

621.3126  
U712  
Pt. 2  
11758  
T-F2

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

A-41.

DISPOSICIÓN DE EQUIPOS EN SUBESTACIONES  
DE POTENCIA MEDIANTE EL USO DE AUTOCAD

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO

PEDRO ENRIQUE VILLACRES PAREDES

Tesis previa a la obtención del título de ingeniero en  
sistemas eléctricos de potencia.

Quito, abril de 1999.

+

Certifico que el presente anexo de la tesis "Disposición de equipos en subestaciones de potencia mediante el uso de AutoCAD" ha sido realizado en su totalidad por el Sr. Pedro Villacrés Paredes, bajo mi dirección.

  
Ing. Paúl Ayora G.  
DIRECTOR DE TESIS

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO .....	A-1
A.1 INTRODUCCIÓN.....	A-1
A.2 REQUISITOS DEL EQUIPO E INSTALACIÓN DEL PROGRAMA.....	A-2
A.3 MODELACIÓN DE EQUIPOS: COMANDO MODELO.....	A-5
A.3.1 Elaboración del gráfico del equipo en AutoCAD.....	A-5
A.3.1.1 Requisitos en el dibujo de los equipos.....	A-8
A.3.2 Comando modelo.....	A-9
A.3.3 Resultados del comando modelo.....	A-12
A.4 DISEÑO DE SUBESTACIONES. COMANDO DDS.....	A-14
A.4.1 Ideas preliminares.....	A-14
A.4.2 Distancias dieléctricas y de seguridad utilizadas por el programa.....	A-15
A.4.2.1 General.....	A-15
A.4.2.2 Patio de 69 kv.....	A-16
A.4.2.3 Patio de 138 kV.....	A-19
A.4.2.4 Patio de 230 kV.....	A-20
A.4.2.5 Patio de transformadores.....	A-22
A.4.2.6 Distancias entre patios.....	A-24
A.4.3 Comando dds.....	A-33
A.4.3.1 Distancias en los diferentes patios.....	A-38
A.4.4 Resultados del comando dds.....	A-43
A.4.5 Utilidades del programa.....	A-44
A.4.6 Limitaciones del programa.....	A-46

## Anexo A

### Manual del usuario.

#### A.1 Introducción.

El software desarrollado en esta tesis permite modelar los equipos de estaciones y subestaciones y ubicarlos gráficamente en un plano, respetando las distancias dieléctricas fase-tierra y fase-fase y las de seguridad y mantenimiento. Este software se ha escrito en lenguaje AutoLISP R.14, de forma que se lo pueda usar dentro del programa AutoCAD R.14 como uno más de sus comandos, para obtener un resultado gráfico.

El software comprende dos programas completamente independientes en cuanto a su funcionamiento. Uno sirve para generar un modelo del equipo (seccionador, transformador, etc.). Este modelo se basa en un gráfico realizado por el usuario en AutoCAD y consiste en un archivo de texto que contiene los principales datos geométricos del equipo: dimensiones de la base o tanque según el caso, y los puntos de los terminales de los aisladores (bushings) respecto de un sistema cartesiano adecuado. A este comando se lo ha llamado *modelo*.

El segundo programa (llamado *dds*) usa los modelos generados por el primero para calcular, en base al nivel de voltaje y la altura del sitio de montaje, sobre el nivel del mar, las distancias mínimas y recomendadas que se deben considerar en la distribución de los equipos dentro de la subestación. Luego, como resultado final, presenta un gráfico desarrollado en AutoCAD (extensión .dwg) que contiene el plano de la subestación a escala 1:1, que lógicamente puede ser impreso con una escala adecuada al tamaño del papel en el que se realice la impresión. Además se generan archivos que contienen los datos geométricos de los equipos utilizados y las coordenadas de ubicación de los mismos, así como datos generales de la subestación.

Los niveles de voltaje considerados son: 230, 138 y 69 kV, que en nuestro país corresponden a los sistemas de transmisión y subtransmisión.

En cuanto a los esquemas de barras, para los patios de maniobra de las estaciones, se usan los esquemas de "barra principal y transferencia" para los voltajes de 138 y 69 kV, y "doble barra" para el voltaje de 230 kV.

En el diseño de los programas se ha intentado proporcionar una adecuada versatilidad, facilidad de uso y manejo de errores, mediante el uso de *cajas de diálogo*.

Una caja de diálogo constituye la vía de comunicación entre el usuario y el programa, por lo que su diseño se realiza tomando en cuenta no solo los propósitos prácticos, sino también la estética y la ubicación de los elementos de la caja para facilitar su uso.

Además se procura mantener una consistencia con el aspecto y funcionamiento de las cajas de diálogo propias del AutoCAD. Por ejemplo, un botón cuya etiqueta termina con tres puntos indica que cuando se haga clic sobre él, aparecerá una *subcaja de diálogo*.

Finalmente es necesario indicar que el manejo de los programas elaborados en esta tesis, requiere que el usuario tenga un conocimiento previo de AutoCAD R.14.

## A.2 Requisitos del equipo e instalación del programa.

Como ya se ha dicho antes, los programas desarrollados en esta tesis se ejecutan como dos comandos más del programa AutoCAD. Por lo tanto, el sistema debe satisfacer las exigencias de los dos programas: AutoCAD R. 14 y la aplicación desarrollada en este trabajo (estas últimas son insignificantes frente a las impuestas por AutoCAD).

Para utilizar el programa con un PC, el sistema debe tener:

- Una computadora PC compatible con IBM, como mínimo con un procesador 486/66 MHz o más rápido.
- Sistema operativo Windows 95 o superior
- Por lo menos 16 MB de RAM.
- Por lo menos 30 MB de espacio en el disco duro (se recomienda tener más espacio disponible en caso de que se tenga un alto número de equipos modelados).
- Adaptador de visualización y monitor VGA, Super VGA, o superior.

Para el correcto funcionamiento del programa, es necesario disponer de los directorios ubicados en el orden dado en la figura A-1.

El directorio EQUIPOS contiene los directorios AISLAD, INTERR, PARARR, SECCIO, TRAFOM, TRAFOT, TRANSF, que corresponden a los equipos: aisladores de pedestal, interruptores, pararrayos, seccionadores, transformadores monofásicos, transformadores trifásicos y divisores capacitivos, respectivamente.

Cada uno de estos directorios contiene a su vez los directorios  $MARCA_1$ ,  $MARCA_2$ , ...,  $MARCA_N$ . En estos directorios se guardarán los modelos de los equipos, obtenidos mediante el comando *modelo*.

Los archivos de los planos de las subestaciones así como los archivos que contienen la información sobre los equipos y las coordenadas de su ubicación se graban en el directorio EQUIPOS.

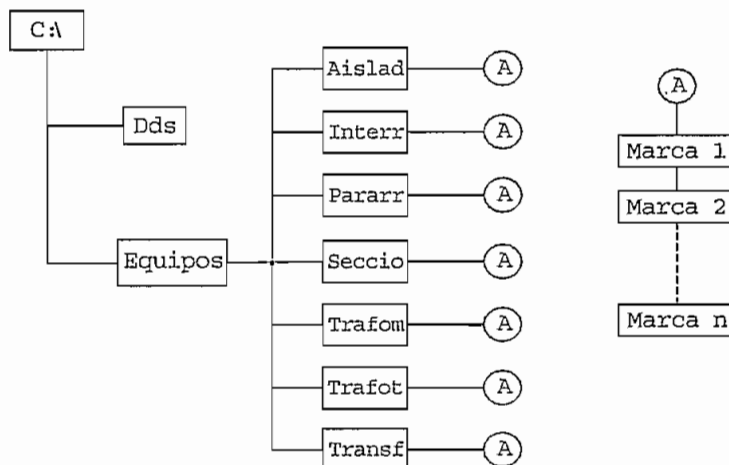


Figura A - 1. Estructura de directorios necesaria para el funcionamiento del programa.

En el directorio DDS deben constar los archivos del programa, cuyos nombres y descripción se presenta a continuación:

- Modelo.lsp Este archivo contiene las instrucciones de la función *modelo* que permite generar el modelo de los equipos. Corresponde al primer programa.
- Marcas.dfs Aquí consta la lista de marcas de equipos (fabricantes) disponibles para el usuario. Esta lista es necesaria para el uso de la función *modelo*. Además contiene el nombre del fabricante del último equipo modelado por el usuario.
- Dds.lsp Contiene las instrucciones de la función *dds* (diseño de subestaciones) que permite la distribución de equipos en una estación. Corresponde al segundo programa.
- Patio.dfs Este archivo contiene información necesaria para el funcionamiento del programa *dds*. Aquí se incluyen los últimos datos usados por el usuario para el diseño de una subestación:

Altura del sitio de instalación.

Lista de marcas y modelos de los equipos usados en los patios de maniobra de las subestaciones.

Niveles de voltaje de los patios.

Número de posiciones en los patios de voltaje mayor y menor, y el número de unidades de transformación.

Dds.dcl      Contiene la definición de las cajas de diálogo que se usan en los dos programas del software.

Además es necesario que se añadan al contenido del archivo acad.lsp las siguientes líneas:

```
(DEFUN c:modelo ()
  (LOAD "ai_utils")
  (LOAD "c:\\dds\\modelo")
  (inicio)
)
(DEFUN c:dds ()
  (LOAD "ai_utils")
  (LOAD "c:\\dds\\dds")
  (patio)
)
```

El archivo acad.lsp es parte del programa AutoCAD y se encuentra junto con los archivos ejecutables de este programa, generalmente en el directorio c:\AutoCAD R14. En caso de que este archivo no exista, se lo debe crear usando un editor de texto como el *edit* de DOS o el *WORD* de WINDOWS. En este último caso, se debe guardar el archivo usando el formato *Solo Texto*.

Para presentar la ayuda al usuario, dentro del comando *dds*, se proporciona el archivo *ayuda.slb* que contiene fotos de vistas en planta y en cortes de los patios de maniobra y de transformación. Este archivo debe se debe ubicar en el directorio c:\AutoCAD R14, o en el que contenga los archivos ejecutables del AutoCAD.

Hecho esto, quedan añadidos los comandos "*modelo*" y "*dds*" al grupo de comandos propios del AutoCAD.

### A.3 Modelación de equipos: comando *modelo*.

Esta función permite la modelación de los siguientes equipos:

- aisladores monofásicos de pedestal,
- interruptores tripolares,
- pararrayos,
- seccionadores tripolares,
- transformadores monofásicos,
- transformadores trifásicos, y
- divisores capacitivos de voltaje.

La modelación de un equipo debe seguir el siguiente proceso:

1. Elaboración del gráfico del equipo en AutoCAD por parte del usuario.
2. Uso de la función *modelo*.

#### A.3.1 Elaboración del gráfico del equipo en AutoCAD.

El usuario del programa debe realizar un gráfico tridimensional del equipo, que represente sus principales medidas. Para esto puede usar el módulo AME del AutoCAD V.14, las superficies y mallas tridimensionales, o lo que es más práctico, usar adecuadamente las variables de AutoCAD *elevation* y *thickness* junto con un UCS apropiado, para generar las diferentes partes de los equipos.

Para propósitos de la modelación, lo que se necesita es una base en forma de caja para los seccionadores, interruptores y transformadores de potencia. A esta base deben estar asociados los terminales de los aisladores del equipo.

Por otro lado, para los aisladores de pedestal, pararrayos y divisores capacitivos no se requiere la elaboración de ninguna base, sino solamente de la estructura de cerámica del dispositivo.

El gráfico puede ser tan simple o tan complicado como el usuario decida, sin que esto influya en su modelación. En efecto, los tres gráficos que representan un seccionador y que se muestran en la figura A-2, para el comando *modelo*, son totalmente equivalentes. Aquí se observa que no hace falta dibujar detalles como las cuchillas del seccionador o el aislador de porcelana sobre el que gira la cuchilla en el caso de seccionadores tipo



barra central rotatoria, etc.

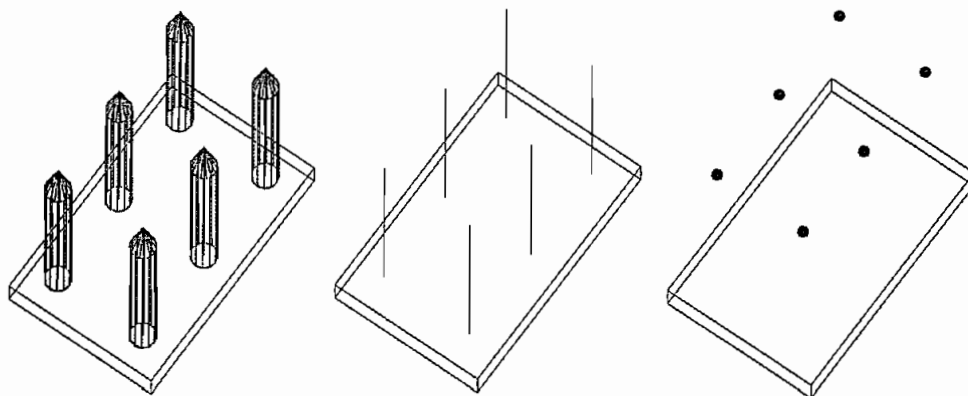


Figura A - 2. Posibles gráficos que pueden representar un seccionador.

Se recomienda no representar el equipo con gráficas muy complicadas que, por ejemplo, incluyan la forma de la silueta del aislador de un equipo, o los radiadores de un transformador, ya que esto ocupa demasiada memoria de la computadora y hace que su manejo sea bastante lento. Por otro lado, tomando en cuenta que estos modelos servirán para la elaboración de planos de subestaciones, tampoco es conveniente que sean demasiado simples como en el tercer caso de la figura A-2, en que se ha representado los terminales de los aisladores del seccionador mediante puntos. Buscando llegar a un equilibrio, lo más conveniente parece ser el representar los aisladores mediante cilindros terminados en conos, o más sencillo todavía, representarlos únicamente por conos. Para este último caso, y como una sugerencia, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Dibujar un círculo en la base del aislador o bushing, de un radio tomado del catálogo proporcionado por el fabricante.
- Dibujar un punto en el extremo terminal del aislador. Para esto es conveniente que las variables *pdmode* y *pdsiz*e tengan un valor mayor que cero a fin de que el punto pueda ser visible. Se recomienda los valores 2 y 0.3 respectivamente.
- Asignar a la variable *surftabl* el valor 15, para que el cono generado tenga realmente una apariencia de un cono antes que de una pirámide.
- Usar el comando *rulesurf*, indicando como curvas de definición el círculo y el punto.

Según este criterio, los aisladores de pedestal, pararrayos y divisores capacitivos, tendrían un aspecto como el mostrado en la figura A-3.

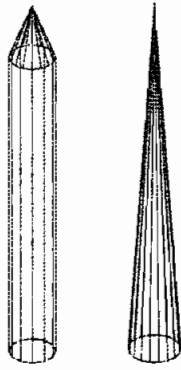


Figura A - 3. Gráfico de un pararrayos, aislador de pedestal o divisor capacitivo.

Un caso especial lo constituye la modelación de interruptores y transformadores debido a que el contorno de estos equipos suele ser muy irregular.

En el caso de los interruptores, existen de varios tipos y principios de funcionamiento. Los de SF6 generalmente están totalmente contenidos en una estructura de porcelana, por lo que la realización de su gráfico no presenta mayor problema.

Los que pueden presentar cierta complicación son los de gran volumen de aceite y en general, los que incluyen un conjunto tanque-accesorios de forma no muy regular. En este caso se debe elaborar el gráfico de una caja que represente las dimensiones del tanque desde la base de los bushings hasta los puntos más extremos del tanque. En la figura A-4, se presenta una vista de un interruptor de gran volumen de aceite y el gráfico que debe ser usado para su modelación.

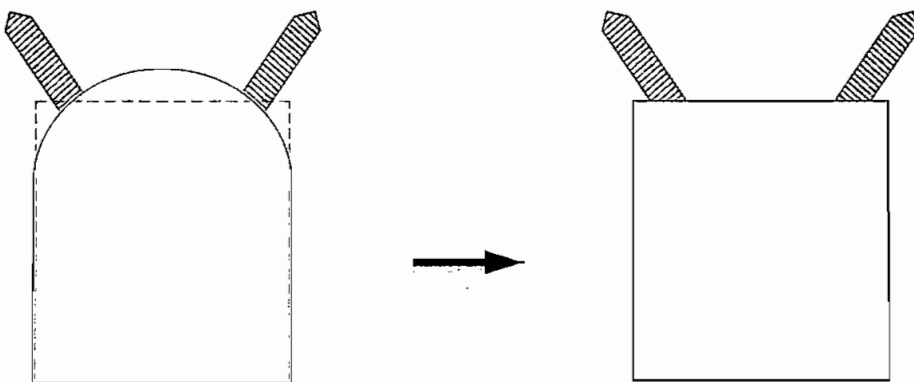


Figura A - 4. Vista de un interruptor de gran volumen de aceite y su representación.

En el caso de un transformador, su contorno es todavía más complejo ya que incluye el tanque donde se encuentran las bobinas, los radiadores, ventiladores, un tanque pequeño para la expansión del aceite, dispositivos de medición de varias magnitudes, etc.

Sin embargo, su modelación se basa en el mismo criterio que en los equipos vistos hasta ahora: una caja que represente sus dimensiones, acompañada de los aisladores. En la figura A-5 se muestra una vista del posible contorno de un transformador de potencia y el gráfico usado para su modelación.

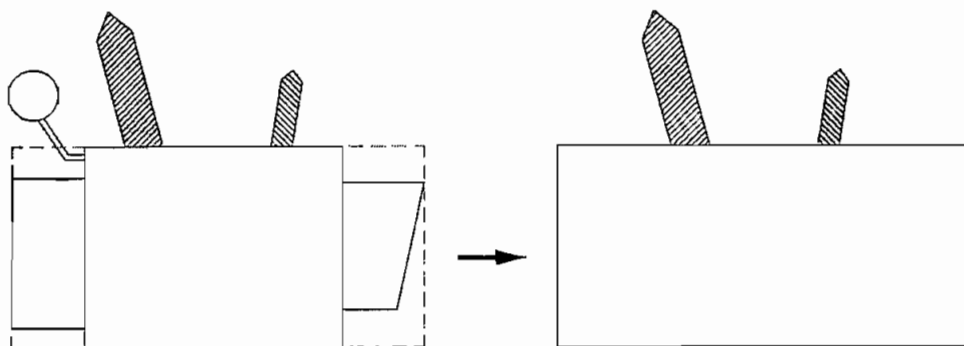


Figura A - 5. Vista de un transformador y su representación.

#### A.3.1.1 Requisitos en el dibujo de los equipos.

Hace falta considerar ciertos detalles que el usuario deberá tener en cuenta en el momento de realizar el gráfico de un equipo en AutoCAD. Estos son:

- El gráfico debe realizarse usando una escala 1:1, es decir que 1 metro en las dimensiones del equipo, proporcionadas por el fabricante, debe corresponder a 1 unidad de dibujo en AutoCAD.
- La base del equipo debe estar asentada en un plano paralelo al X-Y del UCS (sistema de coordenadas) universal y sus aristas estar alineadas con los ejes X, Y y Z del UCS universal (ver figura A-6).
- Los seccionadores e interruptores deben tener simetría respecto de los ejes X e Y mostrados en la figura A-6.
- En el caso de transformadores tanto monofásicos como trifásicos, el gráfico debe realizarse de manera que los aisladores de voltaje mayor queden a la izquierda y los de voltaje menor a la derecha del equipo (ver figura A-6). Estos equipos no requieren que sus aisladores estén alineados simétricamente.
- Aunque no es un requisito indispensable como los anteriores, se recomienda usar varios colores en la elaboración del gráfico del equipo. Por ejemplo, se puede usar el color negro para la caja y el color café para los aisladores.

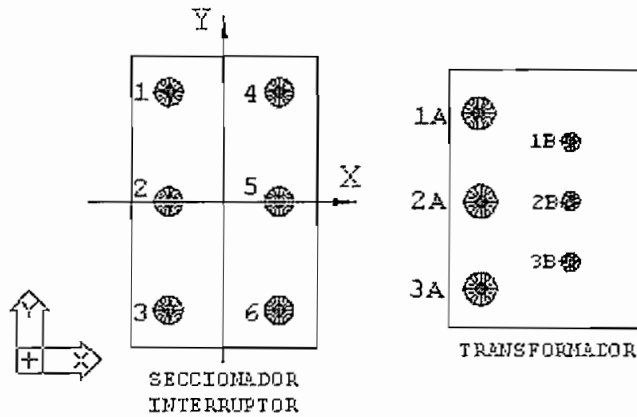


Figura A - 6. Forma en la que se debe alinear los equipos en relación al UCS universal.

### A.3.2 Comando *modelo*.

Como se manifestó anteriormente, el comando *modelo* ha sido incorporado al grupo de comandos propios del AutoCAD.

Este comando debe ser usado teniendo en la pantalla del AutoCAD el gráfico del equipo que se va a modelar. Es conveniente que el usuario guarde previamente este gráfico, ya que será objeto de varios cambios realizados por el comando, aunque en realidad este no es un requisito que se deba cumplir. Tampoco es necesario que se tenga un "punto de vista" (*vpoint*) ni un UCS actual en particular.

La acción inmediata de este comando es visualizar la caja de diálogo "Modelación de Equipos" mostrada en la figura A-7. Luego solicita que el usuario marque los puntos que definen el equipo. Este proceso se explicará en detalle más adelante.

A continuación se explica el significado de cada elemento en la caja de diálogo.

#### Equipo.

Permite designar el tipo de equipo que se va a modelar: interruptor, seccionador, pararrayos, divisor capacitivo de voltaje, aislador de pedestal, transformador monofásico o transformador trifásico.

#### Marca.

Contiene una lista con los nombres de los fabricantes que están disponibles. Si el fabricante del equipo que el usuario desea modelar no consta en esta lista, lo puede agregar escribiendo en el espacio inferior el nuevo nombre y presionando luego el botón

Nueva. El nombre puede ser una cadena alfanumérica de hasta 8 caracteres.

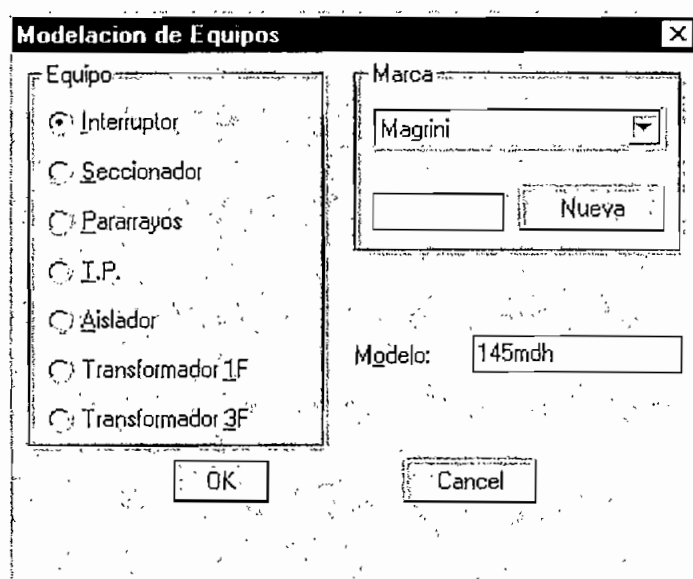


Figura A - 7. Caja de diálogo “Modelación de equipos”

### Modelo.

Es el modelo con que el fabricante ha designado al equipo. Puede ser una cadena alfanumérica de hasta 7 caracteres. El nombre de los archivos gráfico y de datos creados por el programa será la unión de la inicial del equipo (i, s, p, t, a, t, t, respectivamente) y el texto ingresado en este espacio.

Si se ingresa el nombre de un modelo existente, el programa lo sobrescribirá sin dar ningún mensaje de alerta al usuario.

Una vez que se ha aceptado los datos del equipo, presionando el botón OK, la pantalla gráfica se divide en tres ventanas. En cada una de estas ventanas se tiene un punto de vista (*vpoint*) diferente para que el usuario visualice con gran facilidad los puntos que definen el equipo.

Estos puntos son indicados por el usuario y como respuesta, el programa los marca con señales y textos de varios colores (los colores han sido escogidos suponiendo que el fondo de pantalla del AutoCAD “graphics window background” es de color negro).

### Puntos necesarios para definir pararrayos, aisladores de pedestal y divisores capacitivos de voltaje.

En este caso, son necesarios tres puntos: base, borde y electrodo.

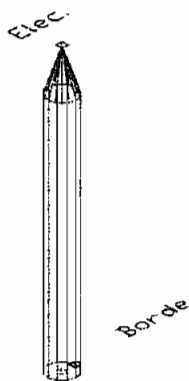


Figura A - 8. Puntos que deben ser indicados por el usuario: base, borde, electrodo.

Para comodidad del usuario, el programa asigna a la variable de AutoCAD *osmode* un valor adecuado según el punto que se requiere. Así, cuando se solicita el centro de la base (Base) o un punto en su periferia (Borde), basta con que el usuario marque un punto en la circunferencia inferior de la mencionada base, ya que el *modo de referencia* se fija en *center* y *quadrant*, respectivamente. Análogamente, cuando se pide que se marque el punto terminal del aislador (Elec.), el *modo de referencia* se fija en *end*.

El usuario puede fácilmente verificar si acertó o no en la designación de los puntos, ya que como se ha dicho antes, éstos son marcados por el programa, usando varios colores y, en caso de haber cometido un error, el programa permite su corrección.

**Puntos necesarios para definir seccionadores, interruptores y transformadores monofásicos y trifásicos.**

El programa solicita que se indique un par de esquinas diametralmente opuestas de la caja (ver figura A-9) y los terminales de los aisladores.

En el caso de los aisladores, se los debe indicar siguiendo el orden mostrado en la figura A-6.

El programa no ejerce un control ni de los puntos que el usuario indica ni del orden en que lo hace, pero ofrece los *vpoint* suficientes para que se observen claramente los puntos señalados, y la posibilidad de corregirlos. Si el usuario designa puntos que no corresponden a las esquinas de la base, o a los terminales de los aisladores o no lo hace en el orden mostrado en la figura A-6, el archivo de datos que es generado por el programa, contendrá datos erróneos que posteriormente serán usados en el programa *dds* que a su vez producirá resultados equivocados. Esto también se aplica a los equipos

considerados antes: pararrayos, aisladores y divisores capacitivos de voltaje.

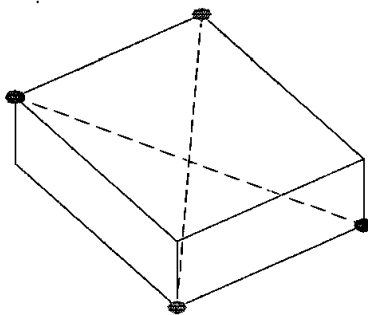


Figura A - 9. Esquinas de la base del equipo.

### A.3.3 Resultados del comando *modelo*.

Como resultado de este comando, se tienen dos archivos: uno gráfico de AutoCAD (extensión .dwg) y uno de texto (extensión .lsp). el nombre de estos archivos, como se ha dicho antes, es una combinación de la inicial del equipo que se trate y el modelo. El directorio en que se ubican estos archivos es el que se indicó en el numeral A.2. Por ejemplo, si se trata de un interruptor cuyo fabricante es “marca1”, los archivos se ubican en c:\equipos\interr\marca1.

#### Archivo de AutoCAD.

Este archivo contiene el gráfico que el usuario ha realizado para modelar el equipo. El programa realiza los siguientes los siguientes cambios:

- Borra todas las entidades y definiciones de bloque que no se estén usando mediante el comando “Purge”.
- En caso de que el gráfico haya sido creado usando el módulo AME del AutoCAD, borra la estructura o “árbol” de los sólidos, reduciendo considerablemente el tamaño del archivo.
- Fija como punto base del archivo uno de los indicados en la figura A-10, dependiendo del equipo de que se trate. Este constituye el punto de inserción del equipo cuando se use el comando *dds*.
- Fija como UCS actual el universal y asigna a las variables de AutoCAD *elevation* y *thickness* el valor 0.

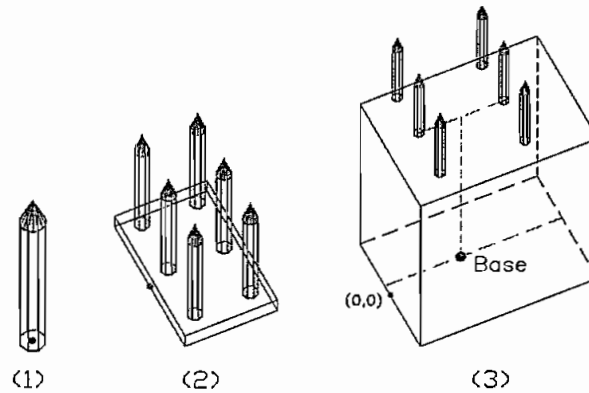


Figura A - 10. Puntos base para : 1) aisladores, pararrayos y TP. 2) interruptores y seccionadores. 3) transformadores monofásicos y trifásicos.

#### Archivo de texto.

Este archivo contiene las coordenadas de los puntos de los terminales de los aisladores, tomando como referencia un sistema de coordenadas paralelo al UCS universal cuyo origen es el punto base del equipo, para todos los equipos excepto para transformadores mono y trifásicos, para los que se tiene un punto base que se usará como punto de inserción y un origen de coordenadas que es el punto medio de la arista inferior paralela al eje Y.

Además se guardan las dimensiones X, Y y Z de la caja o el radio de la base, según el equipo. El formato de este archivo es compatible con la estructura de un programa escrito en AutoLISP, de forma que se lo puede cargar y ejecutar como una rutina de un programa. Como un ejemplo, se presenta el contenido del archivo de datos de un interruptor.

```
(DEFUN punto ()
  (SETQ lista '(
    (0.2 0.6 1.9)
    (0.2 1.7e-15 1.9)
    (0.2 -0.6 1.9)
    (0.8 0.6 1.9)
    (0.8 1.7e-15 1.9)
    (0.8 -0.6 1.9)
    1.0
    1.6
    0.2
  )
)
```



## A.4 Diseño de subestaciones. Comando *dds*.

### A.4.1 Ideas preliminares.

Este comando permite la ubicación de los equipos en una estación. Para esto se usa una estructura de tres patios: patio de voltaje mayor, de voltaje menor y de transformadores. Estos patios utilizarán los archivos gráfico y de texto de los diferentes equipos que existen en una subestación y han sido previamente generados con la función *modelo*.

Inicialmente, este comando permite al usuario determinar los equipos, el nivel de voltaje y el número de posiciones que se usarán en cada patio, para luego calcular las distancias que deben existir entre equipos y entre equipos y estructuras. Estas distancias son puestas a consideración del usuario quien está en libertad de aceptarlas o modificarlas.

A los equipos se les añade una estructura de soporte para asentarse en el suelo. La altura de esta estructura debe ser tal que el punto más bajo de los aisladores de porcelana esté separado una distancia  $h_1$  (2.44 metros) del suelo, y su extremo superior esté a una altura  $h_2$  ( $1.1 * df-t + 2.44$  metros), según se ilustra en la figura A-11.

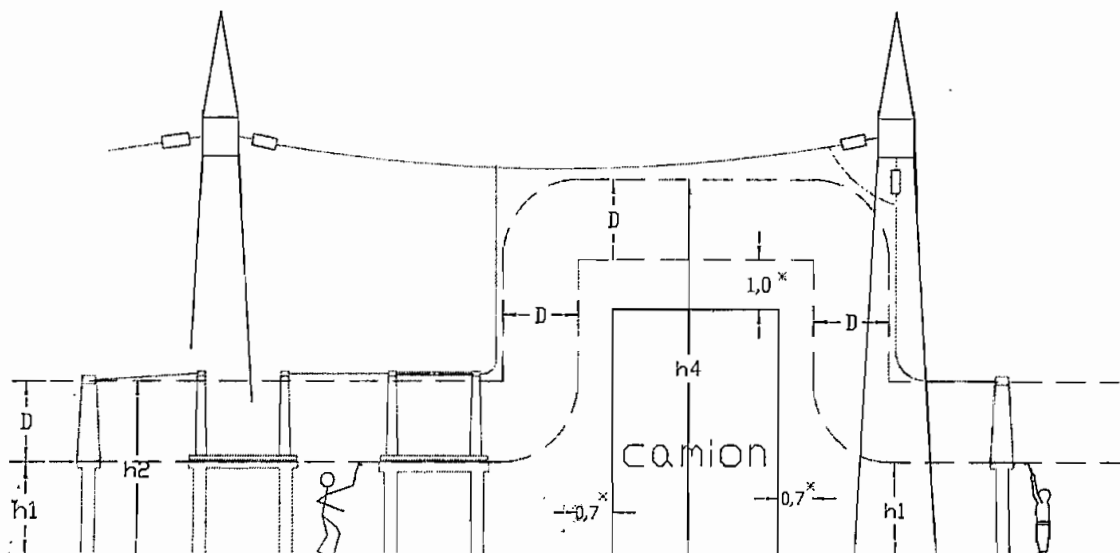


Figura A - 11. Separaciones mínimas en relación del suelo.

En los patios de una subestación también se dibujan las estructuras que sostienen los cables de las barras y de las líneas de transmisión. Para fines del cálculo de la distancia entre estas estructuras y los equipos, se ha considerado que tienen un ancho constante dado en las tablas A-1 y A-2. Sin embargo, en el plano que se genera al usar el comando

DDS, las estructuras tienen un aspecto de pirámide truncada, con la base mayor a ras del suelo y la base menor en su extremo superior, ya que esto le da un mejor aspecto.

Nivel de Voltaje (kV)	Ancho pórtico de llegada (metros)	Ancho soporte de barras (metros)
69	2.5	1.6
138	2.0	1.0
230	1.5	1.0

Tabla A - 1. Ancho de las estructuras metálicas de soporte. Patios de maniobra.

Nivel de Voltaje Mayor (kV)	Ancho pórtico de llegada (metros)	Ancho soporte de barras (metros)
138	2.0	1.0
230	2.0	1.6

Tabla A - 2. Ancho de las estructuras metálicas de soporte para transformadores.

El resultado de este comando es un plano en el que los tres patios se sitúan en un terreno del mismo nivel. Esto en la práctica casi no se encuentra, ya que el área de una subestación es grande y generalmente los patios se construyen con diferencias en el nivel del terreno. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de especificar la altura de las barras y de las estructuras que sostienen los cables de las líneas de transmisión.

Es conveniente que se use el comando DDS inmediatamente después de abrir un archivo nuevo en el que no existe ninguna entidad. Si el dibujo que se está editando contiene entidades (líneas, círculos, etc.), éstas formarán parte del plano final.

#### A.4.2 Distancias dieléctricas y de seguridad utilizadas por el programa.

##### A.4.2.1 General.

La disposición de equipos y configuración de las subestaciones del país están determinados básicamente por el tipo de esquema utilizado en cada nivel de voltaje, esto es, “doble barra con un interruptor” para los sectores de 230 kV y “barra principal con barra de transferencia” para los sectores de 138 y 69 kV.

En el desarrollo del programa computacional presentado en esta tesis, se han

considerado distancias mínimas y recomendadas. Las mínimas se han establecido de acuerdo a las dimensiones de los equipos y a las distancias mínimas fase–fase y fase–tierra dadas en la tabla A-3. Estas distancias son corregidas si la altura del sitio supera los 1000 m sobre el nivel del mar.

Nivel de Voltaje (kV)	Distancia fase–tierra (metros)	Distancia fase–fase (metros)
69	0.63	0.72
138	1.1	1.27
230	1.5	1.73

Tabla A - 3. Distancias mínimas fase–tierra y fase–fase.

Para las distancias recomendadas se han considerado las distancias fase–fase y fase–tierra específicas para el nivel de aislamiento seleccionado por el usuario y las distancias de circulación. Además, como una referencia se presentan las distancias usadas por el INECEL.

#### A.4.2.2 Patio de 69 kv.

En la figura A-12 se presenta una vista en planta del patio y en la figura A-13 se presenta una posición típica de línea para 69 kV. En estas figuras se presentan las distancias:  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ ,  $d_5$ ,  $d_6$ , que corresponden a distancias entre barras la primera, y entre electrodos de equipos, las siguientes. Además se muestran las distancias:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ , que son las que existen entre puntos medios de equipos.

En la figura A-13 también se puede apreciar las alturas de barras y de estructuras de llegada de líneas,  $h_b$  y  $h_e$ .

El usuario del programa podrá modificar cualquiera de estas distancias.

En cuanto al vano de las barras, INECEL para los de patios de 69 kV ha previsto módulos de cuatro posiciones (bays). Cada posición ocupa un ancho de 8 m. entre ejes dando un total de 32 m. para cada módulo. Este será el vano usado para el cálculo de la flecha de las barras, para este nivel de voltaje.

El programa permite variar el vano de los cables de barras modificando la distancia  $d_6$ , sin embargo, se presume que la distancia no será considerablemente superior a los 32 m.

De esta forma, si consideramos que la flecha es del orden del 1% del vano de las barras, la flecha es de  $32 \times 0,01 = 0,32$  m.

Con estos datos, es posible establecer las distancias mínimas y recomendadas. Estas se muestran en la tabla A-4 junto con las distancias típicas de INECEL.

Se hace notar que la distancia  $D = 1.1 \cdot df-t$  y  $b = 2$ m.

El programa permite al usuario la selección del nivel de aislamiento para cada patio de maniobra. El programa de acuerdo a este dato, determina las distancias fase-tierra y fase-fase, en base a las cuales calcula las separaciones entre equipos.

Las posiciones de transferencia y de transformador, en este nivel de voltaje, son para los fines de desarrollo del programa, iguales a la posición de línea. Las diferencias reales se pueden editar por parte del usuario en el plano generado por el programa.

Distancia	Distancia MÍNIMA	Distancia RECOMENDADA	Longitud INECEL (m)
$X_1$	$1,1 * df-f_{\min} + flecha + flecha$	$1,1 df-f + flecha + flecha$	2.0
$X_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>Tal que <math>d_2 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>paso</i><sup>4</sup></li> <li>Tal que <math>d_2 = D + b</math>.</li> </ul>	3.5
$X_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>Tal que <math>d_3 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>paso</i></li> <li>Tal que <math>d_3 = D + b</math>.</li> </ul>	5.5
$X_4$	$Anchosc_2 + 0.5^{\diamond}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el la estructura estén separados una distancia <i>paso</i></li> <li><math>X_{4\min}</math></li> </ul>	3.0
$X_5$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>llega_2 + anchosc_2</math></li> <li><math>llega_2 + barrita_2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>X_{5\min} + paso</math></li> </ul>	3.0

$X_G$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tal que <math>d_6 = llega + 2 \cdot D</math></li> <li>• tal que <math>d_6 = D + b</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tal que <math>d_6 = llega + 2 \cdot D</math></li> <li>• tal que <math>d_6 = D + b</math></li> </ul>	8.0
Hb	Hseccionador + D + flecha	Hseccionador + D + flecha	7.0
He	Hb + D + flecha	Hb + D + flecha	10.0

Tabla A - 4. Distancias para patios de 69 kV.

Notas:

1. Cuando al definir una distancia mínima o recomendada, se presentan más de una alternativa, se escoge el valor más alto.
2. Se debe tener en cuenta que en el caso de distancias mínimas, la distancia "D" considera la mínima distancia fase-tierra, es decir la que ha sido tomada de la tabla A-3, de acuerdo al nivel de voltaje del patio. Como ya se ha dicho antes, esta distancia es corregida por el programa para instalaciones en sitios cuya altura es superior a los 1000 m.

En el caso de distancias recomendadas, se considera la distancia fase-tierra ingresada por el usuario, a través del nivel de aislamiento.

3. En la tabla A-4 aparecen algunas variables cuyo significado se define a continuación:

Llega      Ancho de la estructura de llegada de las líneas de transmisión.

Anchosec    Ancho del seccionador

Barrita      Ancho de la estructura que sostiene las barras.

Estas variables, en algunos casos terminan con el número 2. Esto significa que es la mitad del valor que representa. Por ejemplo, *llega2* es la mitad del ancho de la estructura de llegada de las líneas de transmisión.

- ❖ La distancia de 0.5 m es una distancia para permitir la curvatura del cable que descende de la estructura de llegada de la línea y se conecta con el seccionador.
- La distancia paso corresponde al ancho del pasillo o camino de acceso, definido en la norma VDE 0101/4.71 como 1m mínima.

Estas notas son válidas también para los patios de 138 y 230 kV.

## A.4.2.3 Patio de 138 kV.

El cálculo de las distancias en este nivel de voltaje se basa en el mismo procedimiento expuesto en el caso de patios de 69 kV, debido a que los dos niveles de voltaje utilizan el mismo esquema de barras: barra principal y de transferencia.

Las principales diferencias entre estos dos niveles de voltaje son:

1. En el patio de 138 kV existe una trampa de onda que se utiliza con propósitos de comunicaciones. La ubicación de este equipo no requiere considerar distancias dieléctricas ni de seguridad y no aparece en el plano generado por el programa.
2. Las estructuras para el nivel de voltaje de 138 kV, tienen un ancho mayor para los pórticos de llegada de las líneas y para las estructuras que sostienen las barras, respecto del patio de 69 kV.

Por otro lado, El INECEL ha dispuesto módulos de 4 posiciones (bays). Cada posición ocupa un ancho de 12 metros entre ejes, dando un total de 48 metros para cada módulo.

Por lo tanto, la flecha de los cables en las barras, usando el criterio expuesto anteriormente, es de 0,48 m.

Distancia	Distancia MÍNIMA	Distancia RECOMENDADA	Longitud INECEL (m)
$X_1$	$1,1 * d_{f-f_{min}} + \text{flecha} + \text{flecha}$	$1,1 * d_{f-f} + \text{flecha} + \text{flecha}$	3.5
$X_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>• Tal que <math>d_2 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>paso</i></li> <li>• Tal que <math>d_2 = D + b</math>.</li> </ul>	4.5
$X_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>• Tal que <math>d_3 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>paso</i></li> <li>• Tal que <math>d_3 = D + b</math>.</li> </ul>	7.0
$X_4$	$\text{Anchosc}_2 + 0.5^*$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tal que el seccionador y el la estructura estén separados una distancia <i>paso</i></li> </ul>	3.5

		• $X_{4min}$	
$X_5$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>llega_2 + anchosec_2</math></li> <li>• <math>llega_2 + barrita_2</math></li> </ul>	• $X_{5min} + paso$	3.5
$X_6$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tal que <math>d_6 = llega + 2*D</math></li> <li>• tal que <math>d_6 = D + b</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tal que <math>d_6 = llega + 2*D</math></li> <li>• tal que <math>d_6 = D + b</math></li> </ul>	12.0
Hb	Hseccionador + D + flecha	Hseccionador + D + flecha	9.0
He	Hb + D + flecha	Hb + D + flecha	15.0

Tabla A - 5. Distancias para patios de 138 kV.

## A.4.2.4 Patio de 230 kV.

Según el INECEL, este patio se forma con módulos de 3 posiciones. Cada posición ocupa un ancho de 17 metros entre ejes, dando un total de 51 metros para cada módulo.

La flecha en las barras es:  $51 \times 0,01 = 0,51$  m.

En las figura A-14 se muestra la planta típica, mientras que en las A-15, A-16 se presentan las posiciones típicas de línea y de transferencia, respectivamente. En estas figuras, las distancias sobre las que el usuario tiene control han sido designadas con las letras d y x. Las alturas h también pueden ser manejadas por el usuario.

En la tabla A-6 se resumen los valores de las distancias mínimas, recomendadas y las utilizadas por el INECEL para patios de 230 kV.

Distancia	Distancia MÍNIMA	Distancia RECOMENDADA	Longitud INECEL (m)
$X_1$	Tal que el TP y el pararrayos estén juntos	$X_{1min} + paso$	3.0
$X_2$	Tal que el pararrayos y la trampa de onda estén juntos	$X_{2min} + paso$	3.5
$X_3$	$Anchosec2 + trampax2 + 0.5^{**}$	Tal que el seccionador y la trampa de onda estén separados una distancia <i>paso</i>	6.0
$X_4$	$0.4 + anchosec2 + lac - dsec2^{**}$	$X_{4min}$	3.0

$X_5$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>Tal que <math>d_5 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>passo</i></li> <li>Tal que <math>d_5 = D + b</math>.</li> </ul>	3.0
$X_6$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>Tal que <math>d_6 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>passo</i></li> <li>Tal que <math>d_6 = D + b</math>.</li> </ul>	6.0
$X_7$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>0.5 + \text{anchosec}2</math></li> <li><math>0.5 + \text{anchosec}2 + 1,1 * df-f_{\min} + \text{flecha} - 4.0^{\dagger}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>X_{7\min}</math></li> <li><math>0.5 + \text{anchosec}2 + 1,1 * df-f - 4.0</math></li> </ul>	12.0
$X_8$	$1,1 * df-f_{\min} + \text{flecha} + \text{flecha}$	$1,1 * df-f + \text{flecha} + \text{flecha}$	4.5
$X_9$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que los electrodos del seccionador y del interruptor estén lo más cerca posible.</li> <li>Tal que <math>d_9 = D + b</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tal que el seccionador y el interruptor estén separados una distancia <i>passo</i></li> <li>Tal que <math>d_9 = D + b</math>.</li> </ul>	6.0
$X_{10}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>tal que <math>d_{10} = \text{llega} + 2 * D</math></li> <li>tal que <math>d_{10} = D + b</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>tal que <math>d_{10} = \text{llega} + 2 * D</math></li> <li>tal que <math>d_{10} = D + b</math></li> </ul>	17.0
Hb	$H_{\text{seccionador}} + D + \text{flecha}$	$H_{\text{seccionador}} + D + \text{flecha}$	12.0
He	$H_b + D + \text{flecha}$	$H_b + D + \text{flecha}$	18.0

Tabla A - 6. Distancias para patios de 230 kV.

Notas:

- En la tabla A-6 aparecen variables adicionales a las mencionadas en las tablas A-4 y A-5. A continuación se indica su significado:

trampax2 Mitad del ancho de la trampa de onda.

lac Longitud de la cadena de aisladores que sujetan los cables de la línea de transmisión a la estructura de soporte.

dsec2 Distancia entre el punto terminal del bushing al centro del seccionador.



- ⊗ La distancia de 0.5 m es para permitir la conexión entre la línea de transmisión y la trampa de onda.
- ⊗ La distancia de 0.4 m es para garantizar la posibilidad de conexión entre la línea de transmisión y el costado derecho de la trampa de onda.
- ⊕ la distancia 0.5 m es para permitir la curvatura del cable vertical que conecta el seccionador con los cables horizontales que están sobre él. La distancia 4.0 m es la distancia entre el centro de la estructura que sostiene las barras y el cable de la fase más cercana a dicha estructura (ver figura A-15).

#### A.4.2.5 Patio de transformadores.

En el caso de unidades trifásicas la instalación de los transformadores no reviste ninguna particularidad que merezca resaltarse. Cuando se instalan bancos de unidades monofásicas, se ha previsto siempre la existencia de una unidad de reserva, la misma que permanece conectada a barras auxiliares desenergizadas de voltaje mayor y menor.

Si existe un solo banco de transformadores monofásicos, la unidad de reserva se ubica en uno de sus extremos. Si existen dos bancos, está ubicada en medio de los dos bancos cuyas unidades pretende reemplazar.

Para el patio de transformación el INECEL no ha establecido distancias típicas, como en el caso de los patios de maniobra analizados previamente, porque las distancias dependen principalmente del tamaño de las unidades de transformación, que a su vez depende de la potencia y de los niveles de voltaje para los que está diseñado.

Además es importante mencionar que el nivel del terreno sobre el que se construyen los patios de voltaje mayor, voltaje menor y de transformación generalmente no es el mismo, sino que existen diferencias de nivel entre uno y otro patio. Por esta razón la altura de las estructuras que sostienen los cables que conectan las unidades de transformación y una posición del patio de maniobra merece un análisis particular en cada proyecto.

En las figuras A-17 y A-18 se muestra un banco de transformadores monofásicos visto en planta y en perfil. Aquí se pueden apreciar las distancias que pueden ser editadas por el usuario y que se resumen en la tabla A-7.

Distancia	Distancia MÍNIMA	Distancia RECOMENDADA
-----------	------------------	-----------------------

$d_1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>dy_{trafo} + 2 * \text{paso} + \text{llega}</math></li> <li>• <math>2 * \{dy_{electrodoalto} + D + \text{llega2}\}</math></li> <li>• <math>2 * \{dy_{electrodobajo} + D + \text{llega2}\}</math></li> </ul>	$d_{1min}$
$d_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>dx_2 + \text{paso} + \text{barrita2}</math></li> <li>• <math>dx_{electrodo} + D + b + \text{barrita2}</math></li> </ul>	$d_{2min}$
$d_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>dx_3 + \text{paso} + \text{barrita2}</math></li> <li>• <math>dx_{electrodo} + D + b + \text{barrita2}</math></li> </ul>	$d_{3min}$
hb	$H_{trafo} + 0.5^\dagger$	hb PATIO DE VOLTAJE MAYOR
he	$hb + D + \text{flecha}$	he PATIO DE VOLTAJE MAYOR

Tabla A - 7. Distancias en un banco de transformadores monofásicos.

Notas:

1. Las variables incluidas en la tabla A-7 y cuyo significado no se ha explicado previamente, son presentadas en la figura A-20.
  2. La distancia fase-tierra usada es la que fue aceptada en el patio de voltaje mayor. El valor de la flecha también adopta el usado en el mencionado patio.
- † la distancia de 0.5 es para permitir la conexión de la unidad de reserva con las barras auxiliares.

El caso de unidades trifásicas es más sencillo de analizar como se puede apreciar en la figura A-19 donde se representan dos unidades trifásicas. Las distancias involucradas en este tipo de unidades se presentan en la tabla A-8.

Distancia	Distancia MÍNIMA	Distancia RECOMENDADA
$d_1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>dy_{trafo} + 2 * \text{paso} + \text{llega}</math></li> <li>• <math>2 * \{dy_{electrodosalto} + D + \text{llega2}\}</math></li> <li>• <math>2 * \{dy_{electrodosbajos} + D + \text{llega2}\}</math></li> </ul>	$d_{1min}$
he	$h_{trafo} + D + \text{flecha}$	he PATIO DE VOLTAJE MAYOR

Tabla A - 8. Distancias en transformadores trifásicos.

#### A.4.2.6 Distancias entre patios.

Para definir la distancia entre los patios de voltaje mayor, de transformación y de voltaje menor, se debe considerar la posibilidad de que vehículos (camionetas) que ingresen a la subestación circulen entre estos patios. En las figuras A-21 y A-22 se ha representado con "X" el espacio destinado a la circulación de vehículos.

Considerando que este espacio debe ofrecer la suficiente comodidad a los vehículos, en este trabajo se asume una distancia de 5 m entre el patio de voltaje mayor y el de transformación y de 5 m entre éste y el de voltaje menor.

Es conveniente resaltar el hecho de que para la determinación de estas distancias no hace falta considerar la seguridad de los vehículos desde el punto de vista eléctrico, sino únicamente prever el espacio suficiente para que el vehículo pueda circular con facilidad.

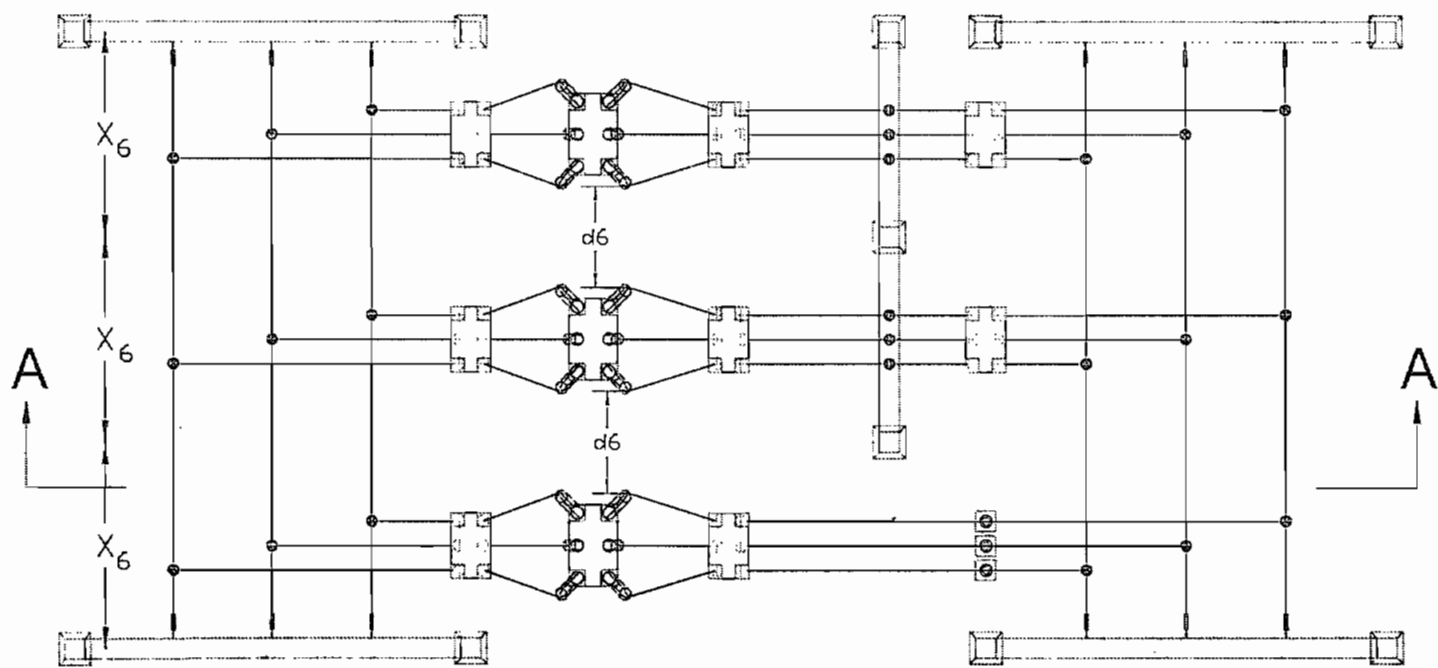


Figura A - 12. Planta típica de los patios de 69 kV y 138 kV.

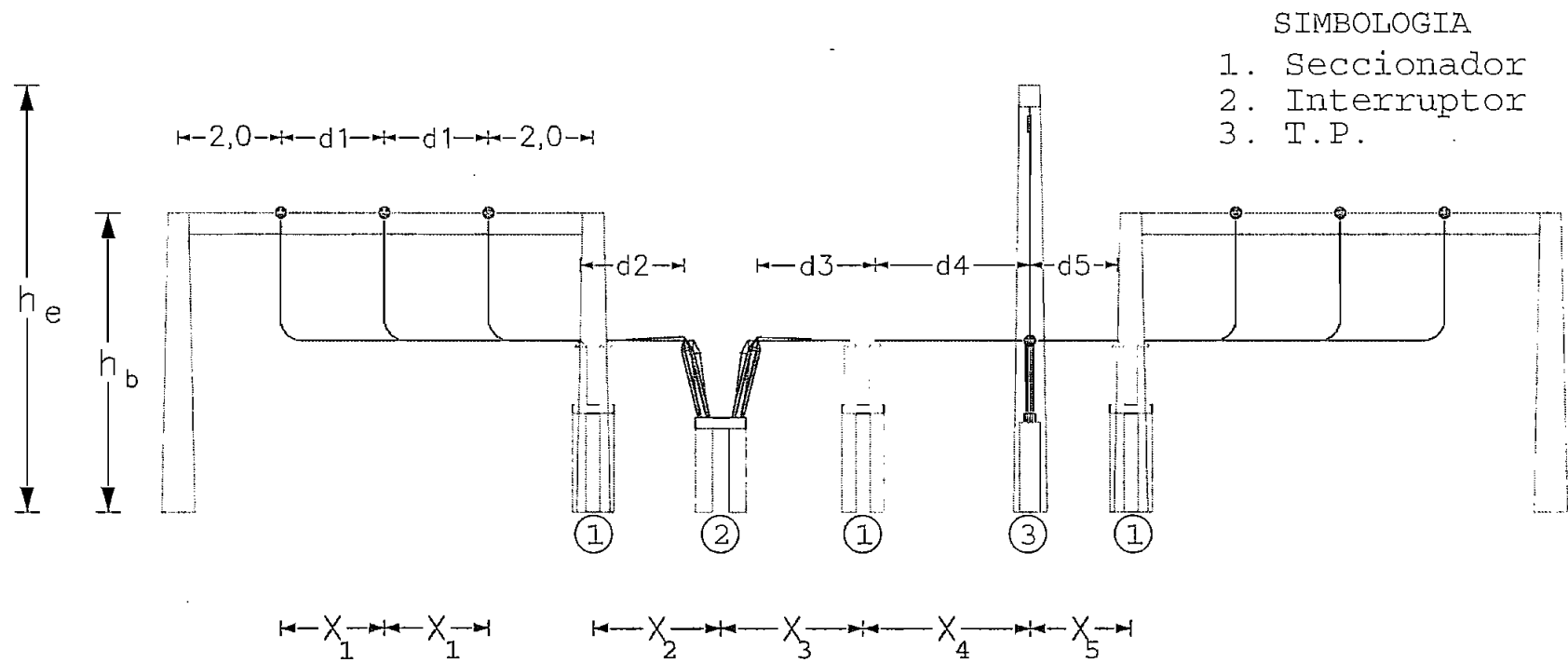


Figura A - 13. Posición típica de los patios de 69 y 138 kV. (corte A-A)

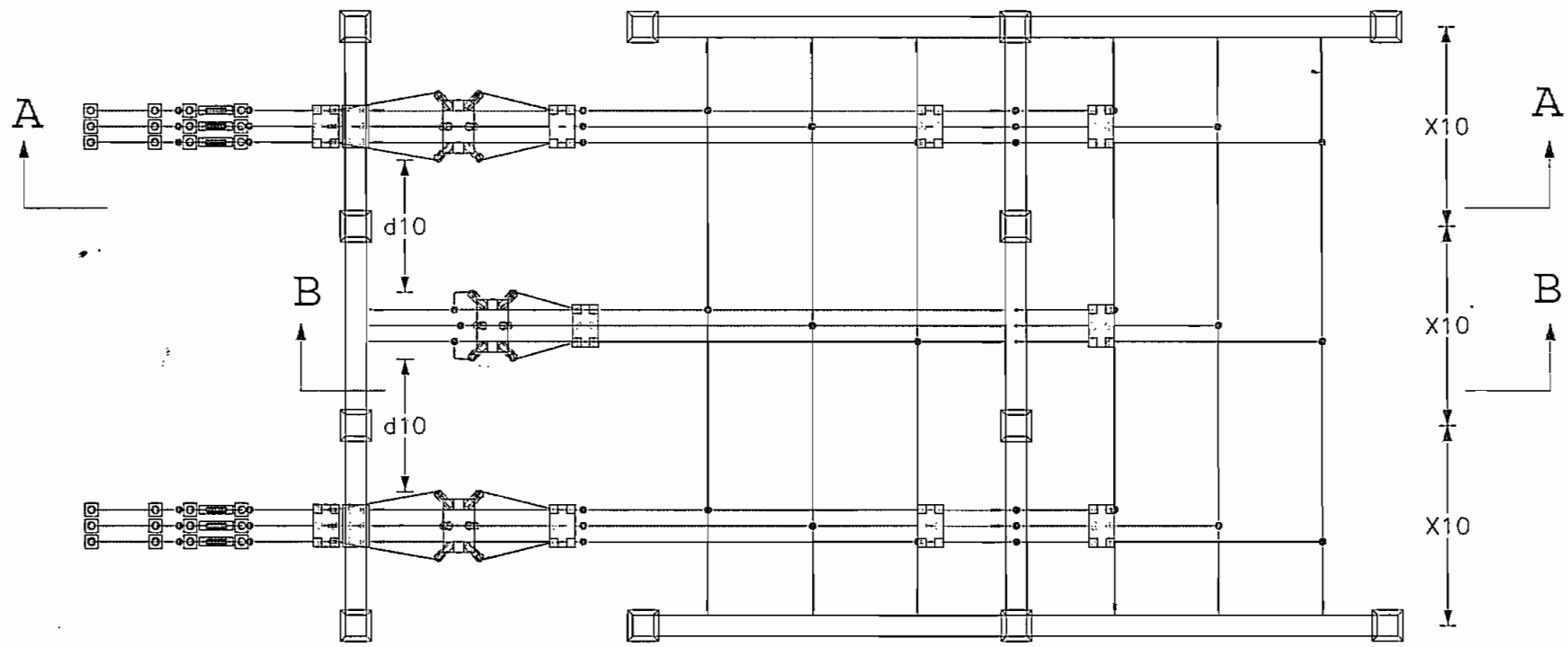


Figura A - 14. Planta típica de un patio de 230 kV.

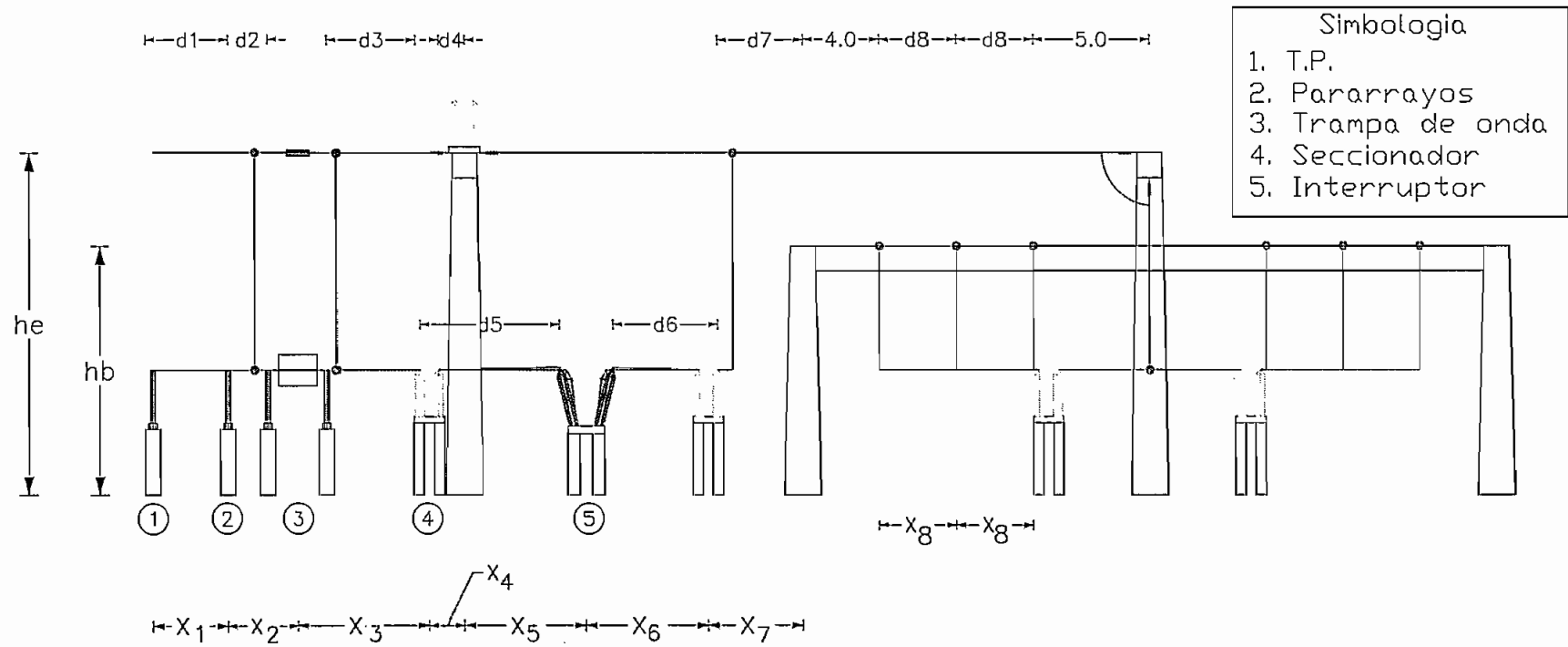


Figura A - 15. Posición de línea típica de un patio de 230 kV (corte A-A).

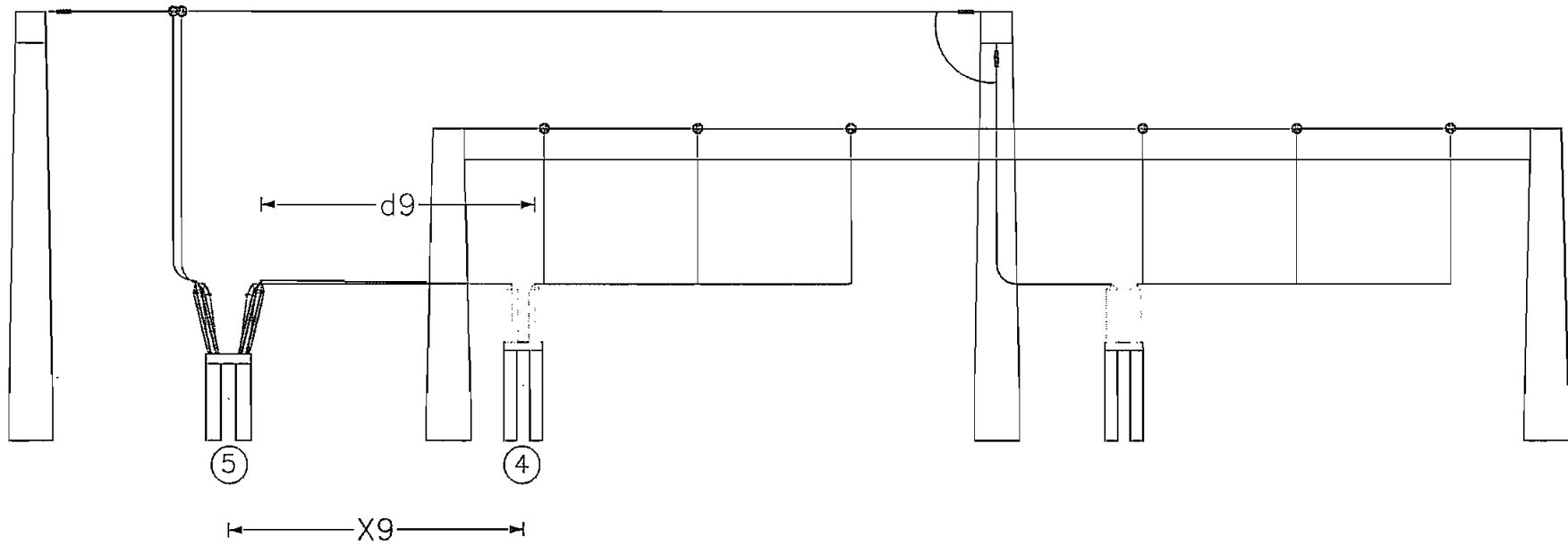


Figura A - 16. Posición de acoplamiento típica de un patio de 230 kV (corte B-B).



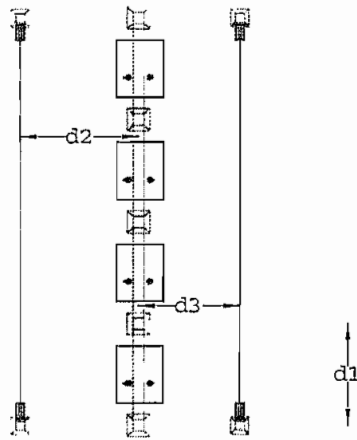


Figura A - 17. Planta de un banco de transformadores monofásicos.

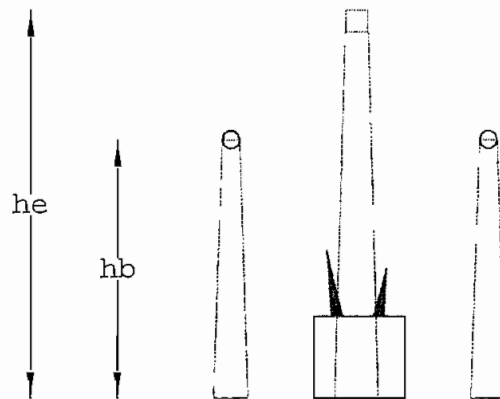


Figura A - 18. Vista de un banco de transformadores monofásicos.

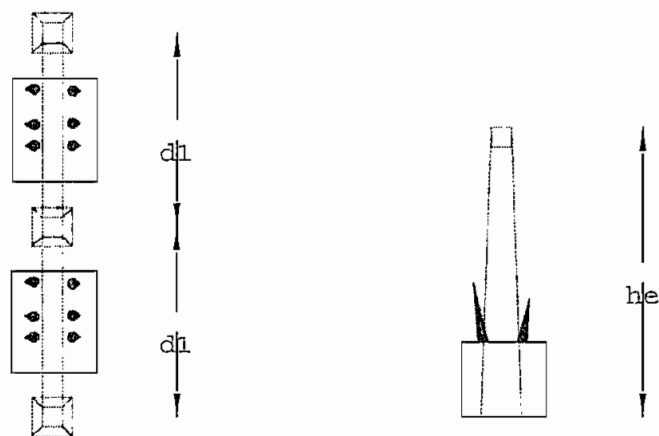


Figura A - 19. Planta y vista de transformadores TRIFÁSICOS.

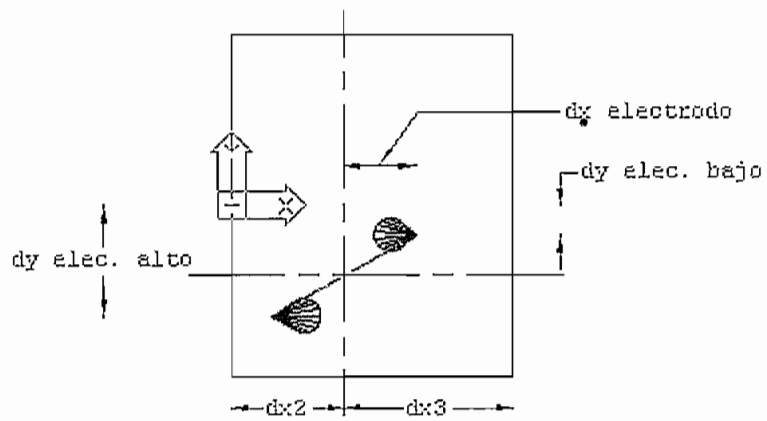


Figura A - 20. Variables que definen distancias en un transformador monofásico y que son usadas en la tabla A-6.

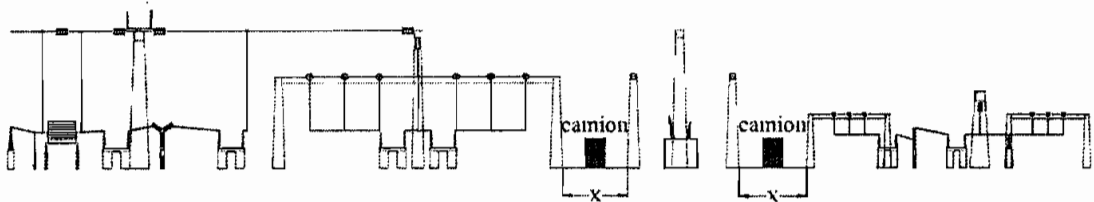


Figura A - 21. Zonas de circulación. Transformadores monofásicos.

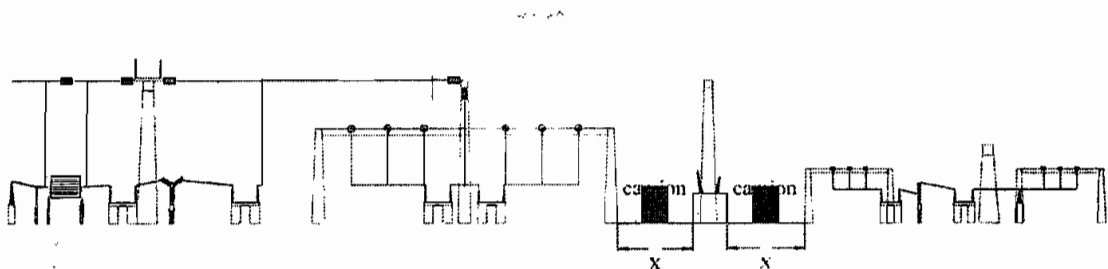
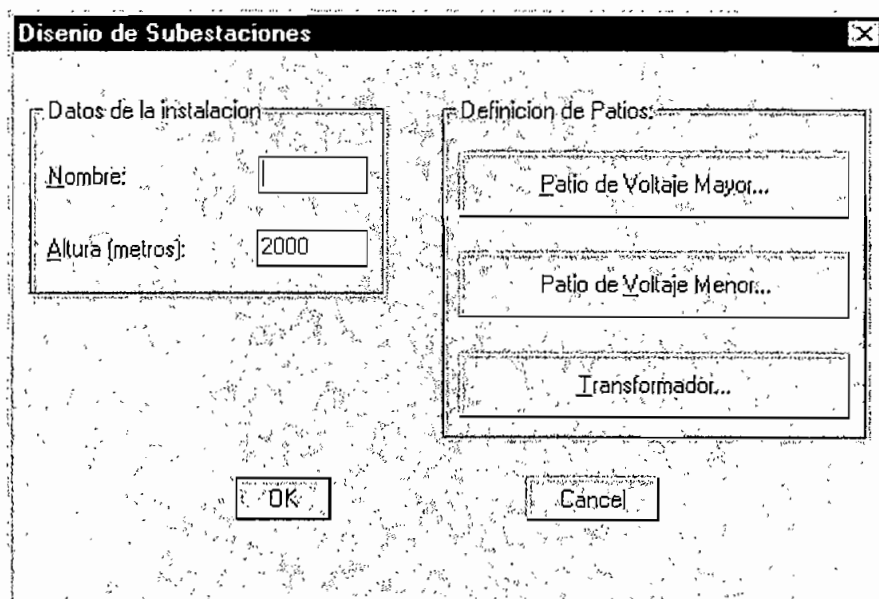


Figura A - 22. Zonas de circulación. Transformadores trifásicos.

### A.4.3 Comando *dds*.

El comando *dds* visualiza la caja de diálogo “Diseño de subestaciones” que se muestra en la figura A-23.



**Figura A - 23.** Caja de diálogo Diseño de Subestaciones.

A continuación se detalla el significado de los elementos de esta caja de diálogo.

#### **Nombre.**

Es el nombre de la subestación. Puede ser una cadena alfanuméricas de hasta 10 caracteres. El archivo gráfico de AutoCAD y otros archivos de texto se guardarán con este nombre.

Si se ingresa el nombre de una subestación existente, el programa la sobrescribirá sin dar ningún mensaje de alerta al usuario. Por esta razón, se debe tener la precaución de obtener respaldos de los archivos que el programa ha generado y se consideran definitivos.

#### **Altura.**

Es la altura en metros sobre el nivel del mar del sitio donde se instalará la estación. Se permite un número entre 0 y 4000.

#### **Botón “Patio de Voltaje Mayor...”**

Este botón visualiza la caja de diálogo “Patio de Voltaje Mayor” que se muestra en la

figura A-24.

### Botón “Patio de Voltaje Menor...”

Este botón visualiza la caja de diálogo “Patio de Voltaje Menor” que se muestra en la figura A-28.

### Botón “Transformador...”

Este botón visualiza la caja de diálogo “Patio de Transformadores” que se muestra en la figura A-29.

A continuación se analizan en detalle las subcajas de diálogo que definen los tres patios de una subestación.

### Patio de voltaje mayor.

Contiene los datos que el programa necesita para dibujar el patio de voltaje mayor.

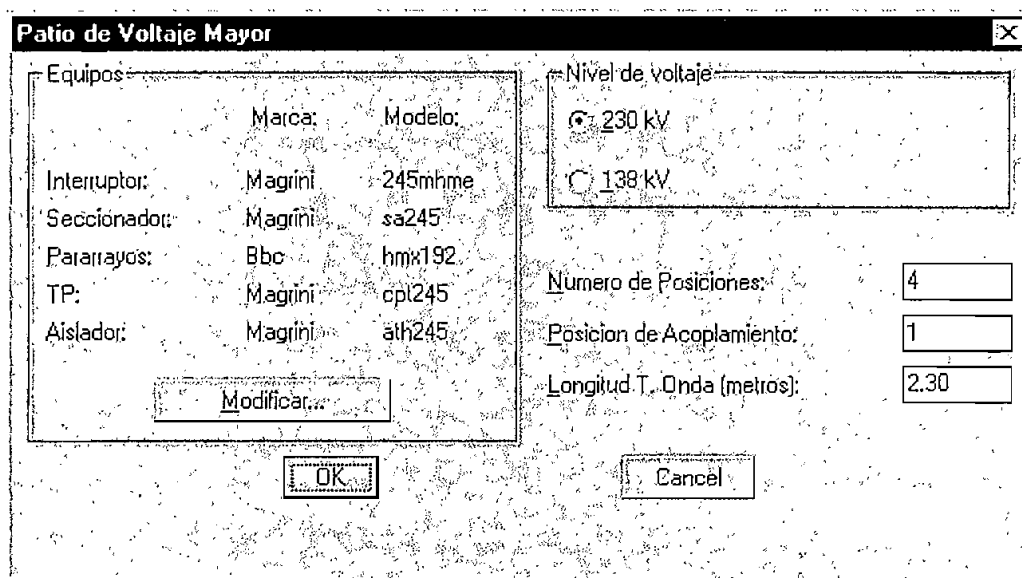


Figura A - 24. Caja de diálogo con los datos del patio de voltaje mayor.

### Equipos.

Contiene la lista de equipos que serán usados en el patio, definidos por su fabricante (marca) y su modelo. Estos equipos corresponden a los que se han modelado previamente mediante el comando *modelo*.

El usuario puede modificar esta lista de equipos picando el botón “Modificar...”, que visualiza una serie de 5 cajas de diálogo “Nombre del *Equipo*” (una por cada equipo).

Una de estas cajas se muestra en la figura A-25.

El archivo seleccionado se considerará válido si cumple dos condiciones: su nombre empieza con la inicial del equipo de que se trate y debe existir en el mismo directorio otro archivo del mismo nombre pero con extensión .lsp (que ha sido generado con el comando *modelo*). Si el archivo no cumple con estos requisitos aparecerá un letrero de advertencia como el mostrado en la figura A-26, indicando que se ha cometido un error. Además el programa no permite la cancelación de esta función, por lo que si se presiona el botón Cancel, aparecerá el letrero de la figura A-27.

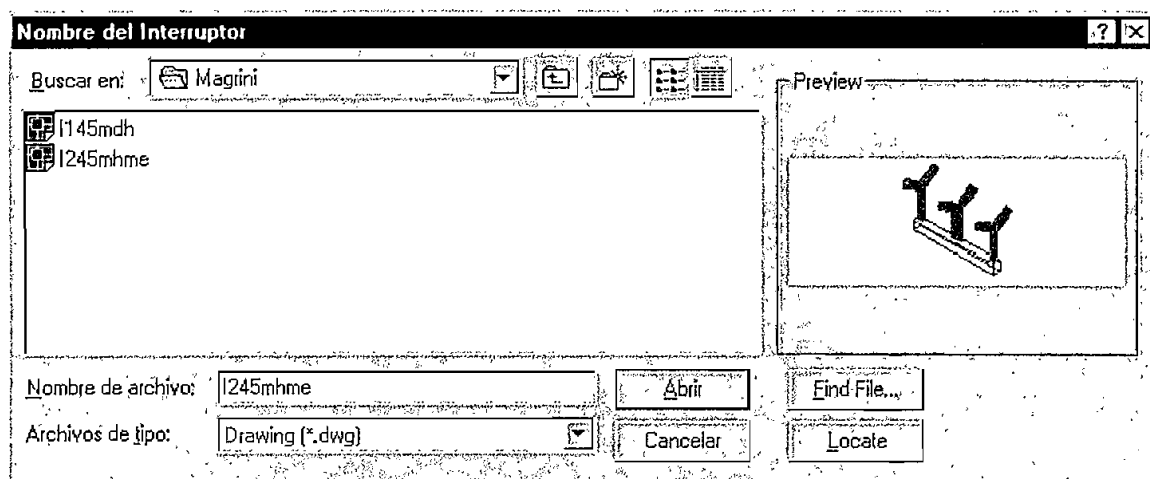


Figura A - 25. Caja de diálogo que permite seleccionar un equipo.

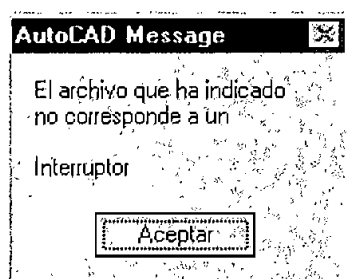


Figura A - 26. Mensaje que se visualiza cuando se indica un archivo incorrecto.



Figura A - 27. Mensaje que se visualiza cuando se hace clic en el botón Cancel de la caja de diálogo "Modificar".

### Nivel de Voltaje.

Permite escoger entre los voltajes de 230 y 138 kV.

**Número de posiciones.**

Es el número de posiciones que se construirán en este patio. Aquí no se toma en cuenta la posición de acoplamiento de barras. Se permite un número entre 1 y 8. En caso de que el usuario ingrese un número con decimales, sólo se considerará su parte entera.

**Posición de acoplamiento.**

Este elemento solo se activa cuando el nivel de voltaje seleccionado es 230 kV y corresponde al sitio donde se ubicará la posición de acoplamiento. Para esto las posiciones se cuentan desde 0 hasta "Número de posiciones", siguiendo la dirección positiva del eje Y, debido a que las posiciones son paralelas al eje X. Se acepta un número entre 0 y "Numero de posiciones".

En caso de que el nivel de voltaje seleccionado sea 138 kV, la posición de acoplamiento ocupará el sitio 0.

**Longitud T. Onda (metros).**

Igual que en el caso de la posición de acoplamiento, este elemento solo está disponible si el nivel de voltaje es de 230 kV y corresponde a la longitud de la trampa de onda que tiene una forma cilíndrica.

**Patio de voltaje menor.**

Es totalmente análogo al patio de voltaje mayor, excepto por dos hechos: a) los niveles de voltaje disponibles son 138 y 69 kV y b) no existe el elemento "Posición de Acoplamiento" debido a que en estos voltajes la posición de acoplamiento siempre se ubicará en la posición 0.

Como se puede apreciar en la figura A-28, tampoco existe el elemento "Longitud T. Onda (metros)".

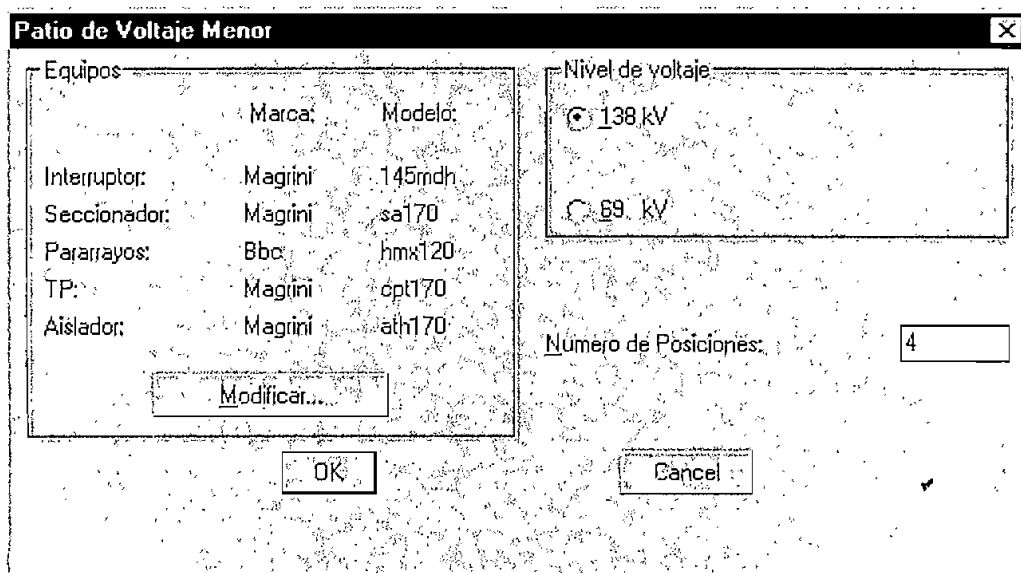


Figura A - 28. Caja de diálogo “Patio de Voltaje Menor”.

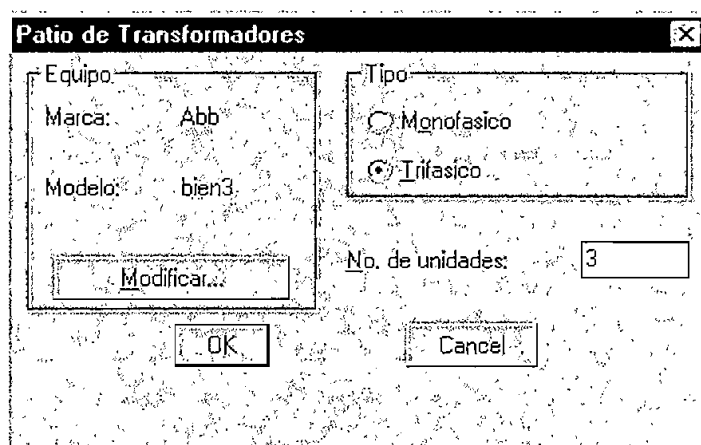


Figura A - 29. Caja de diálogo “Patio de Transformadores”.

### Patio de transformadores.

Contiene los datos que el programa necesita para dibujar el patio de transformadores.

#### **Equipo.**

Presenta la marca (fabricante) y el modelo del transformador seleccionado.

Igual que en los patios anteriores, este equipo puede ser modificado presionando el botón “Modificar...”. Si en el área Tipo se ha seleccionado Monofásico, el programa buscará en el directorio c:\equipos\trafom y si en dicha área se ha seleccionado

Trifásico, buscará en c:\equipos\trafot.

Si el transformador mostrado en el área Equipo no es del tipo seleccionado en el área Tipo, cuando se presione el botón OK, se mostrará en la parte baja de la caja un mensaje de advertencia.

#### Tipo.

Permite escoger entre un transformador monofásico o un trifásico.

#### No. de unidades.

Este elemento solo se activa cuando en el área Tipo se ha seleccionado Trifásico. En este caso, permite ingresar el número de unidades de transformación. Se permite un número entre 1 y 3. Si el número ingresado contiene decimales, el programa solo toma en cuenta la parte entera.

Cuando el tipo de transformador es monofásico, se dibujará 1 banco de cuatro unidades: tres en servicio y una en reserva.

#### A.4.3.1 Distancias en los diferentes patios.

Cuando el usuario ha aceptado todos los datos de la caja de diálogo “Diseño de Subestaciones” y presiona el botón OK, ésta desaparece para dar paso a una serie de tres cajas de diálogo (una por cada patio) en las que el programa presenta las distancias que se usarán en la ubicación de equipos.

Para los patios de voltaje mayor y menor se presentan dos tipos de distancias:

Las distancias “d” que corresponden a las separaciones entre electrodos de equipos o entre estos y estructuras metálicas.

Las distancias “X” que representan la separación entre puntos medios de equipos o entre puntos medios de equipos y estructuras.

Estas distancias han sido calculadas usando las ecuaciones expuestas en la sección A.4.2 y pueden ser editadas por el usuario, quien puede ingresar valores según su criterio, siempre que no sean menores que los mínimos. Además y como una referencia se presenta las distancias que el INECEL utiliza como típicas en sus diseños.

A continuación se analiza en detalle las cajas de diálogo que contienen estas distancias.



### Distancias en el esquema de Doble Barra.

Este esquema es válido solo para patios con nivel de voltaje de 230 kV. En las figuras A-30 y A-31 se presentan las cajas de diálogo en las que se pueden editar las distancias para estos patios.

El usuario puede editar las distancias “d” o las distancias “x”.

Ha sido necesario repartir las distancias en dos cajas de diálogo, debido al alto número de distancias que se deben manejar en este esquema de barras.

En estas cajas se puede observar el manejo de los errores:

- Se muestra una alerta amarilla cuando el usuario ingresa un valor que no es un número real.
- Alerta roja si el valor ingresado es menor que el recomendado.

Se debe indicar que si el usuario ingresa, para una distancia, un valor menor que el mínimo, el programa asigna a esa variable el valor mínimo.

Como se indicó en la sección A.4.2, las distancias mínimas se calculan en función de las distancias mínimas entre fases y entre fase y neutro, mientras que las recomendadas se calculan en base al valor que el usuario ha asignado a estas variables. Además se consideran los espacios de circulación y las distancias que recomendadas por el INECEL.

**Distancias: Doble Barra** [X]

Patio de Voltaje Mayor: 230 kV

Distancias		INECEL	Xusuario
d1:	1.68	x1: 3.00	x1rv
d2:	0.27	x2: 3.50	1.32
d3:	1.31	x3: 6.00	3.91
d4:	0.65	x4: 3.00	2.20
d5:	4.32	x5: 3.00	2.06
d6:	4.31	x6: 6.00	4.26

Ayuda:

Pos. Línea...

Pos. Transferencia...

Planta...

Siguiente >>

B(L (kV) 650 [v] Por Defecto

OK Cancel

La distancia x2 no debería ser menor que 2.32

**Figura A - 30.** Distancias que se usarán en el esquema de doble barra.

### Distancias.

Aquí constan las distancias  $d_i$  y  $x_i$  que el programa utilizará para la ubicación de los equipos.

Además y como referencia, se presentan las distancias “x” que el INECEL utiliza como distancias típicas en las subestaciones que construye.

Cuando se visualiza por primera vez, se presentan las distancias que el programa ha calculado y que constituyen las opciones por defecto. Para calcular estas distancias se han considerado los valores mínimos de  $df-f$ ,  $df-t$  y  $gc$  para cada nivel de voltaje.

### BIL.

Contiene una lista de los posibles valores que puede tomar el voltaje nominal tolerable de impulso por rayos. Este voltaje define las distancias fase-fase y fase-tierra, que a su vez son las que determinan, junto con las dimensiones del equipo, las distancias  $d_i$  y  $x_i$  que se deben respetar en el diseño de los planos.

### Por defecto.

Este botón asigna a las variables  $x_i$  y  $d_i$  los valores recomendados, tomando en cuenta

las distancias básicas fase–fase y fase–tierra actuales.

**Ayuda.**

Presenta las vistas en planta y en cortes del patio de maniobra.

**Siguiente.**

Presenta la caja de diálogo que define las distancias d7 a d10 y las alturas de las barras y las estructuras de soporte de las líneas.

**Anterior.**

Presenta la caja de diálogo que define las distancias d1 a d6.

**Distancias: Doble Barra** [X]

Patio de Voltaje Mayor: 230 kV.

Distancias		Xinecel	Xusuario
d7:	0.67	x7: 12.00	2.22
d8:	4.02	x8: 4.50	nhjuy
d9:	4.62	x9: 6.00	4.57
d10:	7.74	x10: 17.00	15.74
H barras:	8.57	H barras: 12.00	
H estr:	11.14	H estr: 18.00	

BIL (kV) 950 [v] Por Defecto

OK Cancel

La distancia x8 no es valida.

Ayuda: Pos. Línea... Pos. Transferencia... Planta... << Anterior

Figura A - 31. Distancias que se usarán en el esquema de doble barra.

### Distancias en el patio de transformadores.

Dependiendo de si los transformadores utilizados son monofásicos o trifásicos, aparecerán las cajas de diálogo “Distancias: Transformador Monofásico” (figura A-32) o “Distancias: Transformador Trifásico” (figura A-33), respectivamente.

Las distancias d1, d2 y d3 que estas cajas contienen no son tridimensionales, sino que indican la separación que existe entre los diferentes elementos en el plano X-Y. Las alturas Hbarras y Hest se suponen en un plano vertical (perpendicular al X-Y).

Igual que en el caso anterior, el usuario puede modificar estas distancias asignándoles valores mayores que los calculados por el programa.

Por defecto.

El botón Por Defecto asigna a las distancias los valores que el programa ha calculado usando las ecuaciones mostradas en la sección A.4.2.

Ayuda.

Presenta las vistas en planta y en cortes del patio de transformación.

**Distancias: Transformador Monofasico.**

Distancias:

d1:	9.15
d2:	5.79
d3:	6.59
H barras:	7.34
H estr:	9.69

Por Defecto

Ayuda...

OK Cancel

Figura A - 32. Caja de diálogo “Distancias: Transformador Monofásico”.

**Distancias: Transformador Trifasico.**

Distancias:

d1:	9.27
H estr:	9.69

Por Defecto

Ayuda...

OK Cancel

Figura A - 33. Caja de diálogo “Distancias: Transformador Trifásico”.

### Distancias en el esquema de Barra Principal y de Transferencia.

La caja de diálogo que controla estas distancias se muestra en la figura A-34, y es totalmente similar a la caja “Distancias: Doble Barra” ya analizada.

Igual que en el caso anterior, se presentan las distancias  $d_i$  y  $x_i$  junto con las distancias

típicas del INECEL. El usuario puede modificar cualquiera de estas distancias o modificar las distancias básicas  $df-f$  y  $df-t$ , seleccionando los posibles valores de BIL, aunque no puede ingresar valores menores que los mínimos.

El manejo de errores en la edición de estas distancias es el mismo que se dio en el caso del esquema de Doble Barra.

**Distancias: Barra Principal y Transferencia**

Patio de Voltaje Menor: 138 kV

Distancias		Xinecel	Xusuario
d1:	2.38	x1:	3.50
d2:	3.43	x2:	4.50
d3:	3.47	x3:	7.00
d4:	2.17	x4:	3.50
d5:	2.17	x5:	3.50
d6:	4.49	x6:	12.00
H barras:	6.25	H barras:	9.00
H estr:	8.15	H estr:	15.00

BIL (kV) 450

Por Defecto

OK Cancel

La distancia x1 no es valida.

Figura A - 34. Caja de diálogo “Distancias: Barra Principal y Transferencia”.

#### A.4.4 Resultados del comando *dds*.

Si se está diseñando la subestación “*nombre*”, como resultado del uso de este comando se tendrán tres archivos:

*Nombre.dwg*- Archivo gráfico de AutoCAD que contiene el plano tridimensional de la subestación.

*Nombre.lsp*- En este archivo se encuentra información sobre las principales características de la subestación; datos ambientales, equipos de los tres patios y anchos de las estructuras. Además se incluye la altura de las estructuras de soporte de los diferentes equipos.

*Nombred.lsp*.- Como se ha manifestado anteriormente, los equipos deben asentarse sobre el suelo en una estructura metálica, cuya altura se calcula en el programa. El archivo *nombred.lsp* contiene los datos actualizados (considerando esta estructura) de los puntos terminales de los bushings de todos los equipos usados en la subestación. Estos puntos tienen como referencia las mismas coordenadas X e Y que tenía el equipo antes de añadirsele la estructura de soporte. La coordenada Z del origen del plano cartesiano es 0.

Además en este archivo se incluyen las variables *equis* e *ye* para cada patio. En estas variables se indican las coordenadas X e Y del punto de inserción de los equipos de cada patio respecto al origen cartesiano utilizado en los diferentes patios. Este origen ha sido señalado con un punto azul en cada patio.

Este archivo puede resultar útil para un análisis gráfico de la malla de puesta a tierra o de apantallamiento de la subestación, ya que teniendo los puntos de inserción de los equipos y las coordenadas de los terminales de sus aisladores, es fácil obtener la ubicación de dichos terminales respecto a cualquier origen de coordenadas.

Un ejemplo del uso de este comando se presenta en el Anexo C.

#### A.4.5 Utilidades del programa.

Una vez obtenido el plano generado por el programa, el usuario puede editarlo según su criterio usando los comandos de AutoCAD, ya que este plano es un archivo con el formato de AutoCAD R.14.

Se han considerado dos posibilidades de edición bastante útiles, que se describen a continuación.

##### 1. Inserción de las estructuras que sostienen las barras en los patio de maniobras.

Como se indicó en la sección A.4.2, para la definición de la flecha en los cables de las barras, se ha considerado grupos de posiciones, en cuyos extremos existe una estructura que sostiene un tramo de las mencionadas barras. El plano resultante de usar el comando *dds* no incluye estas estructuras, pero genera dos bloques, “*estra*” y “*estrb*” que corresponden a estas estructuras para los patios de voltaje mayor y menor junto con los aisladores de cadena en que se sujetarán los tramos de barra. Además incluye dos líneas al extremo de los aisladores, que permiten que los cables de las barras sean divididos en tramos mediante el uso del comando de AutoCAD

“*trim*”. Estas líneas se encuentran en la capa *te\_aux* y pueden ser borradas u ocultadas, ocultando la capa en que se encuentran.

La inserción de estos bloques puede realizarse de forma manual (usando el comando *insert* de AutoCAD) o mediante los comandos *estra* y *estrb*, que se incluyen en el archivo *dds.lsp*.

El punto de inserción de estos bloques es el punto medio de la estructura.

## 2. Definir cables entre los patios de maniobra y el patio de transformación.

De una de las posiciones de cada patio salen tres cables hacia el patio de transformación y servirán para conectar los patios de maniobra con el transformador. El comando *dds* no dibuja estas líneas, por lo que el usuario deberá utilizar el comando *3c* que también se incluye en el archivo *dds.lsp*.

Este comando pide que se indiquen 6 puntos que corresponden a los extremos de las líneas, en el orden indicado en la figura A-35.

Los comandos *estra*, *estrb* y *3c* están disponibles luego de usar el comando *dds*. Si se desea usarlo en otro momento, se debe cargar el archivo *dds.lsp* escribiendo en la línea de comandos del AutoCAD la expresión:

```
(load "c:\\dds\\dds") ↵
```

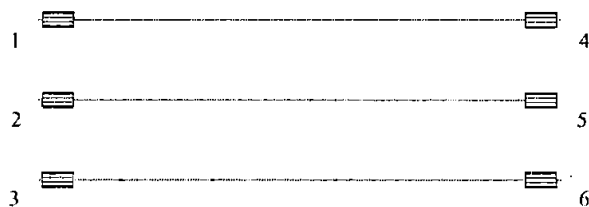


Figura A - 35. Puntos solicitados por el comando *3c*.

Tanto para insertar las estructuras como para establecer las líneas entre una posición del patio maniobra y el patio de transformadores, el plano generado con el comando *dds* incluye puntos en los sitios adecuados. El color de estos puntos se ha escogido suponiendo que el fondo de la pantalla de AutoCAD es de color negro.

Además se han creado bloques de los equipos utilizados en el diseño de la subestación y

que pueden ser insertados por el usuario en los patios de operación. Estos bloques tienen un nombre formado por la inicial de su nombre, la letra “a” ó “b” dependiendo de si corresponde al patio de voltaje mayor o menor y la letra “s” si el equipo no incluye la base de soporte.

Finalmente y más que como una utilidad, a manera de sugerencia, se debe indicar que el programa ha sido probado y depurado muchas veces y aunque no se puede garantizar que esté exento de errores, es muy probable que al presentarse problemas en su ejecución, estos se deban a errores en la obtención del modelo del equipo, o se produzcan por no cumplir los requisitos indicados anteriormente para el gráfico del equipo.

Cuando se presentan problemas es conveniente modelar nuevamente los equipos mediante el comando “*modelo*” o revisar los archivos con extensión .lsp que se han obtenido previamente y verificar la simetría de todos los equipos, excepto del transformador de potencia.

#### A.4.6 Limitaciones del programa.

Aunque se ha intentado que el programa genere un plano lo más cercano a la realidad y constituya un auténtico plano “as-built”, tiene algunas limitaciones en detalles que se han considerado triviales o que confundirían al usuario haciendo el uso del programa demasiado complicado y molesto, o que requerirían un esfuerzo demasiado grande de parte del programador o del usuario, para conseguir resultados que no lo justifican.

- Algunas de estas limitaciones se detallan a continuación:
- La modelación de la trampa de onda, para los patios que usan el esquema de Doble Barra solo considera la longitud de la bobina de bloqueo y no se considera ni su radio ni la estructura con que se asienta en el suelo, que se considera tiene una altura igual a la del pararrayos. Además se ha asumido que se tiene una trampa de onda por fase y por línea de transmisión, cuando en la realidad generalmente se usan en una o dos fases de cada línea.
- En los patios con esquema de barras Barra Principal y Transferencia, no se ha considerado la existencia de la trampa de onda, ya que al ubicarse verticalmente debajo de la estructura en que se sostienen los cables de las líneas de transmisión, no influye en el dimensionamiento general del patio.



- En los patios de maniobra no se ha incluido el transformador de corriente ya que por ubicarse junto al interruptor, se ha considerado que tampoco influye en la ubicación de los equipos en la subestación.
- Los cables que conectan los diferentes equipos, en el plano aparecen como totalmente rectos, sin embargo, en la realidad éstos tienen una curvatura para evitar el efecto corona, para permitir su conexión en los bornes de los equipos o como efecto de su propio peso o el de cables conectados a ellos.

A pesar de estas limitaciones, el plano y las separaciones entre equipos generados por el programa cumplen con el objetivo de respetar las distancias de aislamiento y de seguridad.