS

- ITYPE debe tener un cero o dejarse en blanco.
- BUS-1 y BUS-2. Indique el par de nombres de los nodos terminales en estos campos. Uno de los nodos (cualquiera) puede ser tierra, en cuyo caso debe dejarse en blanco.

Si una rama tiene idénticos valores de R, L y C a otra ya indicada, entonces se pueden usar los nodos de referencia sin tener que repetir los valores de R, L y C. Para esto indique en los campos BUS-3 y BUS-4 los nombres de la rama que contiene dichos valores, y deje en blanco los campos correspondientes a R, L y C.

Tenga en cuenta que si una rama tiene varias en paralelo, no estará en claro cual de todas ellas será la de referencia. El programa adoptará como tal a la primera de ellas.

Una forma de evitar este problema consiste en invertir el par de nodos, dado que un par de nodos con nombres "NODO-A" y "NODO-B" en BUS-1 y BUS-2 respectivamente, no es idéntico a otro par con nombres "NODO-B" y "NODO-A" en los mismos campos.

- R, L y C Los valores numéricos de los elementos deben estar en las siguientes unidades :

a) R en [Ohms].

b) L en [mH] si XOPT=0, ó

$$\omega L = 2\pi fL \text{ en [ohms] a la frecuencia } f = XOPT$$

c) C en [μ F] si COPT = 0, ó

$$\omega C = 2\pi fC \text{ en } [\mu\text{mhos}] \text{ a la frecuencia } f = COPT$$

Al menos uno de los valores de R, L o C de la rama debe ser distinto de cero.

Si una rama no tiene resistencia y/o inductancia, entonces poner R=0 y/o L=0. Si no tiene capacidad, entonces poner C=0, dado que el programa automáticamente interpretará a $1/\omega C=0$

- IOUT: Indique las variables de salida para graficación y/o impresión usando este campo (columna 80).

Si IOUT = 0 ninguna variable de salida

IOUT = 1 para corriente de rama

IOUT = 2 para tensión de rama

IOUT = 3 para corriente y tensión

IOUT = 4 para energía y potencia

7.2. MODELO DE RESISTENCIA E INDUCTANCIA ACOPLADAS. USO DE LOS VALORES Z0 Y Z1

Si se tienen tres ramas R-L acopladas, entonces en lugar de ingresar las matrices [R] y [L], puede resultar más conveniente utilizar los valores asociados de secuencias cero y positiva (R0,L0) y (R1,L1) respectivamente. El formato de la tarjeta de entrada de datos es el siguiente :

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	27...32	33...44	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	R (OHM)	L (mH)	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	E6.2	E6.2	I1

7.2.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS

- ITYPE. Indique ITYPE = 51 para la primera tarjeta, ITYPE = 52 para la segunda y ITYPE = 53 para la tercera.

En la primera tarjeta (ITYPE = 51) se debe colocar los valores de R y L de secuencia cero, en la segunda (ITYPE = 52) los de secuencia directa o positiva y las columnas 15 a 80 de la tercera tarjeta deben dejarse en blanco.

- BUS-1 y BUS-2. Indique los pares de nodos. Uno de ellos puede ser tierra.

Puede utilizarse la opción de nodos de referencia.

Este modelo es útil por ejemplo, para obtener el equivalente Thévenin de una parte del sistema, obteniéndose la impedancia de fuente de secuencia cero y directa, en función de las corrientes de cortocircuito monofásicas y trifásicas en la barra en cuestión, mediante las relaciones :

$$Z_1 = 1/I_{3f} \quad [\text{p.u.}]$$

$$Z_0 = (3/I_{1f}) - (2/I_{3f}) \quad [\text{p.u.}]$$

donde :

I_{3f} = corriente de cortocircuito trifásica.

I_{1f} = corriente de cortocircuito monofásica.

7.3. TRANSFORMADORES

Si bien existen varios modelos de transformadores disponibles, se describirá aquí el modelo de transformador saturable monofásico, dado que es el más sencillo y recomendable de usar.

Si se desea modelar un transformador trifásico del tipo acorazado, se pueden conectar tres unidades monofásicas adecuadamente conectadas entre sí.

La definición de los parámetros se realiza utilizando tres tipos de tarjetas diferentes:

1. Tarjeta que define la resistencia e inductancia de la rama magnetizante del circuito equivalente del transformador.
2. Tarjetas que definen punto a punto la característica de saturación del núcleo. Aquí habrá tantas tarjetas como puntos sean necesarios para representar la curva de saturación.
3. Tarjetas que definen las características eléctricas de cada uno de los bobinados del transformador.

No es obligatorio indicar una curva de saturación.

Los siguientes puntos son de destacar :

- El modelo puede tener N arrollamientos, para los cuales se utilizará N-1 transformadores ideales que proveerán la adecuada relación de transformación entre los arrollamientos 2,3,...,N con respecto al arrollamiento 1.
- Cada arrollamiento k tiene su correspondiente resistencia e inductancia de dispersión R_k y L_k respectivamente. Cualquiera de la inductancias debe ser distinta de cero, con excepción de L_1 , la cual puede ser cero si R_1 es distinta de cero.
- Los efectos de la saturación y la corriente magnetizante son considerados mediante un reactor no lineal que el programa automáticamente conectará en paralelo con el arrollamiento 1. En este elemento, la curva de saturación es modelada mediante dos o más segmentos lineales. Si se define un solo elemento, entonces la inductancia resultará constante y lineal, obteniéndose por lo tanto un transformador también lineal sin saturación.
- Las pérdidas en el núcleo son consideradas constantes y representadas por una resistencia (RMAG), la cual resulta conectada en paralelo con la rama saturable.

7.3.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS.

7.3.1.1. Formato de la primera tarjeta:

1...2	3...14	15...20	27...32	33...38	39...44	45...50	80
	TRANSFORMER	BUS-3	ISTEADY	ØSTEADY	BUSTOP	RMAG	IOUT
		A6	E6.2	E6.2	A6	E6.2	I1

- Coloque la palabra especial "TRANSFORMER" a partir de la columna 3.
- En caso de querer utilizar la opción de nodos de referencia, entonces indicar en BUS-3 el nombre contenido en el campo BUSTOP de la tarjeta de referencia, que es la que contiene los datos a copiar. Los demás campos deben dejarse en este caso en blanco.
- ISTEADY y ØSTEADY son las coordenadas de un punto de la curva I-Ø de saturación que permite definir la inductancia lineal que representa a la rama magnetizante en el estado estacionario, es decir, la inductancia no saturada del transformador.
- Indique en BUSTOP un nombre que identifique al transformador, si es que se desea posteriormente referenciarlo en el campo BUS-3 de otra tarjeta de datos de transformadores.
- Especifique los parámetros de salida de la rama magnetizante, usando el campo IOUT, en la columna 80.

6. Indique en el campo RMAG el valor de la resistencia que representará a las pérdidas en el núcleo, la cual es considerada en paralelo con la rama magnetizante. El valor debe ser ingresado en ohms y si se indica un valor cero o se deja el campo en blanco, el programa asumirá automáticamente $RMAG = \infty$.

7.3.1.2. Formato del segundo tipo de tarjetas:

En el caso en que el campo BUS-3 de la tarjeta precedente es dejado en blanco, entonces sigue un conjunto de tarjetas que definen punto a punto la curva de saturación de la rama magnetizante. El formato de las mismas es el siguiente :

1...16	17...32
CUR	FLUX
E16.0	E16.0

REGLAS :

1. El punto de origen de la curva ($i=0$, $\phi=0$) está implícito y no debe ser ingresado explícitamente.
2. Los pares de valores cresta corriente-flujo deben ser ingresados en los campos CUR y FLUX respectivamente, en unidades de amperes y volt-segundo, utilizándose una tarjeta por cada par de valores. Ambas coordenadas (CUR y FLUX) deben ser monótonamente crecientes.
3. El punto final de la característica define la pendiente del último segmento, el cual se asume que se extiende hasta el infinito. A fin de indicar que no siguen más puntos de la característica $I-\phi$, la última tarjeta debe contener "9999" en las columnas 13 a 16.
4. El primer punto de la característica generalmente se hace igual a ISTEADY y ϕ STEADY, a fin de proveer una continuidad entre el estado estacionario y la solución transitoria, pero esto no es obligatorio. De todas formas, el punto definido por ISTEADY y ϕ STEADY debe estar contenido en la recta definida por el origen y el punto I_1 y ϕ_1 , o viceversa.
5. Si sólo se indica un par de valores de $I-\phi$, el resultado será un transformador lineal, con una inductancia de magnetización igual a $L_{mag} = I/\phi$ en henrios.
6. Si no se indica ningún par de valores $I-\phi$ antes de la tarjeta "9999", entonces se asumirá que la rama magnetizante no existe.

7.3.1.3. Formato del tercer tipo de tarjetas:

Para cada arrollamiento del transformador k ($k=1,2,\dots,N$), se deberá utilizar una tarjeta del siguiente formato :

1...2	3...8	9...14	27...32	33...38	39...44	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	$R_k(\delta)$	$L_k(mH)$	VOLTS(Nk)	IOUT
I2	A6	A6	E6.2	E6.2	E6.2	I1

REGLAS:

1. En ITYPE se deberá indicar el número de bobinado. Las tarjetas deben ser ingresadas en orden creciente, es decir la tarjeta con datos del bobinado 1 primero, luego para el bobinado 2, etc.
2. Indicar en BUS-1 y BUS-2 el par de nodos entre los cuales estará conectado el arrollamiento. Cualquiera de ellos puede ser tierra, para lo cual debe dejarse en blanco.
3. Ingresar en los campos R_k y L_k los parámetros de dispersión de cada arrollamiento en particular. R_k debe ser ingresado en ohms y L_k en mH, a no ser que se halla especificado un valor de XOPT distinto de cero, en cuyo caso la unidad de L_k será de ohms a la frecuencia XOPT. R_k puede ser cero, pero L_k debe ser distinta de cero, con excepción del arrollamiento 1 en donde se admite $L_1=0$ si R_1 es distinta de cero.
4. Indicar en el campo VOLTS un número proporcional al número de vueltas del arrollamiento en cuestión. Es conveniente colocar simplemente la tensión nominal del arrollamiento en kV.
5. Solamente para el arrollamiento 1 se puede indicar en el campo IOUT un "1" a fin de requerir como salida la corriente de este arrollamiento. En la salida la corriente estará identificada por los pares de nodos compuestos por BUS-1 del bobinado primario y BUSTOP.

7.3.2. OPCIÓN DE USO DE LOS NODOS DE REFERENCIA:

En el caso de usarse varios arrollamiento idénticos, no es necesario repetir todos los datos, pudiéndose utilizar el siguiente procedimiento para los bobinados con datos iguales a otro ya ingresado:

- a) En la tarjeta del primer tipo, complete solamente los campos con la palabra "TRANSFORMER" y BUS-3 y BUSTOP. En el campo BUS-3 se deberá ingresar el nombre indicado en BUSTOP de la tarjeta del arrollamiento que contiene los datos.
- b) Omita las tarjeta que describen la curva $I-\phi$.
- c) Para las tarjetas del tercer tipo, complete solamente los campos BUS-1 y BUS-2.

Es recomendable utilizar esta opción siempre que sea posible, dado que reduce el tamaño de ciertas tablas del programa, a la vez que reduce la posibilidad de error en la entrada de datos.

7.3.3. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES SOBRE EL USO DE MODELOS DE TRANSFORMADORES

- En general no se dispone como dato la curva de saturación del núcleo. En este caso una buena aproximación es considerar un codo de saturación a un nivel de 1,0 a 1,2 p.u. del flujo nominal, y una reactancia saturada entre 2 a 4 veces la impedancia de cortocircuito del transformador. El flujo nominal se puede conocer de la relación $\phi = \sqrt{2} V_{\text{rms}} / \omega$, donde V_{rms} es la tensión nominal eficaz del arrollamiento y $\omega = 2\pi f$.
- Si se modela un transformador trifásico con uno de sus bobinados en triángulo y en vacío, esto resultará en una indefinición matemática de la tensión de este bobinado, el cual está aislado de tierra. El programa imprimirá un mensaje de advertencia de que existe un "subsistema flotante" y pondrá automáticamente a tierra uno o más nodos del mismo (en este caso, algunos de los nodos que forman el triángulo).
- Existen dos soluciones para este problema :
 - a) Si no interesan los valores de los parámetros del lado triángulo, entonces se puede poner a tierra uno de los nodos del mismo. Esto no altera la solución, pues no circulará corriente por esta conexión.
 - b) Si en cambio es importante preservar el balance entre fases del lado triángulo, entonces se pueden agregar capacidades parásitas en cada uno de los bornes. Es importante utilizar valores adecuados para la capacidad, dado que a medida que ésta se aproxima a cero, más cerca se está de una singularidad de la matriz internamente construída por el programa, que en caso de ocurrir producirá un error que derivará en la interrupción de la simulación.

7.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON PARÁMETROS DISTRIBUÍDOS

Se dispone de varios modelos, los cuales son:

- a) Modelo de línea sin distorsión.
- b) Modelo de línea con resistencia concentrada.
- c) Modelo de línea con parámetros dependientes de la frecuencia.

La selección entre un modelo u otro dependerá del fenómeno que se desea analizar, como así también de la importancia que tenga la línea en cuestión, en el modelo del sistema a estudiar.

7.4.1. MODELO DE LÍNEA SIN DISTORSIÓN.

Una línea es sin distorsión cuando sus parámetros satisfacen la relación $R/L = G/C$, en donde R, L, G y C son la resistencia, inductancia, conductancia y capacidad de

la línea respectivamente. Dado que la conductancia en general es muy pequeña, el programa no admite la entrada de ningún valor para la misma, asumiendo $G=0$.

Si embargo es posible modelar una línea sin distorsión. Para esto se asume que el valor de R entrado en el campo correspondiente es la resistencia total (serie + paralelo), dividiendo el programa a la misma en perdidas serie y paralelo, obteniéndose la resistencia serie R_{serie} y la conductancia paralelo G_{leak} de la relación:

$$R_{serie}/L = G_{leak}/C = 0,5(R/L)$$

De esta forma la línea en estado estacionario resulta prácticamente igual a cuando se usa alguna de las otras formas posteriormente descritas. En el estado transitorio difiere principalmente en el tiempo de crecimiento inicial de los pulsos de tensión. La constante de atenuación $\hat{A}$ se obtiene de la relación:

$$\alpha = \frac{1}{2} R/L \sqrt{LC} = \frac{1}{2} R/Z, \quad \text{con } Z = \sqrt{L/C}$$

El factor de decrecimiento será $e^{-\alpha l}$, donde l es la longitud de la línea.

Este modelo es generalmente utilizado sólo para la secuencia positiva.

7.4.2. MODELO DE LÍNEA CON RESISTENCIA CONCENTRADA.

En este modelo la resistencia serie de la línea no se la representa como distribuida a lo largo de la misma, sino mediante una resistencia concentrada, colocando el programa la mitad de la resistencia total en mitad de la línea y un cuarto en ambos extremos. Es el modelo generalmente empleado para representar líneas.

Ambas mitades en que queda dividida la línea resultan entonces sin pérdidas (sin distorsión, con $\alpha = 0$)

7.4.3. MODELO DE LÍNEA CON PARÁMETROS DEPENDIENTES DE LA FRECUENCIA

La resistencia e inductancia de una línea resultan ser en realidad dependientes de la frecuencia, en particular la resistencia de secuencia cero, la cual además es bastante mayor que la de secuencia directa. Por lo tanto hay varias formas de representar esta variación de los parámetros, las cuales no serán descritas en esta publicación. Ver el manual original.

7.4.3.1. reglas para la entrada de datos.

Se pueden modelar líneas de hasta 9 fases, siendo el formato de las tarjetas el siguiente:

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	27...32	33...38	39...44	45...50	51...52	53...54	55...56	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	R	A	B	LONG	ILINE	IPUNCH	IPOSE	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	E6.2	E6.2	E6.2	E6.2	I2	I2	I2	I1

1. Para cada fase utilice una tarjeta indicando en el campo ITYPE el número de fase correspondiente con un signo menos adelante, es decir -1,-2,...,-N. Las tarjetas deben ingresarse en orden creciente de fases.
2. Indique en BUS-1 y BUS-2 el par de nodos entre los que estará conectada la línea. Uno de ellos puede ser tierra, para lo cual debe dejarse en blanco.
3. Si los parámetros de esta línea son idénticos a los de otra ya ingresada, se puede utilizar la opción de referencia, para lo cual se debe indicar en los campos BUS-3 y BUS-4 de la primera tarjeta los nombres indicados en BUS-1 y BUS-2 de la primera tarjeta de la línea que contiene los datos, dejándose en blanco los campos correspondientes a R, A y B. De la segunda y tercera tarjeta se deben completar solo los campos entre columnas 1 a 14.
4. Para una línea de N fases continuamente transpuesta existen sólo dos modos de propagación. Especifique entonces los parámetros de secuencia cero en la primer tarjeta (la que corresponde a la primera fase) y los de secuencia positiva en la segunda (la de la fase 2), dejando en blanco la columnas 15 a 80 de las restantes tarjetas. Si en cambio la línea no es transpuesta, entonces existirán N modos de propagación, debiéndose indicar los que correspondan en cada una de las tarjetas.
5. Indique la resistencia por unidad de longitud R en la columnas 27 a 32 y la longitud de la línea en unidades consistentes en columnas 45 a 50. Por ejemplo, si R se expresa en Ω/km , entonces L debe expresarse en km.
6. El parámetro ILINE define la forma en que se debe ingresar los restantes datos:

ILINE	"A" columnas 33...38	"B" columnas 39...44
0	L en mH/long si XOPT=0, ó reactancia ωL en Ω a la frecuencia XOPT	C en μ/long si COPT=0, ó Suceptancia ωC en μmho a la frecuencia COPT
1	Impedancia característica Z_s en Ω	Velocidad de propagación en long/seg..
2	Impedancia característica Z_s en Ω	Tiempo de viaje total en segundos.

7. Utilice la columna 80 para especificar los parámetros de salida. Solo se admite IOUT=2 para líneas multifases, es decir no se puede especificar parámetros de salida para una línea monofásica.
8. La línea debe tener un tiempo de viaje mayor que DELTAT, para cualquiera de los modos. Caso contrario el programa interrumpirá la ejecución, imprimiéndose el mensaje de error correspondiente.
9. Tanto L como C deben ser distinto de cero para cualquiera de los modos.
10. La variable IPUNCH especifica el tipo de modelo a usar en el modo de la tarjeta en cuestión:

– IPUNCH = 0 Modelo con resistencia concentrada (es el caso usual)

- IPUNCH = 1 Modelo sin distorsión.
- IPUNCH = 2 Modelo dependiente de la frecuencia, en cuyo caso se requieren datos adicionales no descritos aquí. Referirse al manual original.

No es obligatorio modelar dos modos de una línea multifase de la misma forma.

11. Si la línea se asume como perfectamente transpuesta, indicar IPOSE = 0 o en blanco, en otro caso, indicar el número N de fases de la línea.

7.4.4. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES SOBRE EL USO DE MODELOS DE LÍNEAS

La selección de un modelo de línea exige un balance entre varios factores. Es difícil establecer regla que sean válidas para cada aplicación, por lo que el usuario deberá experimentar en cada caso en particular.

Sin embargo, algunas recomendaciones generales pueden ser presentadas :

- Una línea puede ser representada con elementos R-L concentrados, sin embargo esto es recomendable únicamente para cálculos de estado estacionario, o para representar líneas remotas de un sistema y que no serán maniobradas.
- El modelo con secciones Pi en cascada, no descrito en esta publicación, no debe ser utilizado para líneas aéreas, dado que el modelo con parámetros distribuidos simula los mismos efectos mucho más eficientemente.
- Los modelos de líneas con parámetros constantes con la frecuencia, ya sean de líneas transpuestas o no, debe utilizarse en la mayoría de los casos, incluso en estudios estadísticos de sobretensiones de maniobra.
- Los parámetros constantes de una línea pueden ser calculados y utilizados a la frecuencia dominante del fenómeno a analizar, en lugar de usar los valores a 50 Hz. En este caso debe verificarse que los parámetros así calculados no afecten substancialmente al estado estacionario previo del transitorio que se desea analizar.
- En general la capacitancia de la línea se considera constante con la frecuencia. Los valores de 50 Hz son adecuados para estudios de estado estacionario, sobretensiones temporarias, resonancia subsincrónica y otros fenómenos de baja frecuencia. Sin embargo, si estos valores se usan en estudios de sobretensiones de maniobra o atmosféricas, los resultados serán más conservativos.
- La relación entre el tiempo de viaje de la línea y el paso de tiempo utilizado para la simulación (τ/DELTAT) debe tener un valor razonable, que depende del sistema en particular, pero que en general está comprendido entre 10 y 10000. Valores menores que 1 no están permitidos, mientras que valores superiores a 10000 resultan probablemente muy grandes.

- Si $\tau < \text{DELTAT}$, con lo cual $\tau/\text{DELTAT} < 1$, entonces probablemente se puedan usar parámetros R-L-C concentrados para simular la línea. Si en cambio τ/DELTAT es muy grande, puede no ser necesario representar la línea con parámetros distribuidos pues probablemente sea $T_{\text{MAX}} < 2\tau$, es decir, las reflexiones en el extremo no llegarán antes del fin de la simulación, entonces la línea puede ser representada por una resistencia concentrada de valor igual a la impedancia característica de la línea.
- Es conveniente (pero no necesario) que la relación τ/DELTAT sea un número entero. Se justifica incluso ajustar levemente la longitud de la línea para cumplir con esta recomendación.
- La resistencia total de la línea debe ser menor a su impedancia característica, para cualquiera de los modos de propagación.
- Los modelos con parámetros dependientes con la frecuencia no deben utilizarse en modelos de cables.
- Las líneas aéreas en doble circuito requieren un especial cuidado si se quiere utilizar un modelo con parámetros dependientes de la frecuencia. Es preferible usar modelos con parámetros constantes y no transpuestos.
- Para incorporar al modelo de la línea la dependencia con la frecuencia de sus parámetros, será necesario conocer las características geométricas de la línea, como así también del terreno que recorre. En caso de ser necesario utilizar este modelo, se sugiere consultar el manual original, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Extreme las precauciones al considerar la carga atrapada en el modelo de línea.
 - Primero intente utilizar el modelo de Meyer-Dommel, pues su tiempo de implementación es inferior al de Martí.
 - Si el modelo de Meyer-Dommel resulta ser inestable, o se necesita modelar una línea no transpuesta, utilice el modelo de Martí con una matriz T_l real.

7.5. DESCARGADORES

7.5.1. MODELO DE DESCARGADORES DE CARBURO DE SILICIO (TIPO 99)

Es tipo de descargador se representa con una resistencia pseudo-alineal.

Un modelo de descargador de CSi está descrito por tres tipos de tarjetas, las cuales se describirán a continuación:

7.5.1.1. PRIMERA TARJETA DE DATOS

En esta tarjeta se deberá indicar los nombres de los nodos entre los que estará conectado el descargador, como así también las características dieléctricas del explosor incorporado al mismo.

El formato de la tarjeta es el siguiente:

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	27...32	33...38	39...44	45...50	...	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	VFLASH	TDELAY	JUMP	VSEAL	...	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	E6.0	E6.0	E6.0	E6.0	...	I1

- ITYPE: Debe ser '99'
- BUS-1, BUS-2: pares de nombres para los terminales del descargador. Se puede usar la opción de nodos de referencia, utilizando las variables BUS-3 y BUS-4.
- VFLASH: Es la tensión de cebado del explosor en Volts (valor absoluto).
- TDELAY: indicar aquí el tiempo en segundos que debe transcurrir entre dos ó más cebados del explosor.
- JUMP: Una vez producido el cebado del explosor, la operación del descargador comenzará en el segmento indicado aquí.
- VSEAL: Si se indica un valor positivo en volts en este campo, entonces el descargador dejará de operar cuando la tensión entre sus bornes (en valor absoluto) sea inferior a VSEAL, en lugar de esperar a que la corriente pase por cero.
- IOUT: este campo se utiliza, como es habitual, para requerir alguna variable de salida.

Cuando la corriente pasa por cero, el descargador dejará de conducir. Este cero de corriente es detectado cuando la misma cambia de signo, asumiéndose que esto ocurre únicamente cuando la operación del descargador está en el primer segmento. En caso de no cumplirse esta condición, se imprimirá el siguiente mensaje de error:

"!!! Tracking trouble with Type-99 or 98 element number I=XX"

y si bien la ejecución del programa continuará, es de sospechar de la exactitud de los resultados obtenidos.

Una causa probable de este error es que se han utilizado demasiados segmentos para representar al descargador, por lo que, en algún momento durante la simulación, la variación de tensión en bornes del mismo dentro de un DELTAT (el paso de tiempo de simulación, indicado en la tarjeta de datos misceláneos) es

superior a la variación de la tensión del segmento correspondiente, con lo cual la operación del descargador "salta" de un segmento a otro que no es consecutivo.

El problema puede solucionarse utilizando preferentemente un DELTAT más pequeño ó representando al descargador con menos segmentos lineales (haciendo que la variación de tensión por segmento sea mayor), ó ambas cosas a la vez. Otra opción también es utilizar el modelo de resistencia alineal a segmentos lineales descrito más adelante.

7.5.1.2. SEGUNDA TARJETA DE DATOS

Esta tarjetas son las que describen la característica Tensión-Corriente de la resistencia alineal del descargador, y tienen el siguiente formato:

1...16	17...32
CORRIENTE	TENSION
E16.0	E16.0

Los puntos deben ser ingresados en orden creciente. El origen del primer segmento ($i=0$, $v=0$) está implícito y no debe ser ingresado. Además se asume que la característica es simétrica, por lo cual tampoco deben ingresarse valores negativos.

Es de destacar que no es cierto que la exactitud de los resultados aumenta a medida que la cantidad de puntos utilizada para representar al descargador se aproxima a infinito. Por el contrario, esto traerá seguramente el problema ya explicado anteriormente.

7.5.1.3. TERCERA TARJETA DE DATOS

Esta tarjeta, que indica el fin de los puntos que describen la característica V-I del descargador, tiene el siguiente formato:

12...16	33...44
9999.	SINGLE FLASH

Es decir, se deberá indicar el número '9999.' entre columnas 12 a 16, y opcionalmente, la frase 'SINGLE FLASH' a partir de la columna 33, si se desea que el descargador cebe una sola vez, independientemente de las condiciones impuestas por el sistema simulado. Esto debe indicarse una sola vez, dado que esta característica se extenderá a cualquier otro elemento tipo 99 que tenga idéntica tensión en el primer segmento.

7.5.2. MODELO DE DESCARGADORES DE OXIDO METÁLICO (TIPO 92)

El modelo de este tipo de descargadores se realiza con una verdadera representación alineal (en contraposición con una pseudo representación) de un arbitrario número de descargadores de OZn.

La característica resistiva del descargador de OZn es altamente alineal, y puede ser representada por una ecuación de la siguiente forma:

$$i = p \left(\frac{v}{V_{ref}} \right)^q$$

donde:

i = corriente por el descargador.

v = tensión en bornes del descargador.

p , q y V_{ref} = son constantes características del elemento.

Típicamente se hace V_{ref} igual al doble de la tensión nominal del descargador, o cercana a ella. En teoría, la elección es arbitraria. La función de esta variable es normalizar la ecuación y prevenir un desborde numérico durante la exponenciación. Por lo tanto, p y q son las únicas constantes que identifican al descargador.

La característica alineal V-I de un descargador se puede aproximar con un arbitrario número de segmentos exponenciales.

Es posible representar descargadores con o sin explosores. Para un descargador con explosores es necesario especificar dos conjuntos de segmentos exponenciales, mientras que para descargadores sin explosores, sólo es necesario uno. Se dispone de un programa separado, de uso opcional, para la determinación automática de la cantidad y característica de los segmentos exponenciales.

Aunque la modelación exponencial descrita aquí puede ser aplicada a otros casos distintos al descargador de OZn, como regla general no debe utilizarse en donde la alinealidad no sea muy extrema. Para estos casos puede ser suficientemente exacta una representación con segmentos lineales. La representación exponencial es una tarea computacionalmente "pesada", por lo que se recomienda utilizarla sólo cuando sea realmente necesario.

Un modelo de descargador de OZn esta plenamente descrito por medio de tres tarjetas, las cuales se describen a continuación:

7.5.2.1. PRIMERA TARJETA DE DATOS

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	...	39...44	...	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	...	5555.	...	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	...	...	...	I1

➤ ITYPE: Debe ser '92'

➤ BUS-1, BUS-2: son los pares de nombres terminales del descargador. BUS-3 y BUS-4 pueden utilizarse como nodos de referencia.

- 5555.: es el número especial que identifica al modelo de descargador de OZn.
- IOUT: para solicitar variables de salida.

7.5.2.2. SEGUNDA TARJETA DE DATOS

1...25	26...50	51...75	76...80
VREF	VFLASH	VZERO	COL
E25.0	E25.0	E25.0	E25.0

- VREF: es la tensión de referencia ya citada en la ecuación que describe el comportamiento del descargador de OZn, en unidades de tensión (normalmente volts).
- VFLASH: es la tensión normalizada (es decir, dividida por VREF) de cebado de los explosores. Si el descargador no tiene explosores, indicar cualquier valor negativo.
- VZERO: es la tensión inicial del descargador (el valor para tiempo cero), en las mismas unidades que VREF. En la mayoría de los casos, se puede dejar este campo en blanco.
- COL: es el número de columnas (copias paralelas de cada elemento) que representa la característica. Si se deja en blanco, se asume que el descargador tiene una sola columna y entonces la característica es utilizada sin ninguna modificación. En cambio, si se indica un valor positivo (normalmente un entero), el coeficiente COEF de todas las tarjetas siguientes serán internamente multiplicados por COL durante la entrada de datos.

7.5.2.3. TERCERA TARJETA DE DATOS

Estas tarjetas especifican las características de cada uno de los segmentos exponenciales.

Si el descargador posee explosores, habrá dos grupos consecutivos de tarjetas, el primer grupo define la característica antes del cebado. Cada grupo debe terminar con una tarjeta con el número '9999.' entre columnas 22 a 25.

1...25	26...50	51...75
COEF	EXPON	VMIN
E25.0	E25.0	E25.0

- COEF: es el coeficiente "p" de la ecuación descrita al principio de esta sección. Debe estar en unidades de corriente (normalmente amperes).

- EXPON: es el coeficiente "q" de la ecuación descrita al principio de esta sección.
- VMIN: es la mínima tensión a la cual se usará este segmento exponencial.

Las tarjetas que describen los segmentos deben ser ingresadas en orden creciente respecto a la corriente.

7.5.3. RESISTENCIA ALINEAL A SEGMENTOS LINEALES CON EXPLOSOR

El modelo de esta sección provee una representación real (en contraposición a la pseudo representación del modelo TYPE-99) de un arbitrario número de resistencias alineales. La alinealidad de la característica Tensión-Corriente es representada por varios segmento lineales.

Este modelo es muy similar al de OZn. Nótese que ambos usan ITYPE=92. La principal diferencia es que para representar la extrema alinealidad del descargador de OZn es necesario recurrir a segmentos exponenciales, para este elemento, la alinealidad de la característica Tensión-Corriente es representada por varios segmento lineales. Incluso la característica puede no ser simétrica respecto al origen.

Otra diferencia es que el modelo de descargador de OZn admite el uso de dos características separadas, una para antes y otra para después del cebado de los explosores, en cambio para este modelo de resistencia alineal se asume que el elemento es un circuito abierto antes del cebado de los explosores. Además se incluye una resistencia lineal extra, para el uso que el usuario considere más conveniente.

La diferencia entre los dos tipos de modelos "TYPE-92", se efectúa mediante un número tipeado entre columnas 39 a 44: el modelo de OZn utiliza "5555.", mientras que el presente, de segmentos lineales, utiliza "4444."

Se requieren tres tipos de tarjetas para representar este elemento:

7.5.3.1. PRIMERA TARJETA DE DATOS

1...2	3...8	9...14	15...20	21...26	27...32	...	39...44	...	80
ITYPE	BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4	NFLASH	...	4444.	...	IOUT
I2	A6	A6	A6	A6	E6.0	...	...	...	I1

- ITYPE: Debe ser '92'
- BUS-1, BUS-2: son los pares de nombres terminales del elemento.. BUS-3 y BUS-4 pueden utilizarse como nodos de referencia.
- 4444.: es el número especial que identifica al modelo de resistencia alineal a segmentos lineales.

- IOUT: para solicitar variables de salida.
- NFLASH: Esta variable controla la lógica del explosor. Si no se desea un explosor serie con la resistencia, entonces puede obviarse esta variable, caso contrario, NFLASH controla la extinción del arco en el explosor y su posible reencendido.

NFLASH puede tener tres valores:

- NFLASH = +1, si el explosor debe cebar y "abrir" una sola vez, permaneciendo abierto hasta el fin de la simulación.
- NFLASH = 0, si el explosor debe operar tanta veces como lo impongan las condiciones del sistema.
- NFLASH = -1, para que el explosor cebe una sola vez, y permanezca cerrado hasta el fin de la simulación.

7.5.3.2. SEGUNDA TARJETA DE DATOS

1...25	26...50	51...75
R-lin	VFLASH	VZERO
E25.0	E25.0	E25.0

- R-lin: Es una resistencia lineal, conectada el serie con la resistencia alineal (representada a su vez con varios segmento lineales). Se puede utilizar para representar, por ejemplo, la resistencia de la puesta a tierra del descargador. La unidad de R-lin surge de la relación entre unidad de tensión/unidad de corriente, lo cual resulta normalmente ohms.
- VFLASH: es la tensión de cebado del explosor en unidades de tensión, normalmente volts. Si no se desea utilizar explosores, indicar cualquier valor negativo.
- VZERO: es la tensión inicial de la rama. En la mayoría de los casos, es posible dejar este campo en blanco.

7.5.3.3. Tercera tarjeta de datos

Esta tarjeta describe punto a punto la característica Tensión-Corriente de la resistencia alineal, y el formato es el siguiente:

1...25	26...50
CORRIENTE	TENSION
E25.0	E25.0

- Los puntos deben ser ingresados en orden creciente de tensión y corriente.

- No se asume que la característica sea simétrica, por lo que el usuario deberá ingresar tanto los valores positivos como negativos (es decir, los del primer y tercer cuadrante).
- Si se desea utilizar una característica simétrica, indicar sólo los valores del primer cuadrante. No incluir el origen ($i=0$, $v=0$) en este caso, dado que el programa lo hará automáticamente.

8. MODELOS DE INTERRUPTORES. CONSIDERACIONES GENERALES

Los aparatos de maniobra son simulados con interruptores ideales, los cuales tienen dos estados posibles:

- a) cerrados: la tensión entre sus contactos es nula.
- b) abiertos: la corriente es nula.

Esto significa que la simulación de efectos debidos a estados intermedios, como por ejemplo la resistencia de arco durante la apertura, debe efectuarse mediante la adición de elementos externos a este modelo.

Las tarjetas de interruptores se ubican luego de las de ramas y previamente a las de fuentes. Si una simulación en particular no requiere el uso de modelos de interruptores, igual es necesario colocar la tarjeta en blanco al final.

Los modelos de interruptores se dividen en dos grupos principales:

1. Interruptores ordinarios (del tipo '0' o excepcionalmente '76')
2. Interruptores controlados por TACS del tipo 11, 12, ó 13 (con los que se pueden simular diodos, tiristores, etc.).

Los interruptores pueden conectarse en forma arbitraria, con algunas restricciones:

- La corriente por el interruptor debe ser única, es decir, no deben existir lazos que involucren a interruptores cerrados.
- Las leyes de tensión de Kirchhoff no deben ser violadas en un lazo en donde estén involucrados un interruptor y una fuente de tensión. Por ejemplo, un interruptor no debe conectarse entre dos nodos de tensión conocida (aunque uno de estos nodos sea el de tierra).

Consideraciones respecto a la topología de la red ya han sido discutidas con anterioridad. Basta recordar aquí que debe evitarse interrumpir la corriente por una carga puramente inductiva, a no ser que se asegure un camino para la corriente por la inductancia, independientemente de la posición del interruptor.

8.1. INTERRUPTORES ORDINARIOS

Son las más comúnmente utilizados y se dividen a su vez en varios tipos:

- Convencionales: es decir, determinísticos controlados por tiempo.
- Controlados por tensión.
- Estadísticos: el tiempo de cierre o apertura es aleatoriamente variado.

- Sistemáticos: el tiempo de cierre es regularmente variado.
- De medición: siempre están cerrados. Se utilizan para la medición de corriente ó potencia y energía.

8.1.1. REGLAS GENERALES PARA LA ENTRADA DE DATOS DE LOS INTERRUPTORES ORDINARIOS.

Existen reglas de entrada de datos que son comunes a cualquier tipo de interruptor, dentro del grupo de interruptores ordinarios. Estas son:

- ITYPE: Es el tipo de interruptor a indicar en las columnas 1 a 2 y debe ser cero. Se puede indicar expresamente el cero ó dejarse el campo en blanco.

Un caso especial es cuando se desea que un interruptor estadístico siga una distribución uniforme, en un problema donde uno o más interruptores estadísticos siguen una distribución Gausiana (es decir, 'IDIST' de la tarjeta de datos estadísticos es cero). En este caso se deberá indicar ITYPE=76.

- BUS1, BUS2: Especificar los nombres de los nodos entre los que se encuentra conectado el interruptor en las columnas 3 a 14. Uno de éstos nodos puede ser la tierra, para lo cual deberá dejarse el campo correspondiente a este nodo en blanco.

No está permitido conectar un interruptor entre dos fuentes de tensión, o entre una fuente de tensión y tierra.

Si un interruptor se conecta entre una fuente de tensión y otra de corriente, entonces la fuente de corriente será ignorada cuando el interruptor esté cerrado.

- IOUT: Indicar en la columna 80 el número correspondiente a la variable de salida deseada, según el siguiente código:

- 1 = corriente por el interruptor.
- 2 = tensión entre contactos del interruptor.
- 3 = tensión y corriente por el interruptor (es decir, 1 y 2).
- 4 = potencia y energía.

El interruptor abrirá en el primer paso por cero posterior al tiempo de apertura que corresponda según su tipo. El cero de corriente puede ser detectado de dos formas diferentes. En el primer caso si $I_- = 0$, el cero será detectado cuando el valor instantáneo de la corriente cambie de signo, abriendo el interruptor el siguiente paso de tiempo (o sea que habrá un retardo de por lo menos un DELTAT entre el real paso por cero y la efectiva apertura del interruptor). En el segundo caso ($I_- > 0$), (el cual no es aplicable a los interruptores sistemáticos), se fijan límites de la

corriente tal que si la misma es menor que un determinado valor, el interruptor abrirá en el siguiente DELTAT.

8.1.2. INTERRUPTORES CONVENCIONALES

Este es el más simple de los modelos, en donde tanto el tiempo de cierre como el de apertura son suministrados por el usuario.

8.1.2.1. Reglas para la entrada de datos

La tarjeta de entrada de datos es la siguiente:

1...2	3...8	9...14	15...24	25...34	35...44	80
ITYPE	BUS1	BUS2	T_{close}	T_{open}	I	IOUT
I2	A6	A6	E10.0	E10.0	E10.0	I1

- Entre la columnas 15 a 24 de la tarjeta de entrada de datos (que se describe en detalle más adelante) deberá indicarse el tiempo de cierre (TCLOSE), y entre las columnas 25 a 34 el tiempo de apertura (TOPEN).
- En el tiempo $t=0$ el interruptor está abierto si TCLOSE es positivo y pasará al estado cerrado para $t > TCLOSE$. Si TCLOSE es cero o negativo, el interruptor estará cerrado en el estado estacionario y en $t=0$.
- Si el transitorio comienza con una condición de estado estacionario no nula (es decir, hay fuentes de tensión y/o corriente activas en $t < 0$), entonces se deberá verificar que el campo TCLOSE de la tarjeta del interruptor controlado en el tiempo, que deba estar cerrado en el estado estacionario, tenga un tiempo $t < 0$.

8.1.3. INTERRUPTORES CONTROLADOS POR TENSIÓN

Este interruptor está inicialmente abierto y cerrara sus contactos en un tiempo $t \cdot T_{close}$, aunque el cierre se hará efectivo sólo cuando la tensión entre los mismos supere el valor especificado por el usuario (V_{flash}).

Luego permanecerá cerrado durante el tiempo T_{delay} , luego del cual abrirá. Esta secuencia de cierres/aperturas se mantendrá hasta el final de la simulación.

Por ejemplo, una aplicación inmediata de este tipo de interruptores sería en el modelo de un explosor.

8.1.3.1. Reglas para la entrada de datos

La tarjeta de entrada de datos es la siguiente:

1...2	3...8	9...14	15...24	25...34	35...44	45...54	80
ITYPE	BUS1	BUS2	T_{close}	T_{delay}	I	VFLASH	IOUT
I2	A6	A6	E10.0	E10.0	E10.0	E10.0	I1

- Los interruptores controlados por tensión siempre estarán abiertos en el estado estacionario, y aunque se ingrese un valor menor que cero en el campo TCLOSE, el programa lo cambiará automáticamente a TCLOSE = 0, imprimiéndose el mensaje 'TCLOSE CHANGED TO 0', y continuándose con la ejecución del programa.
- Hay casos en donde la tensión entre contactos del interruptor oscila alrededor del valor verdadero. Un ejemplo de esto es cuando se abre el interruptor de una inductancia y ésta queda en el aire. Para evitar tal problema, la tensión entre contactos es computada como el promedio de la de los dos últimos pasos de tiempo, es decir:

$$V_{gap}(t) = (v(t) + v(t-dt))/2$$

8.2. INTERRUPTORES ESTADÍSTICOS Y SISTEMÁTICOS.

8.2.1. INTERRUPTORES ESTADÍSTICOS

Un estudio de sobretensiones estadísticas involucra una serie de simulaciones independientes internamente generadas por el programa, y en las que los valores cresta de las tensiones así obtenidas son procesadas en forma estadística. El número de simulaciones está dado por el parámetro NENERG de la segunda tarjeta de datos misceláneos.

Los casos que realizan tales estudios contienen interruptores cuyos tiempos de cierre son aleatoriamente variados. Estos interruptores son llamados "interruptores estadísticos", y la palabra clave "STATISTICS" debe ser indicada a partir de la columna 55 de la tarjeta de datos del interruptor.

Los interruptores estadísticos están siempre inicialmente abiertos, cierran una vez que a sido determinado su tiempo de cierre con las especificaciones probabilísticas, y no vuelven a abrir.

El tiempo de cierre T_{close} para cada uno de éstos interruptores es aleatoriamente variado de acuerdo a una distribución Gaussiana (normal) ó uniforme. La elección entre un tipo de distribución u otra se efectúa por medio del parámetro IDIST de la tercera tarjeta de datos misceláneos. Si IDIST=0, la distribución será Gaussiana; si IDIST=1 la distribución será uniforme.

Si en un mismo caso se desea utilizar interruptores de ambos tipos, se deberá proceder de la siguiente manera:

- indicar IDIST=0
- indicar ITYPE=0 en aquellas tarjetas de interruptores en que se desea una distribución Gaussiana.

- indicar ITYPE=76 en aquellas tarjetas de interruptores en que se desea una distribución uniforme.

Adicionalmente a la variación del tiempo de cierre dado por la distribución especificada, es posible agregar un retraso del cierre (determinado también en forma aleatoria) si es que se indica un valor cero para el parámetro ITEST de la tercera tarjeta de datos misceláneos. Este retardo de tiempo, que es igual para todos los interruptores del caso, suele ser denominado "ángulo de referencia", y sigue siempre una distribución uniforme, dentro del rango determinado por los parámetros DEGMIN, DEGMAX y STATFR de la tercera tarjeta de datos misceláneos.

En la salida impresa de un estudio de sobretensiones estadístico, este ángulo de referencia será impreso para cada energización, en las columnas que normalmente son utilizadas para el número del paso y el tiempo, marcadas como "STEP" y "TIME" en un caso no estadístico. El valor indicado está en grados y, obviamente, deberá estar entre DEGMIN y DEGMAX. Si se indica un valor "1" para ITEST, entonces este ángulo de referencia será cero.

8.2.2. INTERRUPTORES SISTEMÁTICOS

8.2.3. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS

La tarjeta de entrada de datos tiene la siguiente forma:

1...2	3...8	9...14	15...24	25...34	35...44	55...64	65...76	80
ITYPE	BUS1	BUS2	T _{med}	I	NSTEP	Palabra especial	Interr.de 'TARGET'	Ref. ó Var. De salida
I2	A6	A6	E10.0	E10.0	E10.0	A10	BUS1 A6	BUS2 A6 IOUT I1

- En la segunda tarjeta de datos misceláneos, indicar en las columnas 65 a 72 el número de operaciones deseadas del interruptor. Típicamente se simulan 100 a 200 maniobras trifásicas. Esto implica la presencia de una tercera tarjeta de datos misceláneos.
- La tercera tarjeta especifica los parámetros estadísticos de los interruptores y el formato de los resultados:
 - ISW debe ser igual a 1 si se espera la impresión de los tiempos de cierre para cada maniobra. Esto permitirá posteriormente correr un simple caso para obtener los gráficos del caso de mayor tensión.
 - ITEST es normalmente igual a cero, lo cual causa que el punto de cierre varíe aleatoriamente dentro de los 360 grados de un ciclo.
 - IDIST es normalmente igual a cero, con lo cual los tiempos de cierre seguirán una distribución normal.
 - AINCR es usualmente entre 0,05 y 0,10. El valor debe ser seleccionado a fin

de obtener un histograma de entre 10 a 20 clases en la salida estadística de valores en por unidad.

- XMAXMX debe ser un valor alto, por ejemplo 5,0. Si las sobretensiones resultan irracionalmente altas, será necesario buscar un posible error en el modelo, en lugar de decrecer XMAXMX.
- DEGMIN debe ser cero.
- DEGMAX debe ser 360 en casos de recierre sobre carga atrapada. En otro caso puede ser 180, dado que cada semiciclo de frecuencia industrial es idéntico.
- STATFR es usualmente 50 Hz.
- En el caso de los interruptores estadísticos, en donde se debe indicar el tiempo medio (T_{med}) entre las columnas 15 a 24, es necesario no sólo que este tiempo medio sea mayor que cero, sino que cualquier tiempo generado a azar por el programa sea mayor que cero. Esto es porque tiempos negativos para el ATP corresponden a la solución del estado estacionario, en donde no es posible cambiar el estado del interruptor. Para evitar este problema, simplemente hay que asegurarse que $(T_{medio} - A)$ sea mayor que cero, en donde A es una constante que depende del tipo de distribución elegida:
 - $A = SIGMAX$ para una distribución Gausiana.
 - $A = \sqrt{3}$ para una distribución uniforme.
- Tanto para un interruptor estadístico o sistemático, la palabra especial 'STATISTICS' o 'SYSTEMATIC' deberán ser ingresadas a partir de la columna 55.

Si un interruptor tiene resistores de pre-inserción, el cierre de sus contactos auxiliares también puede modelarse con una distribución normal.

Los interruptores estadísticos siempre están abiertos en el estado estacionario ($t < 0$), cierran en el instante aleatoriamente determinado, y permanecen cerrados hasta el fin de la simulación.

8.3. INTERRUPTORES PARA MEDICIÓN.

Por definición, un interruptor de medición está permanentemente cerrado, incluso durante el estado estacionario en el que se determinan las condiciones iniciales.

Se utilizan para la medición de corriente ó potencia y energía en lugares en donde no es posible realizarla con otros métodos. Esto puede ser útil tanto para producir una salida gráfica del ATP de ésta variables, como para usarse en conjunción con TACS por medio de la fuente de señal del tipo 91.

8.3.1. REGLAS PARA LA ENTRADA DE DATOS.

El formato de la tarjeta de entrada de datos es el siguiente:

1...2	3...8	9...14	55...64	80
ITYPE	BUS1	BUS2	MEASURING	IOUT
I2	A6	A6	A10	I1

- Para indicar que un interruptor es de medición, se deberá tipear la palabra especial 'MEASURING', a partir de la columna 55 de la tarjeta del interruptor. Los demás campos, excepto los correspondientes a los nombres de los nodos (columnas 3 a 14) y a la variable de salida (columna 80), deberán dejarse en blanco.

8.4. IDEAS PARA LA SIMULACIÓN DE ALGUNOS FENÓMENOS

8.4.1. PRE-ARCO

Se denomina pre-arco al establecimiento de una corriente por el interruptor durante el cierre y antes del contacto metálicos de los contactos. Durante la carrera de cierre de un interruptor, la tensión solicita el espacio entre contactos el mismo y puede provocar un pre-arco si la solicitud excede la rigidez dieléctrica entre electrodos. Por lo tanto el tiempo de cierre del interruptor debe ser ajustado (adelantado) a fin de tener en cuenta el pre-arco.

Para transitorios de baja frecuencia, este fenómeno puede alterar la distribución estadística de tiempos de cierre del interruptor.

En transitorios de alta frecuencia, la corriente luego del pre-arco puede ser interrumpida (aunque esto depende del medio de extinción y del tipo de interruptor utilizado). La tensión entre contactos crecerá nuevamente y una nueva ruptura dieléctrica puede ocurrir, dado que la distancia entre contactos está disminuyendo. Esto resulta en una sucesión de transitorios de alta frecuencia. La simulación del pre-arco puede efectuarse con un interruptor TYPE 11 controlado por un sistema lógico modelado con TACS.

8.4.2. REIGNICIONES

Las reigniciones son fenómenos similares al pre-arco, excepto que ocurren durante la apertura del interruptor.

La rigidez dieléctrica entre contactos aumenta durante la apertura, por lo que los fenómenos de reigniciones no son tan comunes como los de pre-arco. Sin embargo, de producirse, sus consecuencias son mayores, dado que la tensión de ruptura crecerá mientras los contactos están abriendo.

La simulación de múltiples reigniciones puede simularse con el modelo de tiristor (interruptor TYPE 11), controlado por un sistema lógico modelado con TACS.

Sin embargo, para la simulación de una única reignición, basta con la utilización del modelo de interruptor controlado por tensión. En este caso VFLASH es la tensión entre contactos del interruptor a la cual se producirá la reignición.

8.4.3. RESISTENCIA DE ARCO

Para la mayoría de las aplicaciones la resistencia de arco puede no ser tomada en cuenta.

Si se desea, se puede considerar una resistencia utilizando el modelo de resistencia variable con el tiempo del tipo 91.

Otra alternativa la constituye la modelación de la dinámica del arco con TACS. Tal modelación representa generalmente al arco como una conductancia que decae exponencialmente hasta cero a medida que se extingue el mismo.

Es posible modelar con TACS las ecuaciones que representan matemáticamente al arco, pero en la práctica se presenta la dificultad de obtener los datos necesarios para los parámetros de tales ecuaciones.

9. FUENTES

Las fuentes más simples que forman parte de los sistemas eléctricos de potencia son las fuentes de tensión y corriente, las cuales son funciones analíticas del tiempo, $f(t)$.

El formato de la tarjeta de entrada de datos, el cual es aplicable a todos los tipos de fuentes que se describirán en este capítulo, es el siguiente:

1...2	3...8	9...10	11...20	21...30	31...40	41...50	51...60	61...70	71...80
ITYPE	NOMBRE	IV	AMPLITUD	FRECUENCIA	T0 ó 0	A1	T1	TSTART	TSTOP
I2	A6	I2	E10.6	E10.6	E10.6	E10.6	E10.6	E10.6	E10.6

En un solo caso se pueden utilizar varios tipos de fuentes distintos, a la vez que las tarjetas pueden estar ubicadas en cualquier orden.

Si bien las fuentes tienen dos nodos, sólo es necesario indicar el nombre de uno de ellos pues el otro, para el ATP, siempre es la tierra.

Para retrasar la activación de una fuente, se deberá indicar un valor positivo para TSTART (el valor está dado en segundos). Por definición, la función será cero para valores menores a este tiempo, y será igual a la función $f(t-TSTART)$ para tiempos mayores a TSTART.

Así mismo, para anular una fuente a partir de un determinado tiempo, indicar un valor positivo en TSTOP.

Nótese que una función de fuente nula no implica necesariamente una fuente desconectada. Para una fuente de corriente, cero es equivalente a una fuente desconectada, pero para una fuente de tensión, cero implica un cortocircuito de la fuente.

Un valor cero o nulo para TSTOP, será interpretado como infinito por el ATP, por lo que la fuente nunca será anulada.

Si bien existe una amplia variedad de tipos de fuentes, siendo incluso hasta posible que el usuario defina una forma de onda cualquiera para la misma, a continuación se describirán aquellas más utilizadas.

9.1.1. TIPO 11: FUNCION ESCALÓN.

La forma de onda es un escalón de la amplitud indicada entre las columnas 11 a 20 (parámetro AMPLITUD) de la tarjeta de datos.

La función es cero para $t=0$ y recién en el siguiente paso de tiempo tendrá la amplitud indicada.

9.1.2. TIPO 12: FUNCION RAMPA.

Esta función crecerá linealmente desde cero hasta el punto determinado por T0 (tiempo al valor máximo) y AMPLITUD, a partir del cual se mantendrá constante en dicho valor.

9.1.3. TIPO 13: FUNCION DOBLE RAMPA.

Esta función crecerá primero linealmente desde cero hasta el punto determinado por T0 y AMPLITUD, para luego cambiar de pendiente, pasando por el punto definido por A1 y T1.

A1 puede ser mayor, menor ó igual a AMPLITUD. Incluso T0 puede ser cero, en cuyo caso sólo existe el segundo segmento de la función.

Normalmente se utiliza este tipo de fuente para representar ondas impulsivas en estudios de sobretensiones atmosféricas. Por ejemplo, un impulso de tensión de 10 kV, 1,2/50 μ s tendría los siguientes parámetros:

$$\text{AMPLITUD} = 10000.$$

$$T0 = 1.2\text{E-}6$$

$$A1 = \text{AMPLITUD} / 2 = 5000.$$

$$T1 = 50.\text{E-}6$$

9.1.4. TIPO 14: FUNCIÓN SINUSOIDAL.

La forma de onda es una senoide en función del tiempo.

El valor cresta en Amperes ó Volts (y no el valor eficaz), deberá ingresarse en el campo AMPLITUD y la frecuencia en Hz entre las columnas 21 a 30.

La fase puede ingresarse (en el campo correspondiente a T0) en grados ó tiempo, según sea el valor de A1:

- Si A1 = 0, se deberá ingresar en T0 la fase en grados, entonces:

$$f(t) = \text{AMPLITUD} * \cos(\text{ANG})$$

$$\text{donde ANG} = 6.28 * \text{FRECUENCIA} * t + T0$$

- Si A1 > 0, se deberá ingresar en T0 la fase en segundos, entonces:

$$f(t) = \text{AMPLITUD} * \cos(\text{ANG})$$

$$\text{donde ANG} = 6.28 * \text{FRECUENCIA} * (t + T0)$$

La solución del estado estacionario para $t < 0$, se realizará solamente para las fuentes del tipo 14 que estén presentes para $t < 0$, es decir que para que una fuente

intervenga en estas condiciones, deberá tener un valor negativo cualquiera en el campo TSTART.

Si hay varias fuentes tipo 14 de distintas frecuencias con $TSTART < 0$, para el estado estacionario se usará la frecuencia de la fuente tipo 14 de la primera tarjeta que se encuentre.

Si bien no se admite una solución del estado estacionario para corriente continua, se puede obtener una aproximación a ello utilizando una fuente de muy baja frecuencia, cercana al cero (por ejemplo 0.001 Hz.)

Un caso especial para la solución, en corriente continua, de estado estacionario lo constituye la carga atrapada en una línea de transmisión. Para esto utilice una fuente especial que:

1. sea de corriente ("-1" entre las columnas 9 a 10)
2. del tipo 14, sinusoidal de baja frecuencia, y
3. tenga el valor especial $TSTART = 5432$ (columnas 61 a 70).

Para la lógica normal del ATP, los puntos 1 y 3 aseguran que la fuente no estará presente luego del estado estacionario (es decir, durante el transitorio), dado que una fuente de corriente que nunca comienza no existe. Sin embargo, para el estado estacionario, hay una lógica especial que trata a tal fuente como de tensión, es decir, como si tuviera $TSTART = -1$ y un blanco entre las columnas 9 a 10.

Si bien lo anterior se basa en el caso de una línea de transmisión, el procedimiento es aplicable a cualquier caso donde se desee considerar carga atrapada. La única restricción es que, en el subsistema aislado donde se aplica tal fuente, no debe haber otras fuentes de distinta frecuencia.

9.1.5. TIPO 15: FUNCION IMPULSO

Esta es una fuente del tipo doble exponencial, definida por una función del tipo:

$$f(t) = AMPLITUD * [\exp(A*t) - \exp[B*t]]$$

donde:

- A deberá indicarse en el campo correspondiente a AMPLITUD, y
- B en el correspondiente a T0.

Normalmente tanto A como B serán negativos. Si una de las constantes A ó B es cero, la función se convierte en una simple exponencial.

10. SALIDAS NUMÉRICAS Y GRÁFICAS

10.1. SALIDAS NUMÉRICAS

La salida numérica es la impresión, a intervalos regulares de tiempo, de los valores de tensión, corriente, potencia y/o energía de los nodos ó ramas deseados, indicados a través de la columna 80 de cada tarjeta, ó mediante la especificación de los mismos en la tarjeta especial para este requerimiento.

El intervalo de tiempo para la impresión de los valores se controla con el parámetro IOUT de la tarjeta de datos misceláneos, obteniéndose una impresión de valores cada IOUT pasos de tiempo (DELTAT). Es decir, se tendrán $TMAX/(IOUT*DELTAT)$ líneas de impresión de valores.

La impresión se realizará normalmente en pantalla. Si se desea se puede redireccionar la salida a un archivo en disco, el cual luego puede ser impreso.

10.2. SALIDAS GRÁFICAS

El programa no tiene incorporado rutinas de graficación. Sólo es posible guardar los datos necesarios para la graficación en un archivo en disco, para luego ser graficados con un programa externo (como por ejemplo con el programa PCPLOT, que se suministra conjuntamente con el ATP).

En este archivo de datos se guardarán todas las variables de salida indicadas en la columna 80 de cada tarjeta de datos, más las indicadas en la tarjeta de salidas (luego de las tarjetas de fuentes).

Primeramente, para que los datos sean guardados, hay que colocar un '1' en la variable ICAT de la segunda tarjeta de datos misceláneos. Con esto se creará un archivo en disco cuyo nombre será el de la fecha y hora en que se inició la corrida, y cuya extensión será '.PL4'. En el encabezado del archivo de salida del ATP se indicará cual es el nombre del archivo que contiene los datos de graficación de esa corrida.

Otra alternativa es indicar un nombre cualquiera, como así también el directorio ó drive donde se desea guardar el archivo. Para esto, proceder de la siguiente manera:

- Antes de la tarjeta de datos misceláneos, y después de la de 'BEGIN NEW DATA CASE', tipear la siguiente instrucción, a partir de la columna 1:

`$OPEN, UNIT=4 FILE=Path\Nombre.Ext FORM=UNFORMATTED`

donde:

- Path: drive y directorio donde se desea guardar el archivo

- Nombre.Ext: Nombre y extensión del archivo, según las reglas del DOS, hasta ocho caracteres para el nombre y tres para la extensión, la cual no necesariamente debe ser ".PL4"

Luego de finalizada la corrida, cualquiera de los archivos así generados puede ser leído por el programa PCPLOT desarrollado por Mustafa Kizilcay, de la Universidad de Hannover (Alemania), siendo lo que sigue una traducción libre (no textual) del manual en inglés del mismo.

10.3. CARACTERÍSTICA GENERALES DE PCPLOT

- PCPLOT es un programa de graficación que se suministra separadamente del ATP, el cual permite obtener las salidas gráficas grabadas en los archivos "*.pl4".
- PCPLOT a sido producido utilizando el compilador Turbo Pascal de BORLAND (versión 4.0).
- Los tipos de gráficos posibles son:
 - cualquier variable en función del tiempo: resultados de la simulación del ATP.
 - gráfico x-y: una variable en función de otra.
 - respuesta en frecuencia: resultados de casos de "FREQUENCY SCAN".
- Posibilidad de la eliminación de los puntos visualmente redundantes mediante la especificación de una tolerancia definida en pixels.
- PCPLOT puede graficar hasta 3 curvas simultáneamente, cada una con hasta 10.000 puntos luego de la eliminación automática de puntos redundantes.
- La máxima cantidad de variables guardadas en el archivo "*.PL4" está limitada a 100.
- Los valores de cada una de la variables graficadas puede ser mostrado en pantalla, en la posición marcada en el eje x mediante una línea vertical.
- Los tipos de monitores soportados son: Hércules, CGA y EGA.
- Es posible obtener una impresión del gráfico utilizando cualquier impresora compatible EPSON de 8 ó 24 pines.
- Los comandos esta asociados a teclas de función, a fin de facilitar el tipeo de los mismos.
- Los comandos y datos para PCPLOT pueden ser entrados mediante una archivo Batch, en lugar de por teclado.

10.4. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

10.4.1.1. software

- Sistema Operativo MS-DOS o PC-DOS versión 3.0 o superior.
- Archivos de caracteres del Turbo Pascal: 14X9.FON, 4X6.FON y 8X8.FON
- Archivo de mensajes de error del Turbo Pascal: ERROR.MSG.

10.4.1.2. hardware

- Coprocesador matemático 8087 ó 80287, según la PC utilizada.
- Cualquiera de los siguientes adaptadores gráficos:
 - Tarjeta gráfica Hércules.
 - Adaptador CGA.
 - Adaptador EGA.
- Opcionalmente una impresora EPSON compatible, de 8 ó 24 pines

10.4.2. INSTALACIÓN DEL PCPLOT

La instalación del programa se hace conjuntamente con la instalación del ATP, a través de los discos originales.

10.4.3. COMO INICIAR EL USO DE PCPLOT

Para comenzar con el uso del programa tipee "PCPLOT" y presione <ENTER>, con lo cual se mostrara la primera pantalla del programa (las pantallas se explicarán detalladamente en el siguiente párrafo).

10.4.4. USANDO PCPLOT

PCPLOT consiste en tres pantallas ó niveles, las cuales se suceden secuencialmente. Desde cada nivel, es posible retornar al nivel precedente, ó salir del programa. El diálogo necesario con el usuario para producir el gráfico es simple y autoexplicativo. La entrada de datos al programa y los mensaje de error siempre aparecen en la línea 22 de cada una de las pantallas. Las líneas 24 y 25 son utilizadas para mostrar los posibles comandos de cada pantalla. Los comandos son asignados a teclas de función, a fin de facilitar el tipeo de los mismos. Las tareas y comandos de cada nivel son:

10.4.5. PANTALLA 1: SELECCIÓN DEL ARCHIVO CON LOS DATOS A GRAFICAR.

La primera pantalla que se mostrará al iniciar el programa es la siguiente:

```

                INTERACTIVE PLOTTING PROGRAM FOR EMTP (ATP)
(C) Institut für Elektrische Energieversorgung
    Universität Hannover, Welfengarten 1
    D-3000 Hannover 1, Germany

                Version 4/E,   written by  Mustafa Kizilcay

Capability : max. 3 curves with 10000 points after discarding
              visually redundant points

Plottype   : time function, xy-plot, frequency-response

Hardcopy   : Epson-compatible 8- and 24-pin dot-matrix printer

Remark     : This program is applicable only to the IBM PC XT/AT
              version of the EMTP (ATP), 1988, compiled by F77L.

-----
F1 : Directory          F2 : Batch Job          <CR> : File Name
Alt-F10 : Quit          F3 : Help

```

➤ <CR> : nombre del archivo.

Al presionar <CR> (ENTER) se solicitará el ingreso del nombre del archivo. Se acepta el ingreso del nombre completo, con la indicación del directorio. La indicación del directorio no es necesaria si el listado de archivos se ha realizado con la tecla F1. No es necesario indicar la extensión del archivo ".PL4", dado que es agregada automáticamente al nombre del archivo.

➤ F1 : Directorio (Directory)

Al presionar esta tecla serán listados todos los archivos "*.PL4" del directorio. Se puede indicar un directorio y luego presionar F1. El último directorio entrado será recordado por el programa.

➤ F2 : tarea por lote (Batch Job)

Todos los datos que se ingresan manualmente es posibles incluirlos , en la misma secuencia, en un archivo ASCII, en lugar de entrarlos por teclado.

Las reglas para crear este archivo son las siguientes. Ingrese cada dato comenzando en la columna 1:

línea 1: Nombre del archivo, incluido el directorio.

línea 2: Tipo de gráfica. Indicar uno de los siguientes números:

1 : en función del tiempo.

2 : una variable en función de otra.

3 : respuesta en frecuencia.

línea 3: Como máximo, tres números de curvas separadas por una coma. Las curvas están numeradas en el mismo orden en que aparecen en la lista de salida del ATP. Estos números son mostrados en la segunda pantalla del programa. Si se selecciona un tipo de gráfico = 2, es decir, una variable en función de otra, el primer número de curva será la variable a representar en el eje x, admitiéndose graficar entonces un máximo de dos variables en función de la primera.

línea 4: Tolerancia definida en pixels. Una entrada en blanco significa un valor por defecto de 0.90.

línea 5: Esta línea de dato es necesaria únicamente si se ha especificado un gráfico del tipo 2 ó 3. En otro caso no se deberá indicar.

Si el tipo de gráfico indicado es 2, indique un símbolo de un carácter y la unidad (hasta 4 caracteres) del eje x, separados por una coma.

Si el tipo de gráfico indicado es 3, indique "A" si la respuesta en frecuencia a sido calculada usando un espaciado aritmético de los puntos de frecuencia, ó una "G" si la respuesta en frecuencia a sido calculada usando un espaciado geométrico de la misma.

línea 6: Indique un símbolo de un carácter y la unidad (hasta 4 caracteres) del eje y, separados por una coma.

líneas 7 a 9: Esta tres líneas son para el título del gráfico, admitiéndose un máximo de 70 caracteres por línea. En caso de no desearse ningún título, deberán indicarse líneas en blanco.

Repita las líneas 1 a 9 tantas veces como desee. Cada uno de los grupos de datos representa una tarea batch independiente y serán procesadas secuencialmente.

Una vez finalizadas las tareas de graficación (impresión, muestra de datos, etc.) en la tercer pantalla del programa, el usuario deberá presionar F1: New Case para retornar al primer nivel, y luego F2: Batch Job y <ENTER> para comenzar con la próxima tarea batch del mismo archivo.

➤ F3: Ayuda (Help)

Presionando F3, se mostrará una descripción (en inglés) de los comandos de la pantalla actual.

➤ Alt-F10: Salir (Quit)

mayor que 0 y menor ó igual a 0,9.

Luego de ingresado este valor, todos los puntos del archivo serán leídos en búsqueda de los máximos y mínimos, los cuales serán guardados en un archivo temporal, a fin de acelerar las sub siguientes lecturas de los puntos de las variables a graficar.

➤ F1: Caso nuevo (New Case)

Con F1 se retorna a la primera pantalla del PCPLOT.

➤ F2: Ayuda (Help)

Presionando F2, se mostrará una descripción (en inglés) de los comandos de la pantalla actual.

➤ Alt-F10: Salir (Quit)

Con esta opción se abandona el programa PCPLOT, retornándose al sistema operativo.

10.4.7. PANTALLA 3: ESPECIFICACIÓN DE UNIDADES E IMPRESIÓN.

Se mostrará el gráfico en pantalla, pero aún le faltarán el nombre de los ejes y sus unidades.

Si se especificó un gráfico del tipo 1 ó 3, no será necesario indicar el nombre y unidad del eje **x**, dado que el programa lo hará automáticamente.

Para el eje **y** será necesario especificar una etiqueta (es decir, el nombre y unidad del mismo). La potencia de 10 en que se expresa la unidad será representado por un carácter, colocado automáticamente por el programa, que puede ser n (10^{-9}), μ (10^{-6}), m (10^{-3}), k (10^3), M (10^6) ó G (10^9). Este carácter, junto con los de la unidad, estará encerrado entre corchetes ([]). El usuario puede elegir entre ingresar el nombre y la unidad del eje, ó ingresar una de las unidades pre definidas, eligiendo el programa el nombre correspondiente automáticamente.

Si se especificó un gráfico del tipo 2, la etiqueta del eje **x**, seguirá las mismas reglas que para el eje **y**

El formato de la etiqueta de los ejes será:

$x [yzzzz]$ ó $x [10n*zzzz]$ si $|n| > 9$

donde:

x = un carácter que da nombre al eje.

y = uno de los siguientes caracteres: n, μ , m, k, M, G

z = unidad del eje (máximo 4 caracteres).

n = entero que representa la potencia de 10 para $|n| > 9$

Los nombres y unidades predefinidos son:

t, sec: Tiempo, segundos	T, Nm: Cupla, Newton-m
v, V: Tensión, Volt	r, Ω : Resistencia, Ohm.
i, A: Corriente, Amperes	g, mho: Conductancia, mho.
P, W: Potencia, Watt	f, Hz: Frecuencia, Hertz.
W, J: Energía, Joule	f, lgHz: Frecuencia
log10(f)Hertz	
$\hat{A}$. °: Angulo, Grados	

Por ejemplo, la etiqueta del eje y será mostrada como i[kA], si "A" es entrado como unidad. Los símbolos "i" y "k" será seleccionados automáticamente por el programa.

A fin de indicar los caracteres " $\hat{A}$ ". " Ω " y " $^{\circ}$ ", se deberán tipear las siguientes secuencias de teclas:

ALT 224 para " α "

ALT 234 para " Ω "

ALT 248 para " $^{\circ}$ "

Luego de ingresados los nombres de los ejes y sus unidades, el aspecto de la pantalla será el siguiente:

➤ F1: Caso nuevo (New Case)

Con F1 se retorna a la primera pantalla del PCPLOT.

➤ F2: Contenido (Contents)

Retorna a la segunda pantalla del programa, a fin de seleccionar nuevas variables para graficar.

➤ F3: Títulos del gráfico (Plot Title)

Se podrá ingresar hasta tres líneas de títulos de 70 caracteres cada una, las cuales serán impresas debajo del gráfico cuando se realice una impresión del mismo. El último título ingresado será recordado por el programa mientras no se cambie de archivo.

➤ F4: Impresión (Hardcopy)

Esta opción permite obtener una impresión del gráfico en papel. La impresora debe ser EPSON ó compatible con EPSON. El programa preguntará si la impresora es de 8 pines (opción A) ó 24 pines (opción B). La impresión en

impresoras de 24 pines es de mayor calidad, aunque mas lenta (normalmente la impresora será de 8 pines).

También es posible utilizar un programa de graficación de pantallas del tipo residente en memoria (TSR). En este caso se deberá proceder de la siguiente manera:

- Presione F4
- Presione A ó B (no tiene consecuencias en este caso)
- Presione cualquier tecla distinta de <ENTER> para mostrar el gráfico tal cual será impreso.
- Activar el programa residente en memoria con las teclas que corresponda según el programa utilizado.
- Cuando termine la impresión, presionar <ENTER>.
- Presionar "n" para anular la impresión propia del programa PCPLOT.

➤ F5: Rango del eje X (X Range)

La escala de los ejes será colocada automáticamente. Alternativamente, con esta opción, se puede hacer un zoom del eje x, para lo cual se deberá ingresar los límites en unidades del eje x entre los cuales se desea ver el gráfico.

➤ F6: Rango del eje Y (Y Range)

Al igual que para el eje x, con esta opción se puede hacer un zoom del eje y, para lo cual se deberá ingresar los límites en unidades del eje y entre los cuales se desea ver el gráfico.

➤ F7: Ayuda (Help)

Presionando F7, se mostrará una descripción de los comandos de la pantalla actual.

➤ Alt-F10: Salir (Quit)

Con esta opción se abandona el programa PCPLOT, retornándose al sistema operativo.

11. GUIA PARA COMENZAR CON EL MODELO DE UN SISTEMA

Una de las cuestiones iniciales al usar el ATP es determinar cuanto del sistema es necesario modelar, es decir, que elementos son necesarios tener en cuenta en el modelo y cuales no.

Por ejemplo, para el caso de estudios de sobretensiones de maniobra, como regla inicial, es necesario representar el sistema hasta dos barras antes de la que se maniobrará. En oposición, fenómenos de muy alta frecuencia, sólo requieren un modelo detallado de aquellos elementos cercanos al origen de tales fenómenos. Estos conceptos puede generalizarse a otros tipos de estudios.

Un vez que un modelo ha sido desarrollado y ensayado, el usuario puede agregarle otros elementos, a fin de analizar su influencia en los resultados. Se enfatiza la necesidad de comenzar los estudios con un modelo simple del sistema, para luego ir complicándolo en la medida de lo necesario.

En resumen, si bien es muy difícil establecer reglas, lo que sigue son algunas sugerencias que vale tener en cuenta:

- Comenzar con el modelo más sencillo posible del sistema.
- Experimentar, probar y adquirir confianza en el mismo.
- Ir agregando los elementos que sean necesarios para completar el modelo del sistema a estudiar.
- El tamaño y complejidad del modelo depende, en cierta forma, del fenómeno a estudiar. Así mismo aumenta la probabilidad de cometer errores en la modelización, por lo tanto, no hacer el modelo más complejo de lo estrictamente necesario.
- Determinar, en lo posible, la sensibilidad de los resultados a la incertidumbre en el conocimiento de los datos que influyen en el fenómeno a estudiar.

11.1. UNIDADES DE LOS PARÁMETROS

Es importante utilizar unidades de ingeniería cuando se ingresan los datos. Muchas veces los datos disponibles de líneas, cables, transformadores, etc. están en por unidad. El ATP puede manejar valores ingresados en por unidad, pero se debe ser cuidadoso al utilizar estas unidades.

11.2. REQUISITOS DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED

- El sistema debe ser configurado de tal forma que no pueda crearse una condición en donde la corriente por una inductancia no tenga un camino a tierra.

Los interruptores usualmente interrumpen la corriente en el primer DELTAT posterior al paso por cero de la misma. Alternativamente, pueden interrumpir la corriente un DELTAT después de que su magnitud caiga por debajo de un nivel predeterminado. En cualquiera de estos casos, el interruptor cortará una cantidad de corriente, lo cual originará oscilaciones numéricas indeseables, a no ser que se provea a la corriente por la inductancia de un camino para circular.

Similares problemas ocurrirán si se intenta cambiar instantáneamente la tensión de un capacitor.

Por lo tanto, pueden enunciarse las siguientes reglas :

- a) No se debe conectar en serie un interruptor con una inductancia, a no ser que se asegure un camino para la corriente de la inductancia, para cualquier posición del interruptor.
 - b) Se debe evitar una configuración del sistema tal que produzca la variación instantánea de la tensión sobre un capacitor.
- Cuando se incluyen las pérdidas en el modelo de una inductancia, es deseable representar aunque sea una parte de éstas pérdidas por una resistencia serie a fin de que cualquier corriente continua originada por una maniobra sea amortiguada. Similarmente debe conectarse un resistor en paralelo con una capacidad para que una tensión de continua decaiga.
 - Cuando se representa tiristores o diodos, es deseable representar los reactores limitadores de tensión y los atenuadores RC.

Estos componentes limitan los excesivos di/dt y dv/dt , tanto en el modelo del ATP como en el sistema real, aumentando la estabilidad numérica de la simulación.

- En el ATP pueden producirse sub sistemas flotantes cuando la operación de un interruptor causa que una parte del circuito se quede sin una conexión a tierra. También existe por ejemplo esta condición en el terciario en triángulo de un transformador. En estas condiciones, la tensión de éste sub sistema está matemáticamente indefinida, y el ATP pondrá un valor nulo a la tensión de alguno de los nodos del sub sistema. Esto puede ser aceptable en algún caso, como por ejemplo en el ya citado triángulo del transformador, pero en general es mejor colocar alguna capacidad pequeña en uno o varios de los nodos para evitar estos problemas.

11.3. SELECCIÓN DEL PASO DE TIEMPO Y DEL TIEMPO MÁXIMO DE SIMULACIÓN

La selección del paso de tiempo adecuado para la simulación es uno de las más importantes decisiones que el usuario deberá tomar. Hay un balance entre el esfuerzo computacional y la exactitud en los resultados que debe ser alcanzada.

Como guía inicial, utilice uno ó más de los siguientes procedimientos para seleccionar el máximo paso de tiempo aceptable para una simulación:

- Determine el mínimo tiempo de viaje de las líneas y cables que son incluidos en el modelo. Este puede calcularse como (longitud de la línea/máxima velocidad de propagación). Para obtener el máximo paso de tiempo, el tiempo de viaje debe dividirse por 10 para líneas que son importantes estudiar o por 4 para líneas que formar parte de la periferia del sistema representado.
- Calcule el período de oscilación para cada lazo LC de acuerdo con $T=1/f=2\pi\sqrt{LC}$. Para lazos que forman una parte importante del transitorio a estudiar, el paso de tiempo no debe ser mayor a 1/20 del período de oscilación. Para lazos y frecuencias de menor interés, el paso de tiempo puede ser tan alto como 1/4 del período de oscilación.
- Calcule la constante de tiempo para los elementos RC y L/R concentrados. El paso de tiempo no debe ser mayor que la menor de estas constantes de tiempo.
- Cuando se simulan sistemas de control de tiristores con TACS, el paso de tiempo no de exceder de 55 μ s para un sistema de 50 Hz.
- Cuando se simulan máquinas sincrónicas tipo 59, el paso de tiempo no debe exceder de 100 μ s. Si para la simulaciones de la dinámica de la máquina de larga duración el tiempo computacional resulta excesivo, es posible incrementar el paso de tiempo si los resultados son comparables a aquellos producidos con un paso de 100 μ s.
- Cuando se simulan armónicas u otros fenómenos estacionarios o quasi-estacionarios, el paso de tiempo debe ser igual a aproximadamente un grado de la frecuencia industrial, o sea 55 μ s para un sistema de 50 Hz.

Estas guías enunciadas tienen la intención de proveer el máximo paso de tiempo usable para obtener resultados de aceptable exactitud. Son preferibles pasos de tiempo inferiores a los sugeridos. En cada estudio, el usuario debe comparar resultados con diferentes pasos de tiempo, a fin de asegurarse que usando pasos de tiempo inferiores, no producirán efectos significativos en los resultados de interés.

Es generalmente preferible elegir el paso de tiempo de manera que el tiempo de viaje de las líneas de transmisión (si existen en el modelo) sea un número entero de pasos de tiempo. Esto reducirá los errores de interpolación durante la simulación. Este requisito es más importante para la secuencia positiva, pero también deseable para la secuencia cero. El usuario puede seleccionar un número "no redondo" a fin de satisfacer esta condición. Puede ser útil también ajustar levemente la longitud de la línea.

El tiempo total de simulación, TMAX, también afecta al tiempo computacional, y debe ser seleccionado de manera que :

- Al menos un ciclo de frecuencia industrial previa debe ser simulado, para transitorios de maniobra de frecuencia baja o media. Esto no es de aplicación para fenómenos de alta y muy alta frecuencia, dado que varios medios existen para establecer las condiciones iniciales del transitorios a simular inmediatamente, salvando por lo tanto tiempo computacional.
- Al menos 10 a 20 ciclos de la frecuencia del transitorio dominante (no de 50 Hz.) debe ser simulado, a fin de observar el amortiguamiento y asegurarse que no se producen fenómenos de resonancia
- La dinámica de máquinas requiere usualmente de 1 a 5 segundos de tiempo de simulación.
- Cuando el estado estacionario contiene armónicas, especialmente debido a elementos no lineales o maniobra de tiristores, varios ciclos del estado previo al transitorio deben ser simulados a fin de asegurarse que se alcanzan las condiciones iniciales. Se sugiere 5 ciclos de frecuencia industrial como punto de partida, sujetos a un posterior ajuste por parte del usuario.

Los valores adecuados de TMAX para simulación de sistemas de control pueden ser determinados en función del conocimiento de las frecuencias naturales del sistema de control y de las constantes de tiempo.

Ensayos de campo y experimentaciones con el ATP son medios valiables para la determinación tanto del paso de tiempo (DELTAT) como del tiempo máximo de simulación (TMAX).

Como guía adicional para la selección del paso de tiempo, el tiempo máximo de simulación y el rango de frecuencia válido para los modelos, varias bandas de frecuencia se definen en la siguiente tabla:

Rango de frecuencias de interés en simulaciones con el ATP.

Clase de frecuencia	Ejemplo	Rango de frecuencias
Sobretensiones dinámicas	Dinámica de sistemas de control. Energización de transformadores. Rechazo de carga.	0,01 Hz a 5 kHz. 0,1 Hz a 3 kHz. 0,1 Hz a 3kHz.
Sobretensiones de maniobra	Energización de líneas. Recierre de líneas. Cortocircuitos. Reencendidos de interruptores.	3 Hz a 15 kHz d.c. a 15 kHz 10 Hz a 3 kHz 10 hZ a 30 kHz
Sobretensiones con tiempo de frente rápido	Impulsos atmosféricos Reencendidos múltiples	5 kHz a 3 MHz 10 Hz a 3 MHz
Sobretensiones en GIS	Reencendidos	50 kHz a 30 MHz

11.4. SELECCIÓN DE LOS DATOS A INCLUIR EN LAS SALIDAS

La solución del estado estacionario y la tabla de conectividad debe siempre incluirse en la primera salida del caso a estudiar, dado que constituyen una importante herramienta para el caso en que sea necesario descubrir las causa de posibles errores.

En el caso de que existan errores, la impresión de los valores de las variables para determinados pasos de tiempo no resulta ser de mucha utilidad. Más conveniente resulta ser la impresión de los gráficos. La impresión de las variables máximas y mínimas, como así también el tiempo al cual ocurren pueden ser de utilidad.

Aún cuando sólo unos pocos parámetros son de interés para el caso a analizar, es recomendable que el usuario grafique la mayor cantidad posible de tensiones, corrientes, etc., dado que esto ayudará a la verificación del modelo del sistema.

Cuando se grafican tensiones de nodos, es recomendable dibujar cada fase en un gráfico separado. Lo mismo se sugiere para las tensiones y corrientes por la ramas.

A veces resulta conveniente dibujar en un solo gráfico las tensiones a ambos lados de un interruptor, o las corrientes en ramas en paralelo.

Debido a limitaciones propias del programa de graficación incluido en el ATP, puede no ser posible graficar cada uno de los puntos de simulación, por lo que se deberá utilizar uno de cada IPLOT puntos en la graficación. IPLOT es el paso de tiempo para la graficación y debe ser un número entero e impar. Es de destacar que los picos de las variables que ocurren dentro del paso IPLOT no serán graficadas.

11.5. SUGESTIONES PARA EL SEGUIMIENTO DE ERRORES

Los errores que pueden ocurrir durante la ejecución del programa son de varios tipos.

- **ADVERTENCIAS**: es decir, no se produce una interrupción de la ejecución del programa, pero se imprime un mensaje de advertencia respecto a alguna situación considerada anormal por el programa. Los resultados pueden ser válidos o no.

Por ejemplo, la existencia de un sub sistema flotante produce un mensaje advirtiéndole que a uno de los nodos de ese sub sistema se la ha asignado un valor nulo de la tensión (es decir, el programa lo pone a tierra). Si este sub sistema es el secundario en triángulo de un transformador, en donde no interesan los valores de las variables, entonces los resultados serán válidos.

- **ERROR FATAL**: este error produce la inmediata interrupción de la ejecución del programa, imprimiéndose una breve descripción del error detectado. Por ejemplo, la utilización de un paso de tiempo superior al tiempo de viaje de cualquier modelo de línea incluido en el sistema (para cualquier modo de propagación), producirá un error de este tipo.

- **ERROR DEL MODELO:** este error, el cual puede ser muy difícil de detectar, está relacionado con el uso de un modelo inadecuado de la red y/o de algún elemento que la compone. En este aspecto, el usuario es el único responsable de que el modelo utilizado sea representativo de la realidad que desea representar.

Salvo que exista un error grosero, que produzca valores absurdos para las variables de salida, la única forma de detectar este tipo de errores es el conocimiento básico de los fenómenos a simular, y de los resultados esperables.

Con respecto a los dos primeros tipos de errores, el manual de uso contiene una breve descripción de todos los mensajes de error. Sin embargo, si la causa del mismo no es obvia, o si se llega a un resultado pero con la sospecha de que es erróneo, los siguientes pasos son sugeridos a fin de encontrar el posible error :

- Controle la interconexión entre elementos comparando la tabla de conectividad suministrada por la salida del ATP, con el diagrama del sistema modelado.
- Controle la interpretación que el ATP realiza de los parámetros de entrada, revisando los valores indicados en la sección izquierda de la salida del ATP.
- Repita el caso removiendo previamente todos los modelos de máquinas rotantes, líneas con parámetros dependientes de la frecuencia, descargadores, inductancias no lineales y sistemas modelados con TACS.
- Remueva cualquier resistencia negativa de las ramas tipo TRANSFORMER.
- Controle la salida de estado estacionario para verificar la consistencia de los resultados.
- Si hay sub sistemas flotantes, o con un camino débil a tierra, póngalo efectivamente a tierra a través de una impedancia de bajo valor.
- Repita el caso con un paso de tiempo menor.

11.6. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS.

El medio más simple e importante es el conocimiento básico de los fenómenos a ser simulados. Además, resultados de ensayos de campo, informes o artículos técnicos, libros como así también la consulta a profesionales más experimentados puede llegar a ser de gran utilidad al respecto.

Es preferible que el usuario revise los conceptos básicos del fenómeno a ser simulado antes de intentar simularlo con el ATP.

Cuando se verifica los resultados de un nuevo modelo, el usuario debe siempre controlar la interpretación que el ATP efectúa de los parámetros de entrada, como así también la tabla de conectividad.

La solución del estado estacionario debe ser controlada en aquellos nodos en donde, por resultados de flujos de carga o por cálculos a mano, se conozcan las magnitudes de las tensiones, corrientes, potencias, etc.

Se debe examinar las formas de onda previas a la maniobra, a fin de verificar que las armónicas que eventualmente puedan existir alcancen una condición estable, antes de que se inicie la maniobra.

Las frecuencias de los transitorios pueden verificarse de acuerdo a $f=1/(2\pi LC)$ para circuitos con elementos concentrados, $f=1/4\tau$ para líneas y cables con el extremo abierto, y $f=1/2\tau$ para líneas y cables con el extremo en cortocircuito, siendo τ el tiempo de viaje de la línea o cable.

La impedancia característica de un circuito con elementos concentrados, $Z=\sqrt{LC}$, es útil para relacionar los valores entre tensiones y corrientes.

Los coeficientes de transmisión y reflexión de una onda viajera :

$$E_r = (Z_b - Z_a) / (Z_b + Z_a)$$

$$E_t = 2Z_b / (Z_b + Z_a)$$

puede ser utilizado para chequear las características de la tensión en cada punto de cambio de impedancia.

Es de destacar que una línea o cable terminada en una inductancia se comporta inicialmente como un circuito abierto, para luego pasar a comportarse como un cortocircuito para un estado estacionario de corriente continua, o una carga reactiva para un estado estacionario de corriente alterna.

Similarmente, un línea o cable terminada en una capacidad, inicialmente se comporta como un cortocircuito, para luego pasar a ser un circuito abierto para el estado estacionario de corriente continua o una reactancia para el de corriente alterna. Los capacitores shunt generalmente tienen el efecto de aumentar la magnitud de las sobretensiones.