

1984
BIBLIOTECA
ELEC-027

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"CALCULO COMPUTARIZADO DE LAS PERDIDAS DE TRANSMISION
EN LA PROPAGACION DE SEÑALES DE MUY ALTA FRECUENCIA"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION : ELECTRONICA

PRESENTADA POR :

JOSE GERMAN LOPEZ MONCAYO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1984

DEDICATORIA

- A MIS PADRES

- A MI ESPOSA

- A MIS HIJOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Pedro Carlo Paredes". The signature is fluid and cursive, with a large initial "P" and a long horizontal stroke at the end.

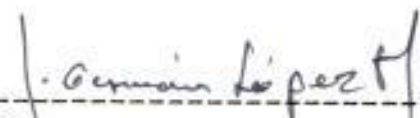
ING. PEDRO CARLO PAREDES
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

SECRETARIA DE EDUCACION Y CULTURA DEL LITORAL
Escuela Superior Politécnica del Litoral
E.S.P.O.L.
ELEC-023

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



JOSE GERMAN LOPEZ MONCAYO

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio de los fundamentos básicos sobre la propagación de señales de muy alta frecuencia y de las causas más comunes que originan pérdidas de transmisión o atenuación de dichas señales.

Luego usando un programa de computadora se calcula la atenuación que sufre una señal en un sistema de comunicaciones línea de vista. Los cálculos que se realizan cubren todas las direcciones posibles de propagación para lo cual se consideran 72 trayectorias radiales igualmente espaciadas que parten de la estación transmisora.

Los detalles del terreno a lo largo de cada trayectoria se obtienen de un mapa topográfico, el cual ha sido subdividido por medio de una cuadrícula formando pequeños elementos, asignándosele a cada uno de dichos elementos una altura representativa de la altura real del terreno. Esta información se encuentra almacenada en una matriz altura/distancia.

El programa recorre entonces cada una de las trayectorias radiales, por turno, y reconstruyendo el perfil del terre-

no a partir de la matriz altura/distancia, evalúa la atenuación de la señal a intervalos regulares predeterminados.

Para estimar las pérdidas de transmisión se utiliza un modelo de propagación adecuado, y para simplificar un poco el problema se considera que la propagación se realiza en el espacio libre puesto que en un sistema práctico de comunicaciones línea de vista, la señal tiene valores muy cercanos a los de una señal similar que se propaga por el espacio libre.

Cuando sea el caso, el modelo adoptado equivalente a la transmisión en el espacio libre es modificado para considerar los efectos atmosféricos y/o del terreno.

El programa ofrece otras opciones de ejecución a la ante riormente descrita pudiendo ejecutarse los cálculos correspondientes a una sola trayectoria escogida de antemano obte niéndose también si se deseeare gráficas del perfil topográ fico y del nivel de atenuación sufrido por la señal en di cha trayectoria, o simplemente obtener un listado de las al turas representativas con indicación de su posición referen te al mapa índice nacional.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INTRODUCCION.....	10
I. FUNDAMENTOS BASICOS DE LAS COMUNICACIONES PARA VARIOS TIPOS DE PROPAGACION.....	12
1.1. Ondas del cielo y Ondas de tierra.....	13
1.2. Sistemas de Línea de vista.....	15
1.3. Sistemas sobre el Horizonte.....	19
1.4. Propagación de las ondas de radio- frecuencia en el espacio libre.....	19
1.4.1. Ecuación de Transmisión en el espacio libre.....	20
1.4.2. Atenuación entre antenas isotrópicas.....	21
1.5. Efectos atmosféricos sobre la trans- misión en el espacio libre.....	24
1.5.1. Absorción Atmosférica.....	24
1.5.2. Dispersión debido a lluvia o neblina.....	26
1.5.3. Refracción Atmosférica.....	27
1.6. Efectos del terreno sobre la trans- misión en el espacio libre.....	27
1.6.1. Efectos de obstáculos.....	28

	Pág.
1.6.2. Reflexión sobre el terreno.....	33
II. EVALUACION DE LAS PERDIDAS DE TRANSMISION EN UN SISTEMA DE LINEA DE VISTA.....	35
2.1. Definición.....	36
2.2. Asunciones.....	48
2.3. Algoritmos.....	50
2.3.1. Opción GRABA.....	51
2.3.2. Opción LISTA.....	53
2.3.3. Opción SOLVE.....	54
2.3.4. Opción PLOT.....	60
2.4. Programas.....	67
2.4.1. LOSSES.....	67
2.4.2. GRAFI.....	75
2.5. Corridas de prueba.....	78
2.5.1. Opción LISTA.....	78
2.5.2. Opción SOLVE.....	153
2.5.3. Opción PLOT.....	253
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	283
APENDICES.....	287
BIBLIOGRAFIA.....	302

INTRODUCCION

Al diseñar un sistema de comunicaciones de microondas línea de vista, una de las tareas esenciales es determinar la trayectoria más apropiada que deberá seguir la señal.

De la correcta selección de dicha trayectoria dependerá , en gran medida, la eficiencia en la transmisión/recepción de la señal y el costo total del sistema.

Para lograr la solución óptima a este problema técnico / económico es menester estudiar varias rutas alternativas para finalmente escoger la más apropiada según las características del sistema.

Sin embargo esta tarea se torna larga y tediosa cuando se la realiza manualmente.

Reconociendo este hecho, el presente trabajo pretende, en su primera parte, ofrecer una referencia teórica sencilla de los aspectos más importantes que deberán tomarse en - consideración al diseñar un sistema de comunicaciones línea de vista, y luego como tema central, el desarrollar - un sistema computarizado que facilite el estudio del comportamiento de una señal de microondas a lo largo de va -

rias trayectorias alternativas de propagación.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS BASICOS DE LAS COMUNICACIONES PARA VARIOS TIPOS DE PROPAGACION

La mayoría de los sistemas de radiocomunicaciones por microondas en uso actualmente, caen dentro de dos categorías principales:

- 1.- sistemas de línea de vista; y,
- 2.- sistemas sobre el horizonte.

Los sistemas de línea de vista se caracterizan por usar transmisores de baja potencia sobre trayectorias que van hasta los 80 Km. de longitud por radio enlace, en sistemas de comunicaciones en tierra, aunque pueden ser también utilizados en comunicaciones por satélites sobre distancias mayores en el espacio.

Los sistemas sobre el horizonte, como su nombre lo indica, se aplican para trayectorias que van más allá del horizonte desde 80 Km. hasta 1,100 Km. por radio enlace. Requieren transmisores de mayor potencia hasta 50 Kw. o más.

Teóricamente un sistema de línea de vista puede ser exten-

dido a través de terreno favorable sin barreras naturales hasta distancias muy largas, por ejemplo 5000-6000 Km. usando varios enlaces. Sin embargo, la distancia máxima a ser cubierta por cada enlace está limitada a 80 Km. como ya se mencionó anteriormente.

Los sistemas sobre el horizonte son ampliamente utilizados en comunicaciones a larga distancia, incluso de cobertura mundial, siendo una de las principales ventajas sobre el sistema de línea de vista el hecho de que permite una comunicación confiable a través de distancias de varios cientos de kilómetros sin necesidad de estaciones repetidoras. Esto es particularmente importante cuando es preciso comunicarse a través de terreno de difícil acceso o a través del mar.

1.1. ONDAS DEL CIELO Y ONDAS DE TIERRA

La energía radiada desde una antena transmisora puede alcanzar la antena receptora a través de una de las muchas trayectorias posibles de propagación, algunas de las cuales se ilustran en la Fig. 1-1.

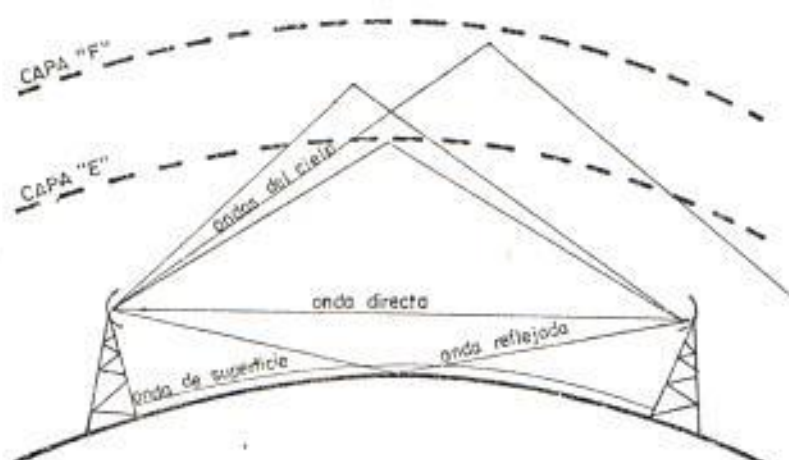


Fig. 1-1.- Algunas trayectorias posibles de propagación.

Existen ondas que llegan a la antena receptora después de reflejarse o dispersarse en las diferentes capas de la atmósfera, a estas ondas se las conoce con el nombre genérico de "ondas del cielo".

Existen otras ondas que viajan cercanas a la superficie de la tierra, las cuales son consideradas "ondas de tierra" o "terrestres".

A su vez las ondas terrestres se dividen en ondas espaciales y ondas de superficie.

La onda espacial está compuesta de una onda directa, que es la señal que viaja en trayectoria rectilínea desde la antena transmisora hasta la antena recepto

ra; y una onda reflejada, la cual es una señal que llega a la antena receptora después de haber sido reflejada sobre la superficie de la tierra.

La onda de superficie es aquella que viaja en una trayectoria paralela a la superficie de la tierra, similar a como lo hace una onda electromagnética por una gufa de onda.

Los sistemas de comunicaciones de línea de vista se valen principalmente de las ondas de tierra, y ya que la transmisión por microondas sigue esencialmente una línea recta, la trayectoria entre transmisor y receptor debe sortear cualquier obstáculo que presente el terreno. Los sistemas sobre el horizonte utilizan esencialmente las ondas del cielo, sin embargo en un sistema de línea de vista es posible encontrar componentes correspondientes a ondas del cielo, así como también en un sistema sobre el horizonte es factible que ondas de superficie se encuentren presentes.

1.2. SISTEMAS DE LINEA DE VISTA

Las comunicaciones por microondas con trayectorias -

de línea de vista tienen un amplio rango de aplicaciones que se extienden desde pequeños sistemas de telefonía hasta sistemas que cuentan con varios cientos de circuitos telefónicos o varios canales de televisión y que cubren distancias de varios cientos de kilómetros con un alto grado de confiabilidad lo cual es esencial para comunicaciones nacionales e internacionales.

La amplia utilización de estos sistemas puede ser atribuida a las siguientes ventajas:

- 1.- gran capacidad y flexibilidad
- 2.- facilidad de expansión
- 3.- fácil instalación
- 4.- mejor adaptación a terrenos difíciles y barreras naturales.

Siendo los principales campos de aplicación:

- 1.- Sistemas fijos integrados para varios canales de telefonía o televisión, formando parte de redes nacionales o internacionales.
- 2.- Sistemas fijos no integrados para varios canales de telefonía o televisión, normalmente no

o sólo ocasionalmente interconectados con las redes nacionales o internacionales.

- 3.- Sistemas transportables, generalmente sin propósito de teledifusión o para aplicaciones militares que pueden ser interconectados, a veces, con las redes nacionales o internacionales.

Los sistemas de microondas para televisión o para algunos cientos de canales de telefonía ocupan varios megaciclos por segundo de espacio de frecuencia y para encontrar espacio suficiente se requiere frecuencias superiores a 1,000 Mhz, sin embargo existen en operación ciertos sistemas trabajando en el rango de 150 a 450 Mhz, pero únicamente con pocos canales telefónicos (24 a 72 canales).

El rango de frecuencias comprendido entre 1.000 y 10,000 Mhz, es particularmente apropiado para sistemas de microondas de línea de vista, pero frecuencias hasta 15 GHz pueden ser usadas bajo condiciones apropiadas.

Con frecuencias superiores a 10 GHz se observan considerables absorciones de energía por efectos de llu

via, neblina o nieve. A frecuencias mayores, superiores a 20 GHz, la absorción por el vapor de agua y oxígeno presentes en la atmósfera se vuelve significante.

Las bandas de frecuencia asignadas para enlaces de punto a punto por la Convención Internacional de Ginebra en 1959 establece las siguientes categorías:

335	a	420	MHz
1,700	a	2,300	MHz
3,400	a	4,200	MHz
5,925	a	8,500	MHz
10,500	a	13,250	MHz

La selección de frecuencia depende de muchos factores.

Mientras más alta es la frecuencia, mayor es la directividad de antena que se puede obtener, menor es la luz de la primera zona de Fresnel y más amplio es el ancho de banda disponible para transmitir información.

Por otro lado las pérdidas de propagación, el desvanecimiento de la señal y el nivel de ruido se incrementan al aumentar la frecuencia.

1.3. SISTEMAS SOBRE EL HORIZONTE

Las comunicaciones por microondas con trayectorias que van más allá del horizonte utilizan modos de propagación ya sea por difracción o por dispersión atmosférica siendo este último el más utilizado.

Este tipo de comunicaciones se basa en el hecho de que las señales de radio en el rango de frecuencias de 100 a 10,000 MHz se propagan consistentemente hasta algunos cientos de kilómetros, siendo la principal ventaja del sistema de dispersión atmosférica la posibilidad que ofrece de lograr una comunicación confiable a través de distancias de hasta 1,100 Km. de longitud sin necesidad de estaciones repetidoras. Sin embargo, se requieren antenas de gran tamaño y transmisores de muy alta potencia. La propagación por dispersión generalmente involucra grandes pérdidas de transmisión lo que implica la necesidad de usar antenas de alta ganancia y receptores de gran sensibilidad.

1.4. PROPAGACION DE LAS ONDAS DE RADIO-FRECUENCIA EN EL ESPACIO LIBRE.

Al diseñar un sistema de comunicaciones es preciso

estimar las pérdidas de potencia sufridas por la señal en su trayectoria desde el transmisor hasta el receptor.

En cada sistema de radio existe una máxima pérdida de transmisión permisible, que al ser excedida, el sistema se vuelve de baja calidad y poco confiable. Por esta razón las pérdidas de transmisión determinan si la señal recibida será de utilidad o no.

El concepto básico para estimar las pérdidas de transmisión de una señal de radio se basa en las pérdidas esperadas en el espacio libre, esto es en una región libre de cualquier objeto que pueda absorber o reflejar radio-energía. *27/10/98*

1.4.1. Ecuación de Transmisión en el espacio libre

Las pérdidas de transmisión (L) que experimenta una señal que se propaga en el espacio libre se define como la razón de la potencia transmitida (Pt) a la potencia recibida (Pr).

$$L = \frac{P_t}{P_r} \quad (\text{ec. 1-1})$$

Introducimos el concepto de área efectiva - (A_{ef}) de una antena, que es la propiedad directiva que posee una antena receptora de captar energía de una onda plana incidente, la misma que se define como:

$$A_{ef} = \frac{P_r}{P_o} \quad (\text{ec 1-2})$$

donde P_r es la potencia recibida por la antena, y P_o es el flujo de potencia por unidad de área del campo incidente a la antena receptora.

1.4.2. Atenuación entre antenas isotrópicas

Considerando un sistema de comunicaciones - que utiliza antenas isotrópicas, esto es antenas que hipotéticamente tienen igual intensidad de radiación en todas direcciones, tenemos que a una distancia (d) de la antena transmisora el flujo de potencia por unidad de área es:

$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (\text{ec. 1-3})$$

por lo que:

$$P_t = 4\pi d^2 P_o \quad (\text{ec. 1-4})$$

reemplazando en ec. 1-1

$$L = 4\pi d^2 \frac{P_o}{P_r} \quad (\text{ec. 1-5})$$

Puede demostrarse que el área efectiva de una antena isotrópica viene dada por:

$$A_{ef} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (\text{ec. 1-6})$$

según ec. 1-2 y reemplazando en ec. 1-5 tenemos

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{ec. 1-7})$$

puesto que

$$\lambda = \frac{c}{F} \quad (\text{ec. 1-8})$$

donde (c) es la velocidad de la luz y (F) - la frecuencia de la señal, sustituyendo en ec. 1-7 tenemos:

$$L = \left(\frac{4 \pi d F}{c} \right)^2 \quad (\text{ec. 1-9})$$

usando $c = 300.000 \text{ Km./s.}$, y cambiando ligeramente la expresión para que F quede expresada en MHz obtenemos:

$$L = \left(\frac{4 \pi d F * 10^6}{3 * 10^5} \right)^2$$

$$L = \frac{1,600 \pi^2 d^2 F^2}{9}$$

$$L = 1,754.6 d^2 F^2 \quad (\text{ec. 1-10})$$

donde d está dada en (Km.) y F en (MHz)

Expresando esta última ecuación en decibelios (db), obtenemos el factor de atenuación (α) para una señal que se propaga en el espacio libre y entre dos antenas isotrópicas.

$$\alpha = 10 \log (1,754.6 d^2 F^2)$$

$$\alpha = 32.44 + 20 \log d + 20 \log F \quad (\text{ec 1-11}) *$$

1.5. EFECTOS ATMOSFERICOS SOBRE LA TRANSMISION EN EL ESPACIO LIBRE.

El concepto de transmisión en el espacio libre asume que la atmósfera es perfectamente uniforme y no absorbente, y que la superficie de la tierra está infinitamente lejos o que su coeficiente de reflexión es despreciable.

En un sistema práctico de comunicaciones de microondas en línea de vista, la intensidad de la señal recibida será muy cercana al valor en el espacio libre.

Cuando una onda se propaga en la atmósfera y cerca de la superficie de la tierra, el equivalente a la propagación en el espacio libre es modificado para tomar en consideración los efectos que pudieran tener la atmósfera y el terreno en la transmisión de la señal.

1.5.1. Absorción Atmosférica

De los gases principales que se encuentran en la atmósfera, el vapor de agua y el oxígeno no absorben energía de las ondas electromagnéticas, el primero debido a su momento de

dipolo eléctrico y el segundo debido a su momento de dipolo magnético.

Los resultados de este fenómeno pueden observarse en la Fig. 1-2.

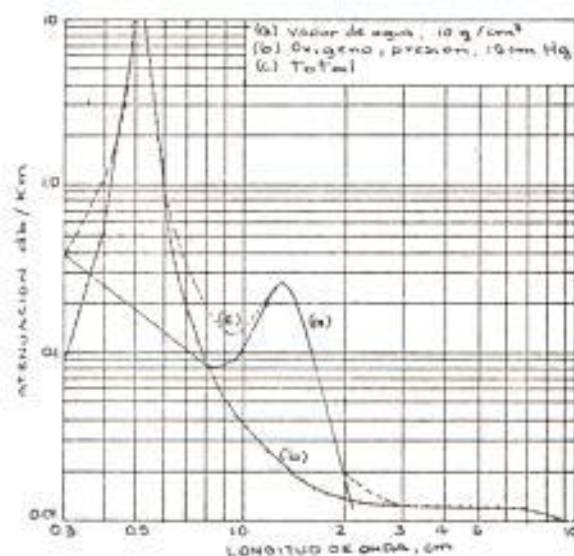


Fig. 1-2.- Absorción por vapor de agua y oxígeno.

El vapor de agua presenta máxima absorción - alrededor de $\lambda = 1.3$ cm. (23.000 MHz aproximadamente), mientras que la máxima absorción para el oxígeno ocurre alrededor de $\lambda = 0.5$ cm. (60.000 MHz).

De la curva (c) de la Fig. 1-2 puede observarse que para longitudes de onda mayores a 3 cm. (frecuencias menores a 10.000 MHz) la atenuación es menor que 0.013 db/Km. lo que

representa 1 db aproximadamente para un tramo de 80 Km.

1.5.2. Dispersión debido a lluvia o neblina

Pequeñas gotas de agua dispersan algo de la energía de una onda electromagnética.

Los resultados de este fenómeno para varias densidades de lluvia y neblina se muestran en la Fig. 1-3 de donde puede observarse - que para $\lambda > 5$ cm. ($F < 6.000$ MHz) la atenuación causada por lluvia o neblina deja de ser significativa.

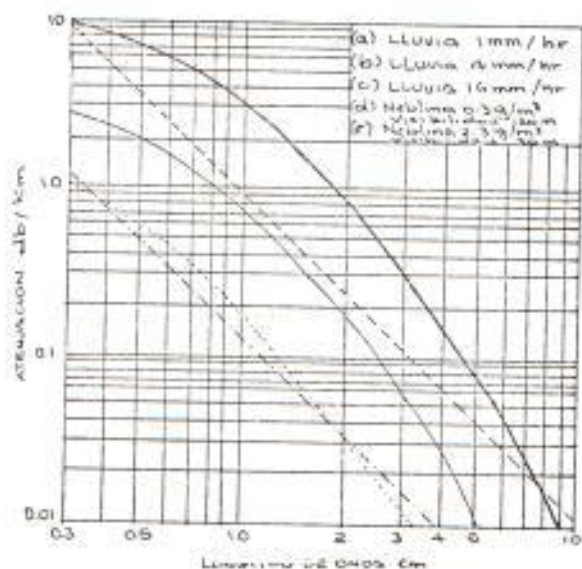


Fig. 1-3.- Pérdidas de dispersión por lluvia y neblina.

1.5.3. Refracción Atmosférica

El fenómeno de refracción atmosférica que se observa en la propagación de señales de radiofrecuencia, se debe a las variaciones en el índice de refracción del aire a medida que la altura aumenta.

Bajo condiciones normales este índice disminuye con la altura lo que causa que las ondas electromagnéticas sean desviadas hacia abajo.

Esta particularidad permite que una señal sea recibida en puntos más allá del horizonte.

1.6. EFECTOS DEL TERRENO SOBRE LA TRANSMISION EN EL ESPACIO LIBRE.

Bajo condiciones atmosféricas normales el terreno ejerce dos efectos principales en la propagación de una señal de radio.

1.- Arboles, construcciones, cerros u otras irregularidades del terreno pueden bloquear una por

ción de la señal, causando pérdidas por obstrucción.

- 2.- Una sección muy llana del terreno o una extensión de agua puede reflejar una segunda señal hacia la antena receptora. Esta señal reflejada puede llegar fuera de fase con respecto a la directa causando una cancelación parcial de la onda.

1.6.1. Efectos de obstáculos

Con el fin de facilitar el análisis del fenómeno producido al existir un obstáculo que intercepta parte de la señal transmitida, debemos recurrir a la teoría de la difracción introducida por Fresnel en óptica.

La difracción es un fenómeno característico del movimiento ondulatorio, y éste se observa cuando un obstáculo impide el paso de una porción del frente de onda incidente produciendo una distorsión en la señal.

Supongamos que una serie de colinas está situada a distancias d_1 y d_2 de una antena -

transmisora T y otra receptora R respectivamente, y a una altura H por debajo o por encima de la línea de vista óptica, como se muestra en las figuras 1-4 (a) y (b).

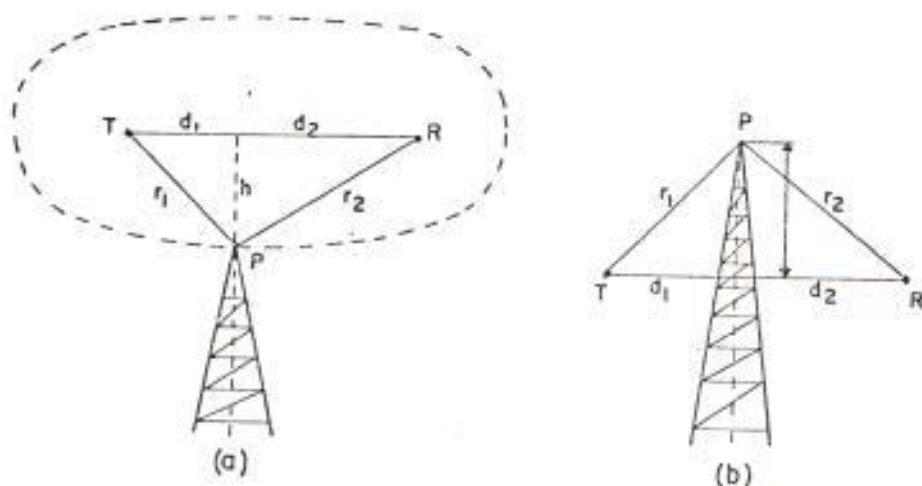


Fig. 1-4.- Efecto de obstáculos

A los lugares geométricos de los puntos correspondientes a las trayectorias que exceden en $n\lambda/2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) con respecto a $TR = d_1 + d_2 = d$ se los conoce como zonas de Fresnel, y tienen forma de elipsoides con focos en T y R.

$$\delta = (r_1 + r_2) - (d_1 + d_2) = \frac{n\lambda}{2} \quad (\text{ec 1-12})$$

$$r_1 = \sqrt{d_1^2 + h^2} \quad (\text{ec 1-13})$$

$$r_1 = d_1 \sqrt{1 + \left(\frac{h}{d_1}\right)^2} \quad (\text{ec 1-14})$$

para $h/d_1 \ll 1$.

$$r_1 = d_1 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{d_1}\right)^2 \right) \quad (\text{ec 1-15})$$

similarmente

$$r_2 = d_2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{d_2}\right)^2 \right) \quad (\text{ec 1-16})$$

de aquí que

$$\frac{n\lambda}{2} = d_1 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{d_1}\right)^2 \right) + d_2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{d_2}\right)^2 \right) - d_1 - d_2$$

$$\frac{n\lambda}{2} = \frac{d_1}{2} \left(\frac{h}{d_1}\right)^2 + \frac{d_2}{2} \left(\frac{h}{d_2}\right)^2$$

$$n\lambda = \frac{h^2}{d_1} + \frac{h^2}{d_2}$$

$$n\lambda = h^2 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)$$

$$h = \left(\frac{n\lambda}{1/d_1 + 1/d_2} \right)^{1/2} \quad (\text{ec 1-17})$$

por lo que la luz requerida para la primera zona de Fresnel (h_1) viene dada por

$$h_1 = \left(\frac{\lambda}{1/d_1 + 1/d_2} \right)^{1/2} \quad (\text{ec 1-18})$$

Usando la teoría de difracción de Fresnel puede derivarse expresiones para el factor de atenuación que experimenta una señal debido a la presencia de obstáculos en su trayectoria de propagación.

Los resultados se muestran en la Fig. 1-5 en donde se grafica el factor de atenuación en función de la variable h/h_1 que es la razón de la luz (h), existente entre la trayectoria directa en línea de vista entre las antenas y el borde superior del obstáculo, y la luz (h_1) requerida para la 1ª zona de Fresnel.

Figura 5

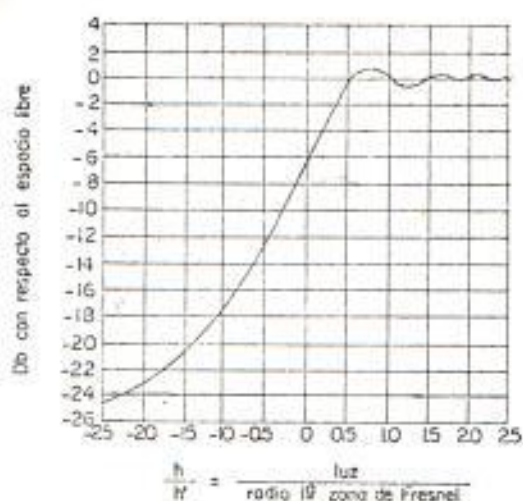


Fig. 1-5.- Atenuación vs. luz de Fresnel.

Puede observarse de la Fig. 1-5 que cuando el tope del obstáculo está en la línea de vista existe una pérdida de 6 db; al aumentar su altura por encima de la línea de vista las pérdidas aumentan rápidamente, pero al disminuir su altura por debajo de la línea de vista las pérdidas decrecen hasta cero y oscilan alrededor de ± 1 db.

La onda recibida tendrá una magnitud muy cercana al valor en el espacio libre si cualquier obstáculo presente en la trayectoria se encuentra por debajo de la línea de vista a una altura tal que por lo menos exista una luz para la 1ª zona de Fresnel.

Esta condición se cumple para $\delta/\lambda > 0.5$

1.6.2. Reflexión sobre el terreno

En un sistema línea de vista, la onda recibida puede ser la resultante de una onda directa y de una reflejada sobre la superficie de la tierra, que se combinan al llegar a la antena receptora.

El caso más simple es la reflexión sobre una superficie plana de la tierra como se muestra en la Fig. 1-6.

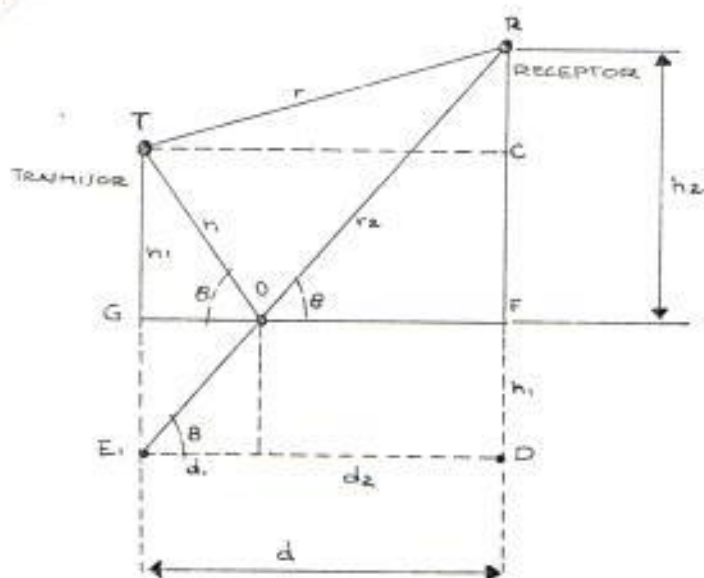


Fig. 1-6.- Reflexión en la superficie de la tierra.

La onda resultante en la antena receptora R consiste de una onda directa TR y una onda reflejada OR.

Cuando la superficie sobre la cual se realiza la reflexión es terreno llano o una extensión de agua la onda reflejada puede ser significativa y con gran influencia en la onda resultante; en cambio si el terreno es irregular la onda reflejada tiende a ser dispersada, por lo tanto será de pequeña magnitud y con poco o ninguna contribución a la onda resultante.

La onda reflejada experimenta atenuación y desfase a lo largo de su trayectoria indirecta, de ahí que el hecho de que llegue en fase o fuera de fase con respecto a la onda directa determinará el tipo de interferencia a producirse, esto es, constructiva reforzando la señal en el primer caso, o destructiva en el segundo caso produciendo un debilitamiento de la señal, pudiendo llegar incluso hasta su cancelación.

Marzo/29/1938

CAPITULO II

EVALUACION DE LAS PERDIDAS DE TRANSMISION EN UN SISTEMA DE LINEA DE VISTA

Al diseñar un sistema de radiocomunicaciones gran parte del trabajo se dedica a estudiar el probable comportamiento de una trayectoria dada y a encontrar las técnicas de modulación y de procesamiento de la señal que superen los defectos del medio.

Los circuitos de radio pueden estar caracterizados por su frecuencia de portadora, que en gran parte determinan el comportamiento de la trayectoria.

En los sistemas línea de vista de comunicaciones por microondas el tipo de modulación es usualmente FM aunque últimamente se está incrementando alguna forma de modulación digital.

Las ondas de radio en los sistemas línea de vista viajan en línea recta y son limitadas por el horizonte debido a la curvatura de la tierra.

Un radio enlace de un sistema línea de vista consta de -

Inv. No. EL-180-007

dos estaciones transmisoras-receptoras terminales y de una o más estaciones repetidoras intermedias. El número de estaciones requeridas depende principalmente de la configuración del terreno, y por esta razón es muy importante poder estimar la atenuación o pérdidas de transmisión que experimenta una señal a lo largo de una trayectoria determinada.

Considerando esta particularidad el principal objetivo de esta tesis es desarrollar un programa de computadora que permita analizar los contornos de niveles de intensidad de una señal para varias frecuencias y a lo largo de diferentes trayectorias con el fin de poder seleccionar la mejor alternativa posible cuando se diseñe un sistema línea de vista de comunicaciones por microondas.

2.1. DEFINICION

Mediante un programa de computadora se trata de evaluar la atenuación que experimenta una señal proveniente de una estación transmisora en un sistema línea de vista de comunicaciones por microondas.

El programa está escrito en lenguaje FORTRAN IV que incluye soporte para grabación de datos en archivos en disco, facilidad usada en este programa para al-

macenar permanentemente la información que representa la configuración topográfica del terreno que se estudia.

Cabe mencionar que la disponibilidad de almacenamiento en discos del centro de cómputo de la ESPOL permitiría grabar los detalles topográficos de todo el Ecuador.

Para cubrir todas las direcciones de propagación se consideran 72 trayectorias radiales que parten de la estación transmisora y están igualmente espaciadas entre si cada 5° .

Los detalles del terreno a lo largo de cada trayectoria se obtienen de un archivo de acceso directo almacenado en un disco.

Este archivo contiene como información las alturas representativas deducidas a partir de un mapa topográfico de la zona bajo consideración, las mismas que equivalen a la altura promedio del terreno comprendido en un cuadro de 0.25 Km. por lado.

El programa entonces considera cada una de las trayectorias por turno y reconstruyendo el perfil del

terreno evalúa la atenuación de la señal a intervalos regulares de 0.25 Km. de longitud.

Para estimar las pérdidas de transmisión se utiliza como base el modelo de propagación en el espacio libre. Este modelo es luego modificado para tomar en consideración los diferentes factores que tengan efectos significativos en la propagación de la señal.

Las variables que se considerarán en el programa se muestran en la Fig. 2-1.

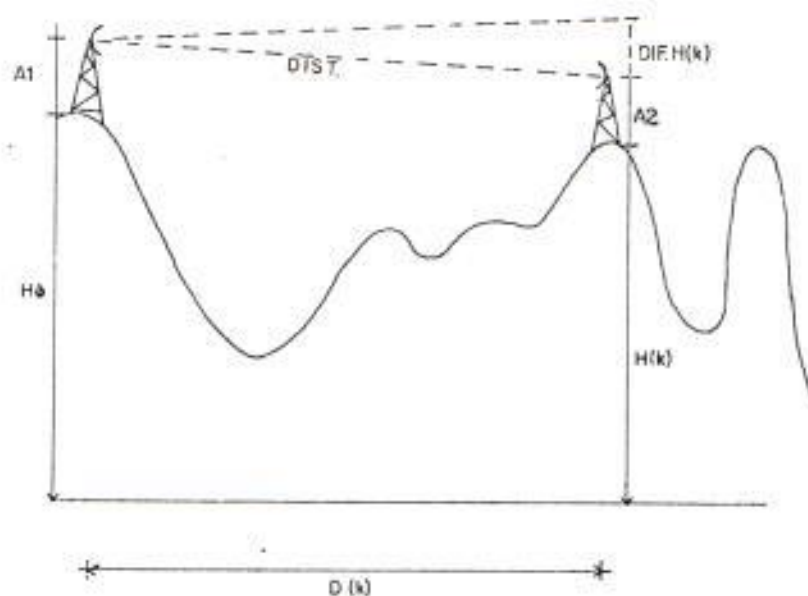


Fig. 2-1

Donde:

$H\phi$ = altura del terreno correspondiente al punto donde se encuentra la antena transmisora.

$H(K)$ = altura del terreno correspondiente al punto en que se evalúa las pérdidas sufridas por la señal, y donde eventualmente se encontraría una antena receptora.

$A1$ = altura de la torre de la antena transmisora.

$A2$ = altura de la torre de la antena receptora.

$D(K)$ = distancia horizontal entre antenas.

$DIFH$ = diferencia de altura entre antenas.

$DIST$ = distancia directa entre antenas.

Por lo que:

$$DIFH(K) = H\phi + A1 - H(K) - A2 \quad (\text{ec 2-1})$$

$$DIST(K) = \sqrt{D(K)^2 + DIFH(K)^2} \quad (\text{ec 2-2})$$

Puesto que en la práctica $D(K) \gg DIFH(K)$ tenemos -
que $DIST(K) \approx D(K)$.

Por lo que el factor de atenuación (FA) según ec 1-11 para una señal que se propaga como si lo hiciera en el espacio libre estaría dado por :

$$FA = 32.44 + 20 \log (D(K)) + 20 \log (F) \quad (\text{ec } 2-3)$$

$$\begin{array}{ll} FA : & \text{expresado en } [DB] \\ D(K) : & \text{" " } [KM] \\ F : & \text{" " } [MHz] \end{array}$$

Para examinar la condición de línea de vista y la presencia de obstáculos es menester tomar en consideración la curvatura de la tierra. La luz (CL) existente entre un obstáculo y la trayectoria de la señal puede calcularse usando la siguiente expresión. (Véase Apéndice A)

$$CL = HT - \frac{D(L)}{D(K)} (HT - H(K) - A_2) - \frac{D(L)}{17} \frac{(D(K) - D(L))}{D(K)} - H(L) \quad (\text{ec-2-4})$$

donde: $HT = H\emptyset + A_1$

$CL; HT; H(K); A_2; H(L)$ se expresan en [M]

$D(L) ; D(K)$ se expresan en [KM]

$H(L)$: altura del obstáculo

Para considerar el efecto de los obstáculos presen-

tes a lo largo de la trayectoria y que interceptan parte de la señal obsérvese la Fig. 2-2

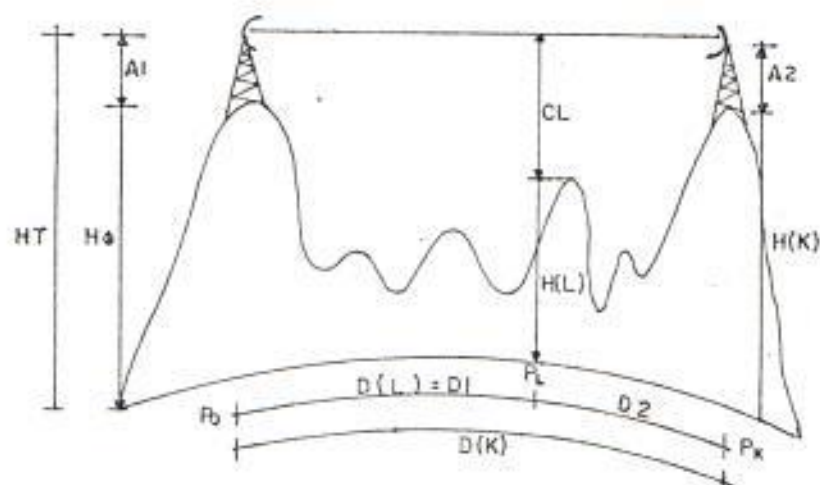


Fig. 2-2

El punto de la trayectoria que representa mayor obstáculo a la propagación de la señal es el punto P_L intermedio entre P_0 y P_K al que corresponde el menor valor de CL .

CL se mide como positivo (+) hacia abajo de la línea de la trayectoria directa, y como negativo (-) desde la línea de trayectoria directa hacia arriba.

CL correspondiente al punto PL se va calculando punto a punto a lo largo de la trayectoria entre P_0 y P_k .

CLMIN es una variable auxiliar que toma el valor mínimo calculado de CL.

Luego de haber calculado CLMIN y determinado la posición del mayor obstáculo, calculamos la luz requerida para la 1ª zona de Fresnel:

$$CL\ 1 = \sqrt{\frac{3 \times 10^5}{F/D_1 + F/D_2}} \quad [M] \quad (\text{ec 2-5})$$

donde:

F = frecuencia expresado en $[MH_2]$

$D_1; D_2$ = distancias expresadas en $[KM]$

Teniendo CLMIN y CL 1 podemos calcular.

$$C = CLMIN / CL1 \quad (\text{ec 2-6})$$

Con el valor de C podemos determinar la atenuación (FAF) sufrida por la señal debido a la presencia de obstáculos conforme a la Fig. 1-5.

Sin embargo para efectos prácticos del programa la curva de la Fig. 1-5 ha sido dividida en varios segmentos cada uno de los cuales se representa por una expresión matemática sencilla (ver apéndice B).

Al usar antenas no isotrópicas, esto es, con ganancias diferentes de 0 db la atenuación sufrida por la señal se ve modificada por el efecto de las ganancias G_1 y G_2 de las antenas transmisoras y receptora respectivamente.

Tomando en cuenta estas dos últimas consideraciones, el factor de atenuación total (FAT) que experimenta una señal al propagarse cerca de la tierra y entre antenas no isotrópicas viene dado por:

$$FAT = FA + FAF - G_1 - G_2 \quad [DB] \quad (\text{ec 2-7})$$

Como ya se mencionó las pérdidas de transmisión son calculadas a lo largo de 72 trayectorias igualmente espaciadas cada 5° .

La trayectoria sobre la cual se efectúan los cálculos se define mediante el índice N ($N = 0, 1, 2, \dots, \dots, 71$) y la posición angular U de la trayectoria N

se determina según:

$$U = N \ 5 \ \frac{\pi}{180} \quad (\text{ec 2-8})$$

donde U viene expresado en $[\text{rad}]$ y se mide según el sentido de las manecillas del reloj tomando como referencia el eje norte-sur. Ver Fig. 2-3

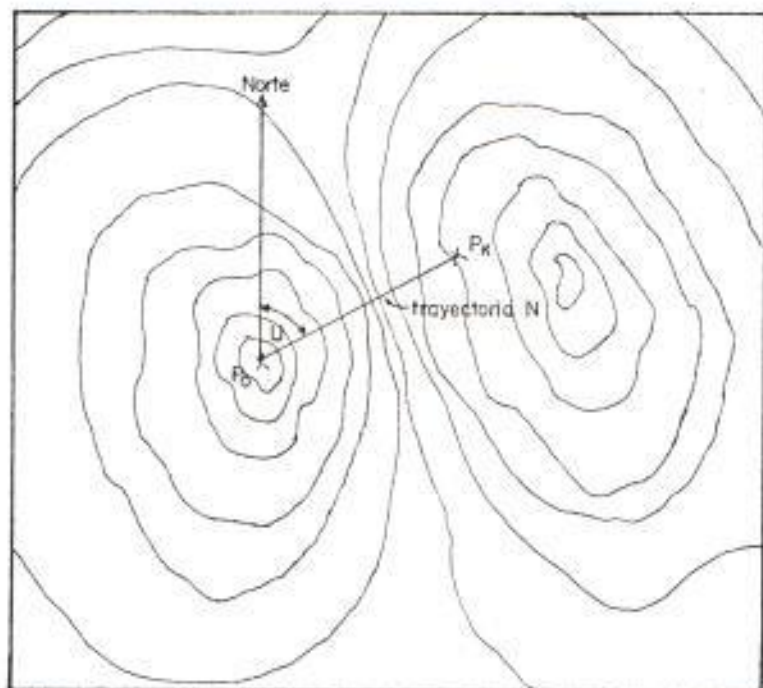


Fig. 2-3

Para determinar las coordenadas del punto P_k usamos las siguientes ecuaciones:

para $0 \leq N \leq 17$

$$Y = Y\phi - \text{INT} \left\{ K \cdot \cos (U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-9})$$

$$X = X\phi + \text{INT} \left\{ K \cdot \sin (U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-10})$$

para $18 \leq N \leq 35$

$$Y = Y\phi + \text{INT} \left\{ K \cdot \cos (\pi - U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-11})$$

$$X = Y\phi + \text{INT} \left\{ K \cdot \sin (\pi - U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-12})$$

para $36 \leq N \leq 53$

$$Y = Y\phi + \text{INT} \left\{ K \cdot \cos (U - \pi) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-13})$$

$$X = X\phi - \text{INT} \left\{ K \cdot \sin (U - \pi) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-14})$$

para $54 \leq N \leq 71$

$$Y = Y\phi - \text{INT} \left\{ K \cdot \cos (2\pi - U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-15})$$

$$X = X\phi - \text{INT} \left\{ K \cdot \sin (2\pi - U) + 0.5 \right\} \quad (\text{ec 2-16})$$

Donde :

Y_0 , X_0 son las coordenadas del punto donde se encuentra localizada la antena transmisora.

Y , X son las coordenadas del punto donde se evalúan las pérdidas de transmisión.

K es el índice que define el intervalo a lo largo de la trayectoria.

Puesto que el FORTRAN nos permite el acceso directo a los registros de un archivo en disco por su posición relativa, es necesario calcular dicha posición relativa.

$$RELA = (Y - 1) NC + X \quad (\text{ec 2-17})$$

Donde :

RELA = posición relativa del registro donde está almacenado el valor de la altura representativa del punto P_k .

NC = número de columnas que posee la cuadrícula en la cual se ha subdividido el mapa.

El programa principal ha sido denominado "LOSSES" y tiene varias opciones de ejecución determinadas por las variables GRABA, LISTA, SOLVE y PLOT.

Si la variable GRABA = β el programa lee los datos que contienen la información de las alturas representativas del terreno que se estudia, y luego los almacena en un archivo de un disco.

Si la variable LISTA = β el programa emite un listado de todas las alturas representativas del terreno determinando su posición con referencia al mapa índice nacional.

Si la variable SOLVE = β el programa ejecuta los cálculos para determinar las pérdidas sufridas por la señal barriendo todas las trayectorias una por una.

Los resultados parciales se almacenan en unos arre

glos creados para dicho fin que luego se imprimen - mostrando los resultados obtenidos en cada una de las trayectorias.

Si uno está interesado en estudiar una sola trayectoria a la vez, podemos usar la opción de ejecución $PLOT = \emptyset$ la cual determina la atenuación que experimenta una señal a lo largo de una trayectoria previamente seleccionada por nosotros y nos proporciona un listado con los resultados obtenidos y además dos gráficas. En la una se reproduce el perfil topográfico de la trayectoria, $H(K)$ vs $D(K)$ y en la otra se observa la atenuación que sufre la señal a lo largo de dicha trayectoria $FAT(K)$ vs $D(K)$.

2.2. ASUNCIONES

Para el desarrollo del programa se ha tomado como zona de estudio la región correspondiente al sector CERRO AZUL, Provincia del Guayas-Ecuador, la referencia de la carta utilizada al mapa índice nacional es:

HOJA CT - MV - B2, 3587 I

y al estimar las pérdidas de transmisión se han hecho las siguientes asunciones:

- 1.- Que la propagación de la señal se realiza en el espacio libre. Luego este modelo se modifica para tomar en cuenta los efectos de obstáculos - del terreno.
- 2.- Que la onda reflejada tiene poca influencia sobre la onda directa que llega a la antena receptora.
- 3.- Que las condiciones atmosféricas ejercen poco o ningún efecto sobre la señal propagada. Esta consideración es válida por las razones expuestas en la sección 1-5 y tomando en cuenta el rango de frecuencias y la longitud de los tramos con los cuales estamos trabajando.
- 4.- Que la subdivisión del mapa topográfico mediante una cuadrícula con elementos de 0.25 Km. de lado, permite deducir alturas representativas del te -

terreno bastante próximas a la realidad.

En zonas de configuración topográfica más accidentada, como la región andina, el intervalo a considerarse debería ser menor con el fin de que la representación del terreno sea lo más fiel posible.

- 5.- Que 72 trayectorias radiales igualmente espaciadas cubren perfectamente todas las direcciones posibles de propagación.

2.3. ALGORITMOS

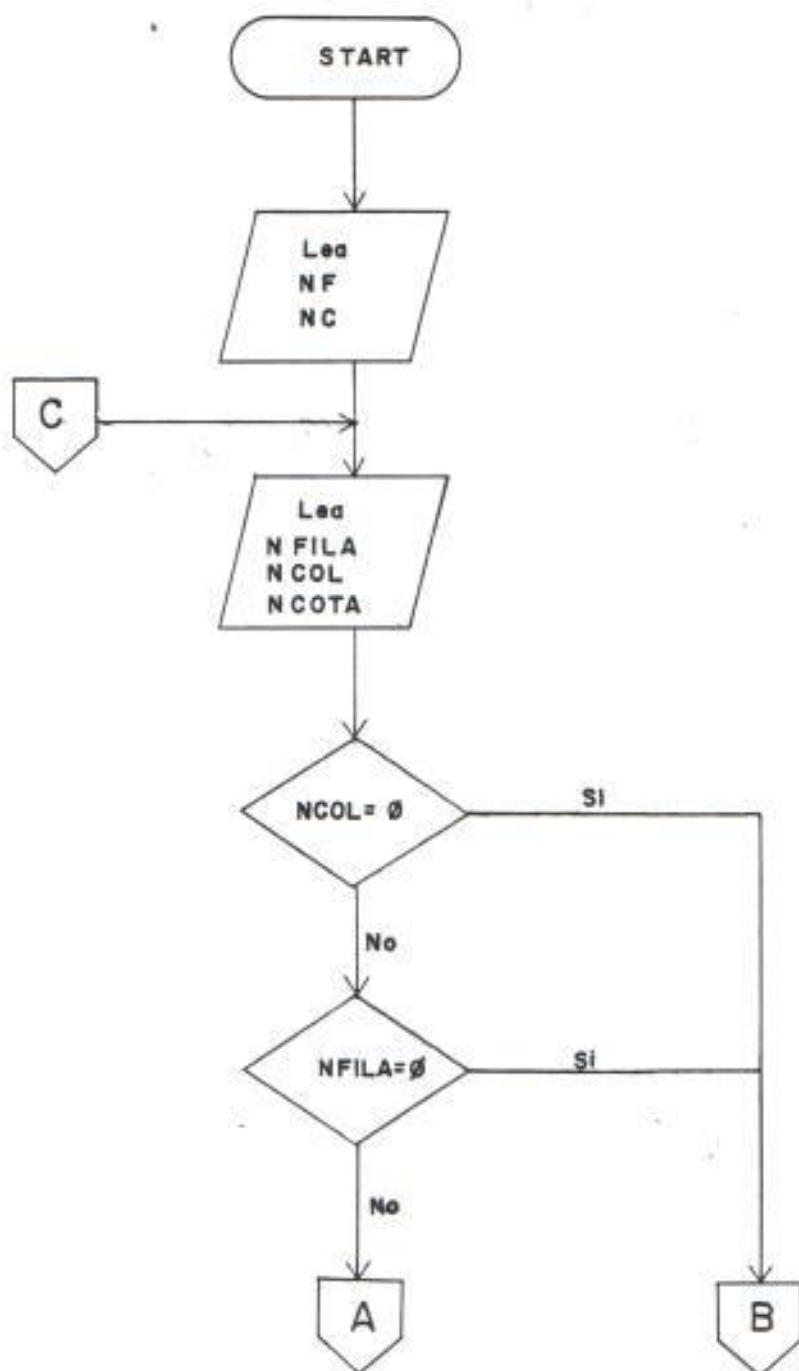
El programa principal "LOSSES" ofrece varias opciones de ejecución que pueden seleccionarse según el valor asignado a las variables GRABA, LISTA, SOLVE y PLOT.

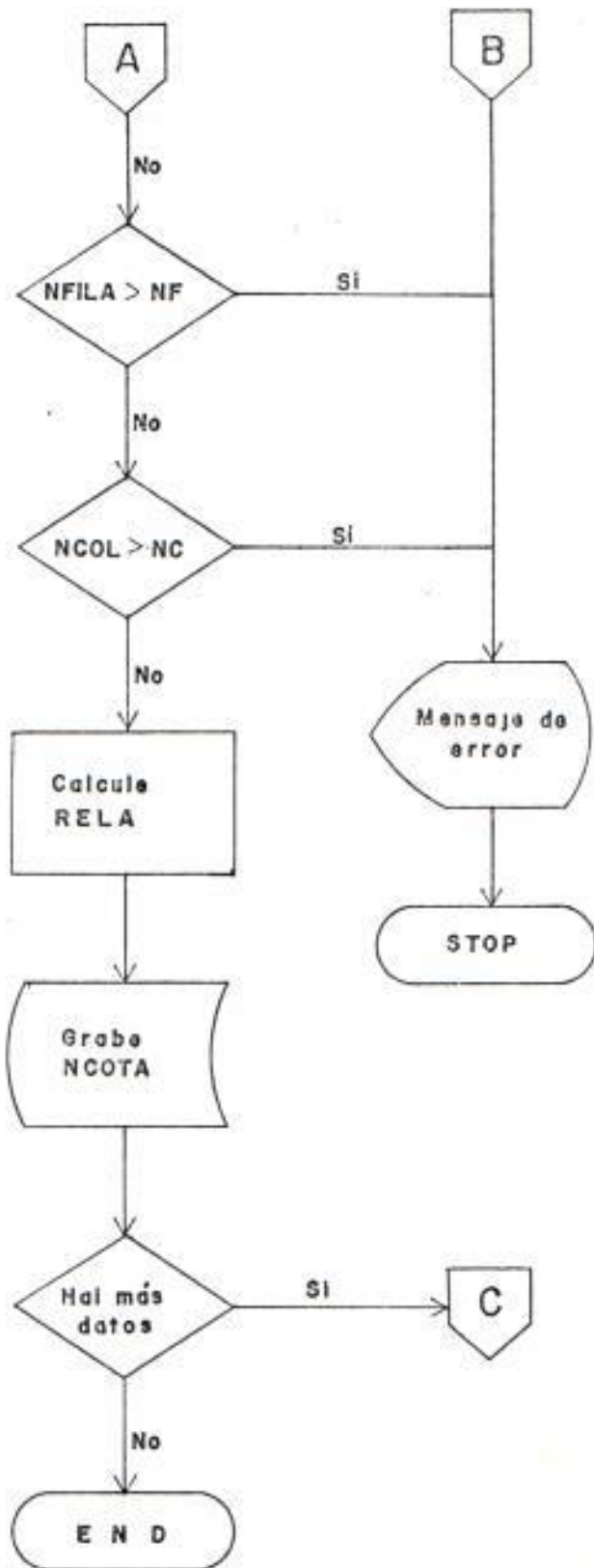
Los algoritmos utilizados para cada opción se muestran a continuación.

2.3.1. Opción GRABA

OPCION DE EJECUCION

GRABA

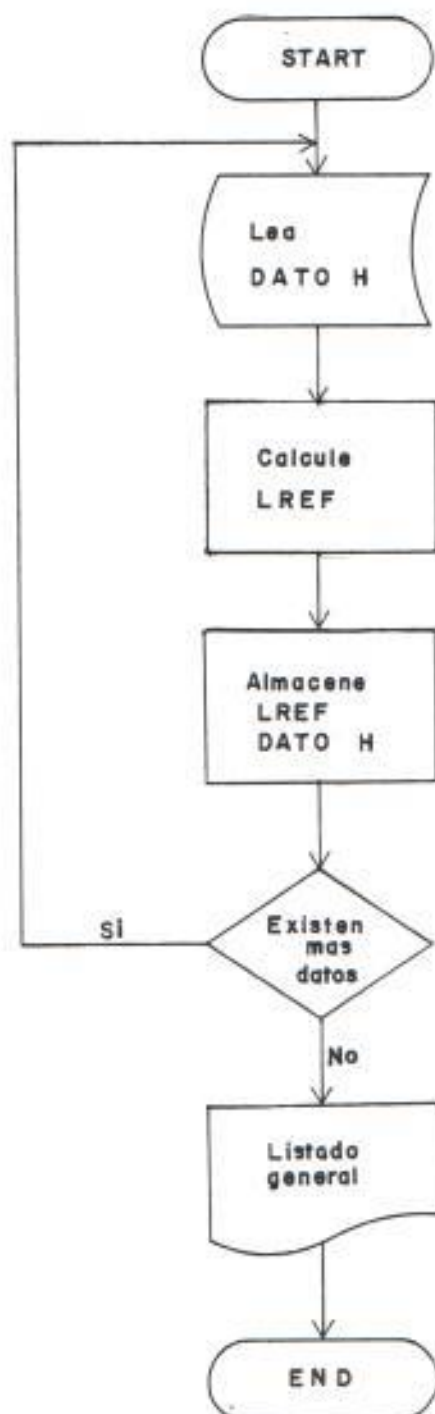




2.3.2. Opción LISTA

OPCION DE EJECUCION

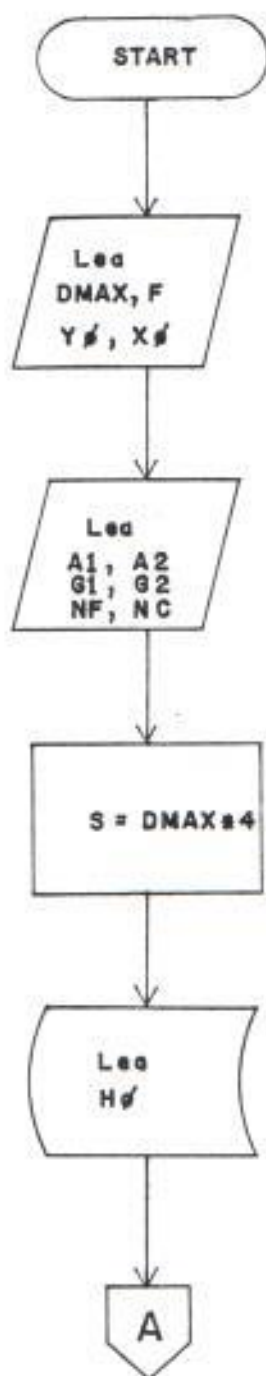
LISTA

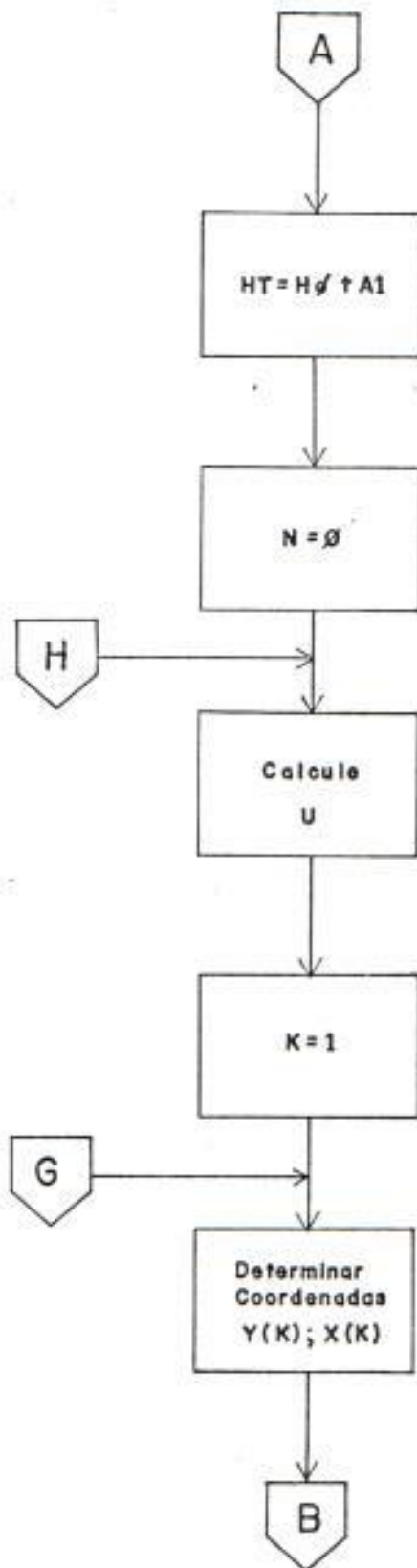


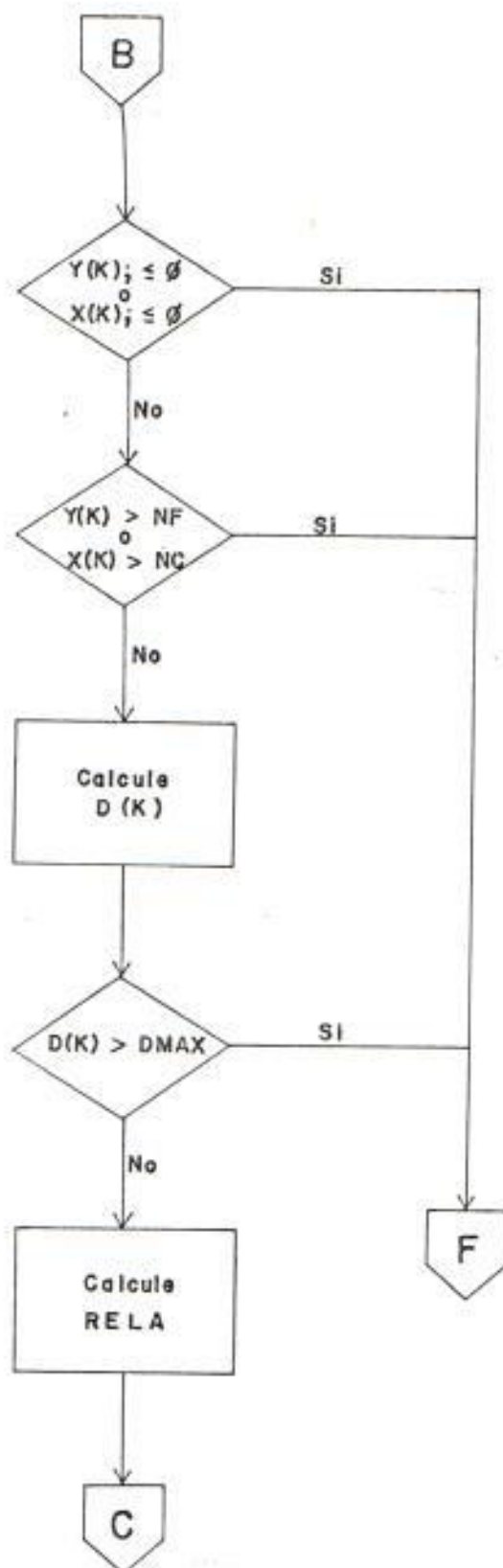
2.3.3. Opción SOLVE

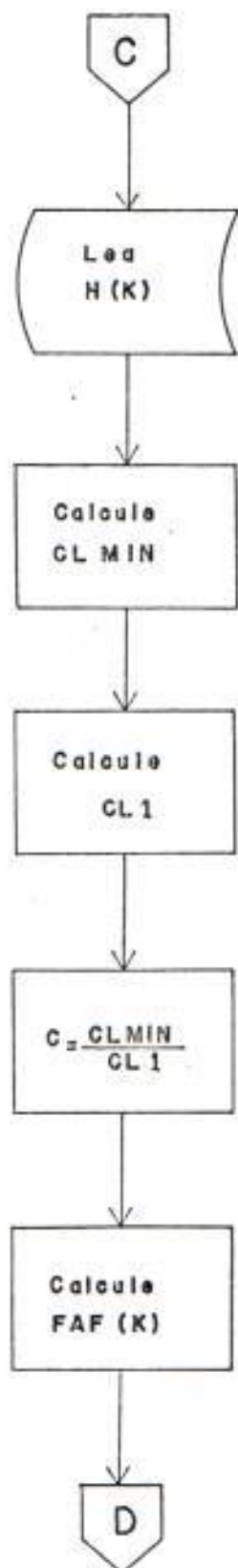
OPCION DE EJECUCION

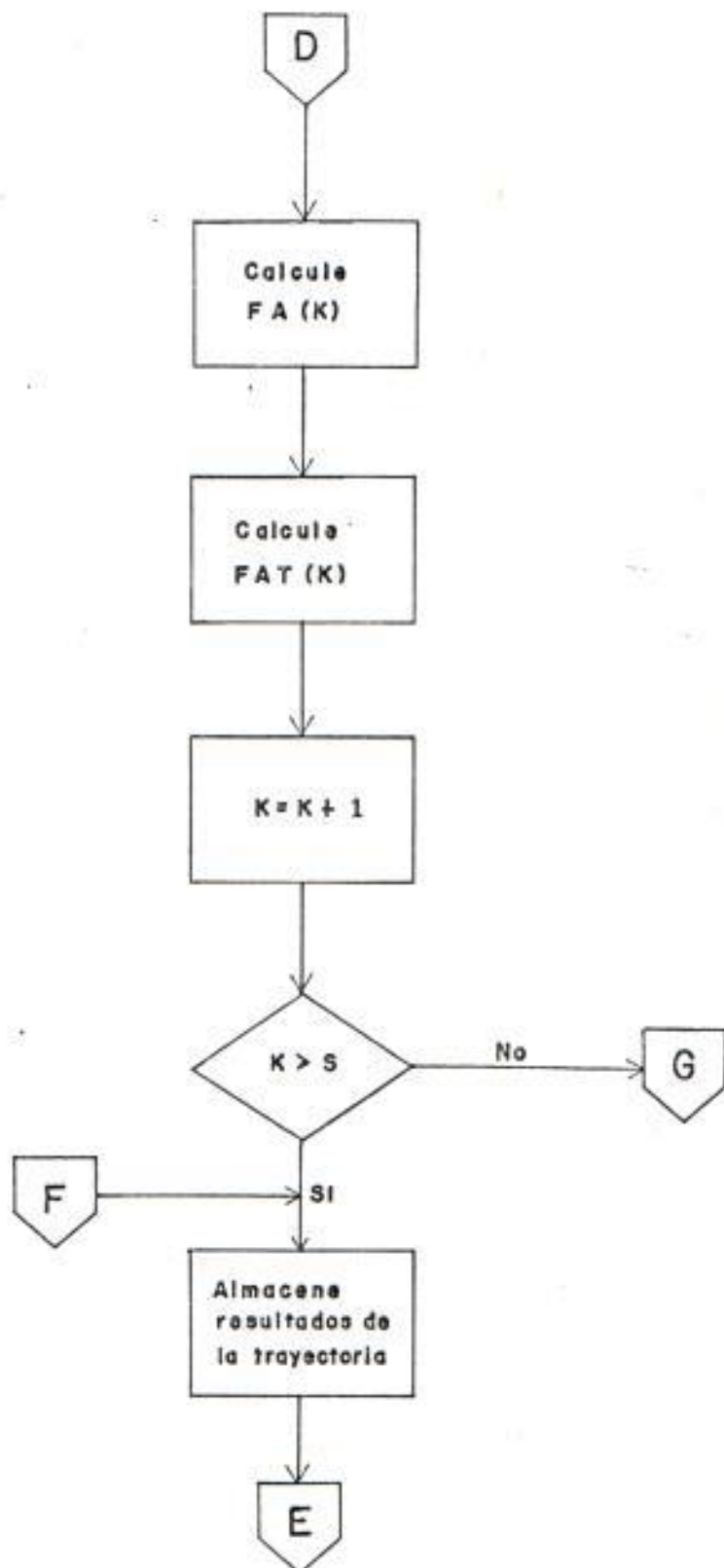
SOLVE

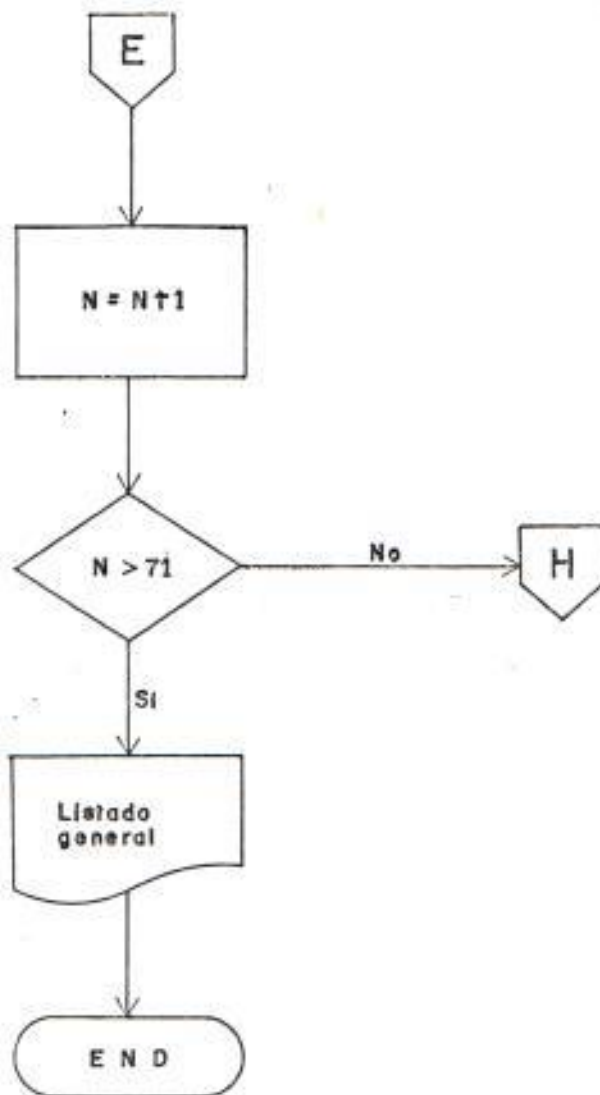








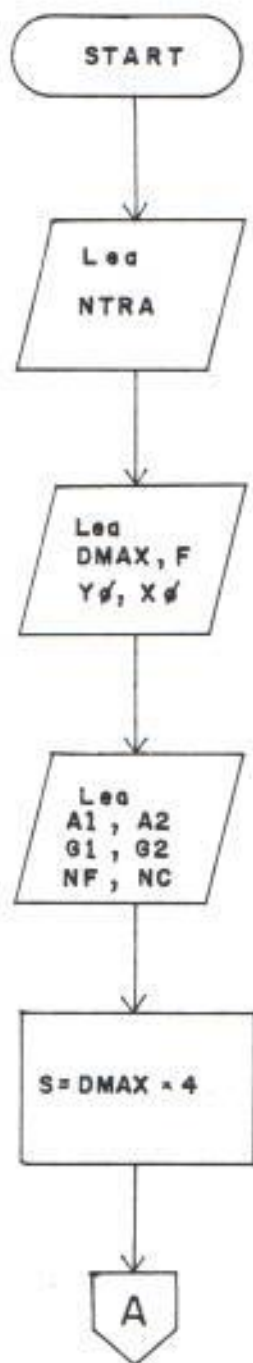


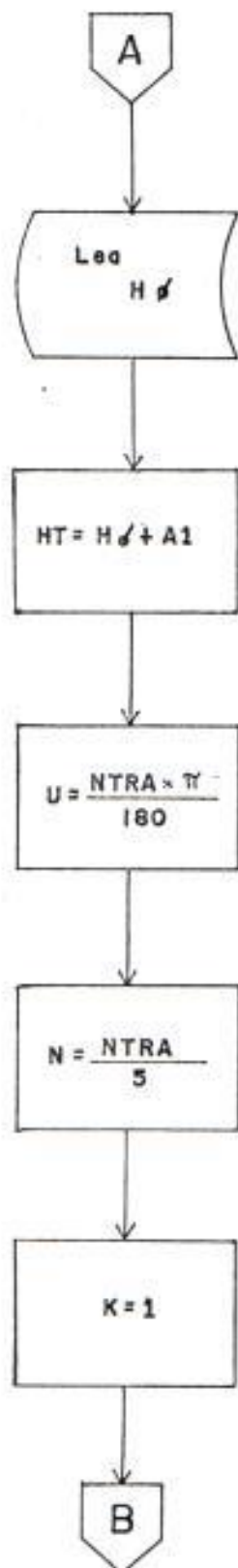


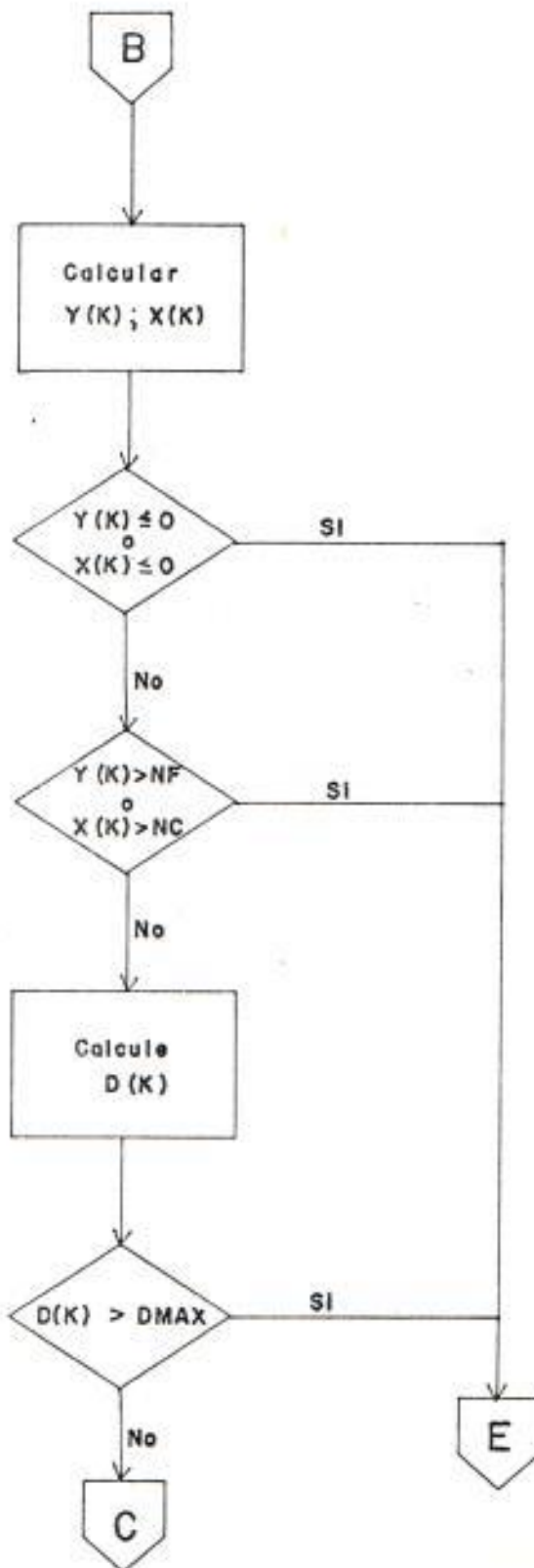
2.3.4. Opción PLOT

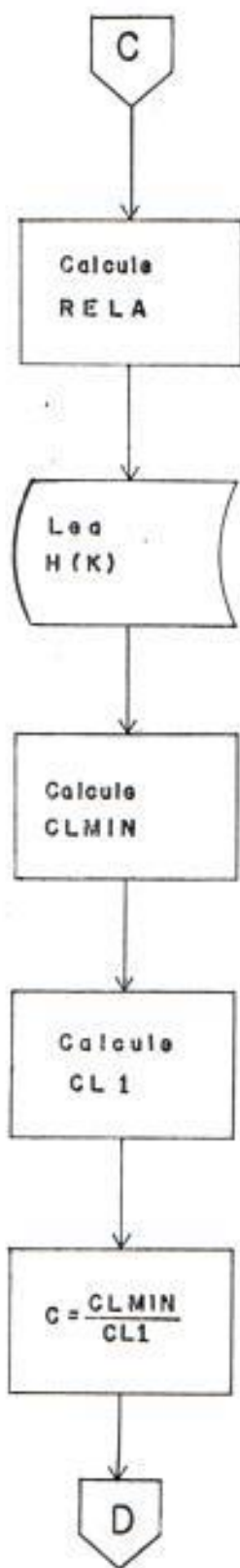
OPCION DE EJECUCION

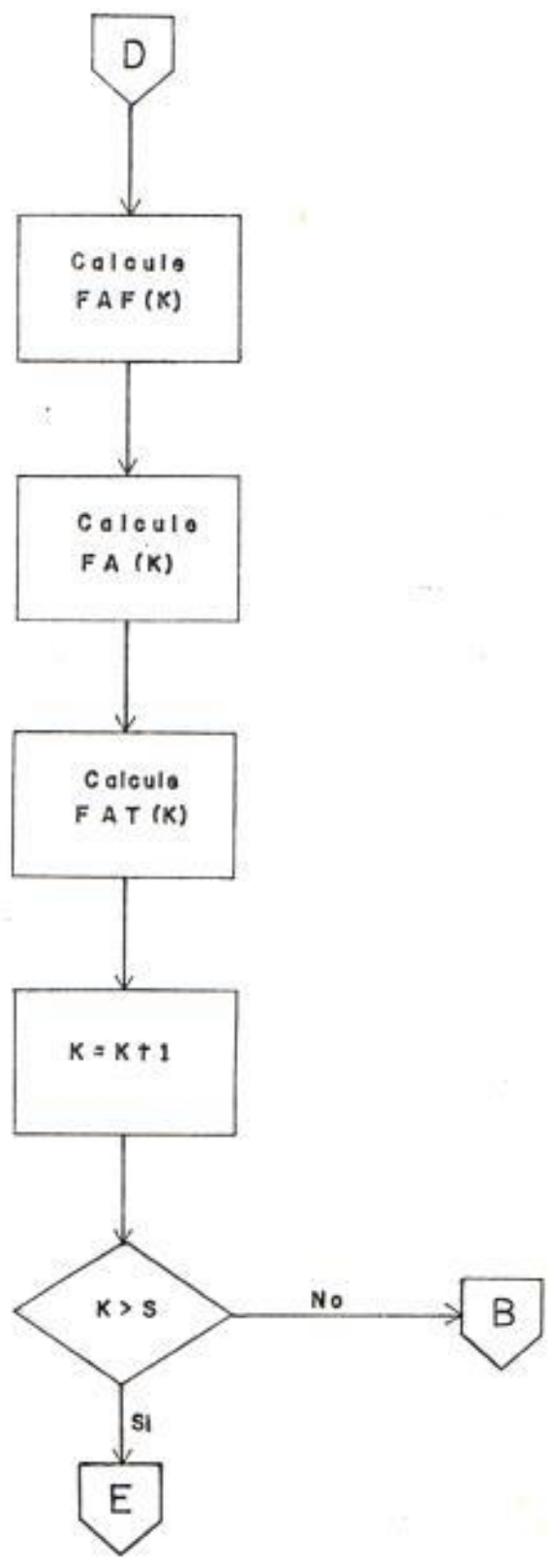
PLOT

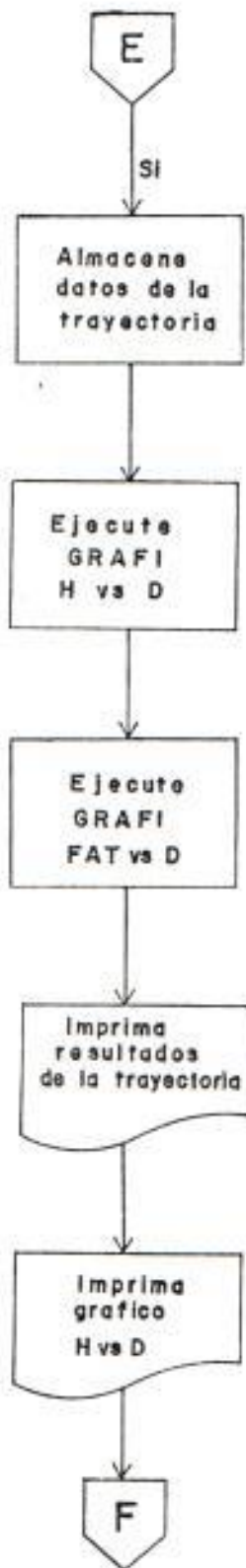














2.4. PROGRAMAS

Para lograr los objetivos de esta tesis se consideró conveniente separar los programas en uno principal y una subrutina.

Al primero lo denominamos "LOSSES" y a la segunda - "GRAFI".

Ambos programas se escribieron en lenguaje FORTRAN IV.

2.4.1. LOSSES

Por simplicidad y especialmente para lograr mayor flexibilidad este programa ofrece varias opciones de ejecución determinadas por las variables GRABA, LISTA, SOLVE y PLOT.

A continuación presentamos el listado de este programa.

L E S S E S

PROGRAMA PARA CALCULAR LAS PERDIDAS DE TRANSMISION
DE SEÑALES DE RADIO DE MUY ALTA FRECUENCIA

AUTOR GERMAN LOPEZ MONCAYO

```

DIMENSION Y(134),X(134),E(134),R(134),
NFAT(134),NCOL(11),NCLTA(11),DATC(15),DATCJ(5),
NDATCH(5),DELTA(2,400),FA(134),FAFI(134),LREF(5),DIS(134)
INTEGER Y,X,H,GRABA,SOLVE,A1,A2,DMAX,RELA,S,YO,XO,HO,
DATO1,DATCJ,DATCH,REF,REF1,DSAVE,DSAVE1,HT
DATA P1/3.141552/
OPEN (UNIT=8,ACCESS='DIRECT',STATUS='NEW',RECL=4)
NPP=0

```

LECTURA DE OPCIONES DE EJECUCION

POS	CAMPO	DESCRIPCION	CODIFICACION
1	GRABA	CREACION ARCHIVO DE COTAS	0 = SI 1 = NO
2	LISTA	LISTADO ARCHIVO DE COTAS	0 = SI 1 = NO
3	SOLVE	CALCULA PERDIDAS DE TRANSMISION DE TODAS LAS TRAYECTORIAS RADIALES	0 = SI 1 = NO
4	PLT	CALCULA Y GRAFICA PERDIDAS DE TRANSMISION DE UNA TRAYECTORIA PRESELECCIONADA	0 = SI 1 = NO

```

READ(1,1)GRABA,LISTA,SOLVE,PLT
FORMAT(4I1)
IF(SOLVE.NE.0)GO TO 4

```

LECTURA DE PARAMETROS GENERALES DE CALCULOS

DMAX	DISTANCIA MAXIMA (KMTS)
YO	ORDENADA DE LA ANTENA TRANSMISORA
XO	ABSCISA DE LA ANTENA TRANSMISORA
F	FRECUENCIA DE PORTADORA (MHZ)



```

* A1          ALTURA DE LA ANTENA TRANSMISORA (MIS)
* A2          ALTURA DE LA ANTENA RECEPTORA (MIS)
* G1          GANANCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA (DB)
* G2          GANANCIA DE LA ANTENA RECEPTORA (DB)
* NF          NR. DE FILAS DEL MAPA
* NC          NR. DE COLUMNAS DEL MAPA
* NTRA       NR. DE TRAYECTORIA PARA OPCION PLOT

```

```

-----
READ(1,2)DMAX,YO,XO,F,A1,A2,G1,G2,NF,NC
WRITE(8,13)F5.0,2(13X,13),2(3X,F3.0),2(13X,13)
IF(PLOT.NE.0)GO TO 10

```

```

READ(1,1)NTRA
WRITE(8,13)
READ(1,2)DMAX,YO,XO,F,A1,A2,G1,G2,NF,NC
IF(GRABA.NE.0)GO TO 7

```

```

-----
*          LECTURA Y GRABACION DE CCTAS
*          (OPCION GRABA)

```

```

* NFILA      ORDENADA DEL PUNTO EN EL MAPA
* NCCL       ABSCISA DEL PUNTO EN EL MAPA
* NCOTA      ALTURA REPRESENTATIVA DEL PUNTO

```

```

-----
NR=0
DO READ(1,5,END=7)NFILA,(NCCL(I),NCOTA(I),I=1,11)
NR=NR+1
WRITE(8,11)11(13,14)
DO 8 L=1,11
  IF(NCCL(L).EQ.0)GO TO 14
  IF(NFILA.EQ.0.OR.NFILA.GT.NF.OR.NCCL(L).GT.NC)GO TO 994
  RELA=(NFILA-1)*NC+NCCL(L)
  WRITE(8,12,REC=RELA)NCOTA(L)
WRITE(8,14)
CONTINUE
GO TO 14

```

```

-----
*          LISTADO GENERAL DE CCTAS
*          (OPCION LISTA)

```

```

-----
IF (LISTA.NE.0)GO TO 101
READ(1,2)DMAX,YO,XO,F,A1,A2,G1,G2,NF,NC
J=1
RELA=1
NCTAL=0
NCTAL=NC*NF
DO 81 I=1,NCTAL
  READ(8,12,REC=RELA,ERR=91)DATA(I)
  RELA=RELA+1

```

```

-----
CALCULAR COORDENADAS DEL PUNTO *****

```



```

VARI = (RELA-2.)/NC
DATOI(J) = INT(VARI) + 1
DATOJ(J) = RELA - 1 - (DATOI(J) - 1) * NC

```

```

IF(NCON.EQ.DATOI(J))GO TO 861
NCON=DATOI(J)

```

```

DSAVE=DATOI(J)
DATCH(J)=DATCH(J)

```

```

DO 894 NI=J,5

```

```

  DATOI(NI)=0

```

```

  DATOJ(NI)=0

```

```

  LREF(NI)=0

```

```

  DATCH(NI)=0

```

```

  JRM1=J-1

```

```

  WRITE(6,87)(LREF(N),DATCH(N),N=1,JRM1)

```

```

  J=1

```

```

  DATOI(J)=DSAVE

```

```

  DATCH(J)=DATCH(J)

```

```

  VARI = (RELA-2.)/NC

```

```

  DATOI(J) = INT(VARI) + 1

```

```

  DATOJ(J) = RELA - 1 - (DATOI(J) - 1) * NC

```

```

  NNPP=NNPP + 1

```

```

  IMPRIME ENCABEZADOS DEL LISTADO ****

```

```

  WRITE(6,872)

```

```

  FORMAT('1',10X,'ALTURAS REPRESENTATIVAS',10X,'SECTOR CERRO AZUL',
  *//)

```

```

  WRITE(6,874)

```

```

  FORMAT(' ',9X,'REFERENCIA AL MAPA INDICE NACIONAL HOJA CT-MV-B2,
  *1587 1'//)

```

```

  WRITE(6,875)

```

```

  FORMAT(' ',74(' '))

```

```

  WRITE(6,876)

```

```

  FORMAT(' ', '      POS      H      POS      H      POS      H      POS
  *  PCS      H*')

```

```

  WRITE(6,878)

```

```

  FORMAT(' ', '      (M)      (M)      (M)
  *(*)      (*)')

```

```

  WRITE(6,875)

```

```

  CALCULA LREF POSICION RELATIVA AL MAPA INDICE NACIONAL ****

```

```

  LV=INT(832.0+DATOJ(J)*2.5+0.5)

```

```

  IF(LV.GE.1000)LV=LV-1000

```

```

  LH=INT(790.0-DATOI(J)*2.5+0.5)

```

```

  LREF(J)=1000*LV+LH

```

```

  IF(J.EQ.5)GO TO 84

```

```

  J = J+1

```

```

  GO TO 81

```

```

  WRITE(6,87)(LREF(N),DATCH(N),N=1,5)

```

```

  J=1

```

```

  CONTINUE

```

```

  IF(J.EQ.5)GO TO 95

```

```

  DO 94 NI=J,5

```

```

    DATOI(NI)=0

```

```

    DATOJ(NI)=0

```

```

    LREF(NI)=0

```



```

100 DATOH(N)=0
110 JMM1=J-1
120 WRITE(6,87)((LREF(N),DATOH(N),N=1,JMM1)
130 FORMAT(' ',1X,5(3X,16,1X,14)/)
140 IF(SOLVE.EQ.0)GO TO 101
150 GO TO 995

```

```

-----*-----*
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
*          *          *          *          *          *
-----*-----*

```

CALCULO DE PERDIDAS DE TRANSMISION
PARA TODAS LAS TRAYECTORIAS RADIALES
(OPCION SOLVE)

```

160 S=OMAX*4
170 RELA=(Y0-1)*NC+X0
180 READ(8,12,REC=RELA)HO
190 HT=HO+A1

```

LAZO DE TRAYECTORIAS ****

```

200 DE 184 NX=1,72
210 N=NX-1
220 U=N*5.*PI/180.

```

```

230 IF(SOLVE.EQ.0)GO TO 411

```

```

240 U=NTRA*PI/180
250 N=NTRA/5

```

LAZO DE POSICION DENTRO DE LA TRAYECTORIA ****

```

260 DE 154 K=1,5
270 IF(N.GT.17)GO TO 114
280 Y(K)=Y0-INT(K*CDOS(U)+0.5)
290 X(K)=X0+INT(K*SIN(U)+0.5)
300 GO TO 124
310 IF(N.GT.35)GO TO 115
320 Y(K)=Y0+INT(K*CDOS(PI-U)+0.5)
330 X(K)=X0+INT(K*SIN(PI-U)+0.5)
340 GO TO 124
350 IF(N.GT.53)GO TO 116
360 Y(K)=Y0+INT(K*CDOS(U-PI)+0.5)
370 X(K)=X0-INT(K*SIN(U-PI)+0.5)
380 GO TO 124
390 Y(K)=Y0-INT(K*CDOS(2*PI-U)+0.5)
400 X(K)=X0-INT(K*SIN(2*PI-U)+0.5)
410 IF(Y(K).LE.0.OR.X(K).LE.0)GO TO 164
420 IF(Y(K).GT.NF.OR.X(K).GT.NC)GO TO 164
430 D(K)=K*0.25
440 RELA=(Y(K)-1)*NC+X(K)
450 READ(8,12,REC=RELA)H(K)
460 K=K-1
470 IF(KA.EQ.0)GO TO 201
480 LMIN=9999
490 LMAX=1
500 DE 200 L=1,KA
510 D(L)=L*0.25

```



CALCULA LUZ ENTRE TRAYECTORIA Y OBSTACULO *****

```

DE=(HT)-(DIS(L)*((H1-H(K)-A2)/D(K)))-(DIS(L)*((C(K)-DIS(L))/L))-H(L)
IF(CL.GE.CLMIN)GO TO 200
CLMIN=CL
LGBS=L
CONTINUE
G2=LGBS+0.25
G2=D(K)-D1

```

CALCULA LUZ REQUERIDA PARA PRIMERA ZONA DE FRESNEL *****

```

CL1=SQRT(300000.07*(F/D1+F/D2))
L=CLMIN/CL1
GO TO 204
FAF(K)=0
GO TO 208

```

CALCULA FAF FACTOR DE ATENUACION DEBIDO A OBSTACULOS *****

```

IF(C.GE.0.5)FAF(K)=0
IF(C.GE.-0.5.AND.C.LT.0.5)FAF(K)=+36-12.00*(C+2.5)
IF(C.GE.-1.7.AND.C.LT.-0.5)FAF(K)=-2.21*EXP(0.94*(C+2.5))+26.
IF(C.LT.-1.7)FAF(K)=-1.26*EXP(1.05*(C+2.5))+26.

```

CALCULA FA FACTOR DE ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE *****

```

FA(K)=32.44+20.*ALOG10(D(K))+20.*ALOG10(F)

```

CALCULA FAT FACTOR DE ATENUACION TOTAL *****

```

FAT(K)=FA(K)+FAF(K)-G1-G2
CONTINUE

```

CALCULA REF1 POSICION RELATIVA AL MAPA INDICE NACIONAL DE LA ANTENA TRANSMISORA *****

```

LX=INT(832.5+XC*2.5+0.5)
IF(LV.GE.1000)LV=LV-1000
LY=INT(790.0-YC*2.5+0.5)
REF1=1000*LV+LY

```

IMPRESION DE RESULTADOS *****

```

K = K - 1
NPAG=K/44+1
IF(K.EQ.44.OR.K.EQ.88.OR.K.EQ.132)NPAG=NPAG-1
DE 414 I=1,NPAG
NAPP=NNPP+1
WRITE(6,172)
FORMAT('1',25X,'PERDIDAS DE TRANSMISION',21X//)
WRITE(6,177)F,DMAX,A1,A2
FORMAT(' ',5X,'F= ',F6.0,' MHZ',7X,' DMAX= ',13,' KM',6X,' A1= ',13
*,',5X,' A2= ',13,' M')
WRITE(6,173)REF1,P0,G1,G2
FORMAT(' ',5X,'POS. TRMTR=',16,1X,' H0= ',14,' M',6X,' G1=',F3.
*,',5X,' G2=',F3.0,' DB')
GRADOS=N*5.
WRITE(6,174)GRADOS

```



```

FORMATT(' ',5X,'TRAYECTORIA A ',F4.0,' GRDS',5X,'REF. MAPA IND. NA
CIONAL CT-MV-82,3587 1')
WRITE(6,175)
FORMATT(' ',74(' '))
WRITE(6,176)
FORMATT(' ', '   POS   ',6X,'D',10X,'H',10X,'FA   ',7X,'FAF   ',7X,
'FAT')
WRITE(6,178)
FORMATT(' ', '   RCVR   ',4X,'(KM)',7X,'(K)',8X,'(DB)',8X,'(DB)',J
' ',J2,'(DB)')
WRITE(6,175)
J1=(I-1)*44+1
J2=I*44
IF(J2.GE.K)J2=K
DE 414 J=J1,J2

```

==== CALCULA REF POSICION RELATIVA AL MAPA INDICE NACIONAL =====
 DEL RECEPIOR

```

LV=INT(832.5+X(J)*2.5+0.5)
IF(LV.GE.1000)LV=LV-1000
LH=INT(790.0-Y(J)*2.5+0.5)
REF=1000*LV+LH
WRITE(6,182)REF,D(J),H(J),FA(J),FAF(J),FAT(J)
FORMATT(' ',3X,16,5X,F6.2,6X,14,7X,F5.1,7X,F5.1,7X,F5.1)
WRITE(6,184)

```

 *
 * CALCULO DE PERDIDAS DE TRANSMISION
 * DE UNA TRAYECTORIA PRESELECCIONADA
 * (OPCION PLOT)
 *
 *-----

```

DE 441 K11=1,S
K12=K11+1
WRITE(6,184)DELTA(1,K12)=H(K11)

DELTAD=0.25
NRA=999
NUEFE=K + 1
N=1
D1=0.0

DELTAG(1,1)=H0
WRITE(6,484)
FORMATT(' ',50X,'GRAFICO F VS. D')

WRITE(6,777)F,DMAX,A1,A2
FORMATT(' ',28X,'F= ',F6.0,' MHz',7X,' DMAX= ',13,' KM',6X,'A1= ',1
'0,' M',5X,' A2= ',13,' M')
WRITE(6,773)REF1,H0,G1,G2
FORMATT(' ',28X,'PLS. TRMIR=',16,1X,' H0= ',14,' M',6X,'G1=',F3
'0,' M',5X,' G2=',F3.0,' M')
WRITE(6,774)GRADUS
FORMATT(' ',28X,'TRAYECTORIA A ',F4.0,' GRDS',5X,'REF. MAPA IND. N
CIONAL CT-MV-82,3587 1')

```




LLAMADA A LA ROTINA GRAFI , PARA OBTENER EL GRAFICO DE ALTURAS (H) VS. DISTANCIA (D)

CALL GRAFI(DELTAQ,M,NUEFE,MAX,DELTAQ,01)

DE 444 K11=1,5

DELTAQ(1,K11)=FAT(K11)

NUEFE=K

DE=0.25

WRITE(6,485)

FORMAT('1',50X,'GRAFICO FAT VS D')

WRITE(6,777)F,CMAX,A1,AZ

WRITE(6,773)REF1,H0,G1,G2

WRITE(6,774)GRADLS

LLAMADA A LA ROTINA GRAFI , PARA OBTENER EL GRAFICO DE FACTOR DE ATENUACION TOTAL (FAT) VS. DISTANCIA (D)

CALL GRAFI(DELTAQ,M,NUEFE,MAX,DELTAQ,01)

DE TO 999

CONTINUE

DE TO 999

ERRORES *****

WRITE(6,995)NFILA,NCOL(LI),NF

FORMAT('1','ERRORES EN VALORES LEIDOS',5X,'NFILA=',13,'NCOL=',13,5
 NR=',14)

STOP

END

2.4.2. GRAFI

Este es un programa de graficación muy versátil, y es utilizado en la opción PLOT para graficar el perfil topográfico de una - trayectoria y las pérdidas de transmisión sufridas por una señal a lo largo de dicha trayectoria.

SUBROUTINE GRAFI(DELTAQ,M,NF,MAX,DELTAI,1)

G R A F I

* ROUTINA DE GRAFICACION DEL PERFIL TOPOGRAFICO Y DE LAS
* PERDIDAS DE TRANSMISION A LO LARGO DE UNA TRAYECTORIA

AUTOR GERMAN LOPEZ MONCAYO

DIMENSION DELTAQ(2,400),LINE(101),L(11),LETRA(2)
CHARACTER*1 LETRA,JN,JF,JI,JB,JC,LINE
REAL L

DATA LETRA/' ',' '
DATA JN,JF,JI,JB,JC/'-',' ',' ',' ',' ',' 'S'
NS=MAX
IF(NS.NE.999)GO TO 40

***** REESCALE DATOS PARA COBRIR TODO EL RANGO ORDINARIO *****

NS=100
YMAX=-1.E+50
YMIN= 1.E+50
DO 15 J=1,M
DO 15 I=1,NF
IF(DELTAQ(J,I).GT.YMAX)YMAX=DELTAQ(J,I)
IF(DELTAQ(J,I).LT.YMIN)YMIN=DELTAQ(J,I)
15 CONTINUE
RANGE=YMAX-YMIN
TEMP=100./RANGE
DO 25 J=1,M
DO 20 I=1,NF
20 DELTAQ(J,I)=(DELTAQ(J,I)-YMIN)*TEMP
25 CONTINUE
WRITE(6,35)
35 FORMAT(1X)
40 DO 45 I=1,101
45 LINE(I)=JB
N=1

***** IMPRIMA ESCALA ORDINARIA *****

FACT=(YMAX-YMIN)/10.0
L(1)=YMIN
DO 50 I=2,11
K=I-1
50 L(I)=L(K)+FACT
IF(I.EQ.0)GO TO 455
WRITE(6,454)(L(I),I=1,11)
454 FORMAT(1X,'D (KM)',10(F5.0,5X),F5.0,1X,'P(0B) ')
GO TO 65
455 WRITE(6,55)(L(I),I=1,11)
55 FORMAT(1X,'D (KM)',10(F5.0,5X),F5.0,1X,'P (R) ')
GO TO 65
60 IF((N-1)/10-(N-2)/10)/75,75,65

***** CONSTRUYA ESCALA GRAFICA ORDINARIA *****



```

65 ND=0
   DC 70 I=1,10
   ND=ND+1
   LINE(ND)=JP
70 DC 70 J=1,9
   ND=ND+1
70 LINE(ND)=JN
   LINE(101)=JP
   GO TO 85

```

***** CONSTRUYA UNA LINEA DE ABSCISA GRAFICA *****

```

75 DC 80 I=1,101,10
80 LINE(I)=JI

```

***** CAMBIE LOS VALORES NUMERICOS A LETRAS *****

```

85 IF(N.GT.NF)GO TO 115
   DC 110 I=1,M
   XNS=NS
   JA=DELTA(I,N)+101.499999-XNS
   IF(JA-101)90,105,95
90 IF(JA)100,100,105
95 LINE(101)=JZ
   GO TO 110
100 LINE(I)=JZ
   GO TO 110
105 LINE(JA)=LETRA(I)
110 CONTINUE

```

***** IMPRIMA LINEA DE DATOS *****

```

   GO TO 130
115 IF((N-1)/10-(N-2)/10)125,125,120
120 WRITE(6,140)T,LINE
   GO TO 155
125 WRITE(6,140)T,LINE
   GO TO 155
130 IF(N.EQ.1)GO TO 135
   IF((N-1)/10-(N-2)/10)145,145,135
135 NI=N-1
   DELTA(I,N)=DELTA(I,N)/TEMP+YMIN
   WRITE(6,140)T,LINE,DELTA(I,N)
140 FORMAT(1X,F6.2,3X,101A1,1X,F6.1)
   GO TO 155
145 DELTA(I,N)=DELTA(I,N)/TEMP+YMIN
   WRITE(6,140)T,LINE,DELTA(I,N)

```

***** COLOCQUE VARIABLES DE LINEAS A CERO *****

```

155 DC 160 I=1,101
160 LINE(I)=JB
   N=N+1
   T=T+DELTA
   IF(N-NF)60,60,165
165 RETURN
   END

```

2.5. CORRIDAS DE PRUEBA

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las diferentes opciones de ejecución del programa "LOSSES", a excepción de la opción GRABA ya que ésta se encarga de alimentar los datos topográficos del terreno al archivo en disco, el cual luego será utilizado en las demás opciones.

2.5.1. Opción Lista

Esta opción de ejecución reproduce en un listado los datos topográficos del terreno almacenados en el archivo en disco.

Para ejecutar esta opción la variable de entrada LISTA debe tener valor \emptyset .

2.5.2. Opción SOLVE

Esta opción se ejecuta cuando la variable de entrada $SOLVE = g$.

Aquí se recorren todas las trayectorias radiales, se ejecutan los cálculos de las pérdidas de transmisión sufridas por la señal a lo largo de cada trayectoria y finalmente se imprimen los resultados.

Con la información obtenida sería posible dibujar sobre un mapa curvas equipotenciales de la señal, y estudiar así los contornos de la intensidad de campo de dicha señal.

2.5.3. Opción PLOT

Se ejecuta asignando valor 0 a la variable de entrada PLOT.

Esta opción realiza los mismos cálculos que la opción SOLVE, pero para una sola trayectoria predeterminada.

Además se vale de la subrutina de graficación "GRAFI" obteniendo así los gráficos H vs. D y FAT vs. D.

El primer gráfico nos muestra el perfil topográfico de la trayectoria y el segundo nos permite visualizar las pérdidas sufridas por la señal a lo largo de la misma.

Esta opción es particularmente útil para estudiar el comportamiento de una señal a lo largo de cualquier trayectoria de interés para nosotros.



PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHZ
 PCS. TRMTR=913685

DMAX= 12 KM
 HO= 425 M

A1= 20 M
 G1= 0. DB

A2= 20 M
 G2= 0. DB

TRAYECTORIA A Q. GROS REF. MAPA INC. NACIONAL CT-MV-02,3987 1

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
913688	0.25	370	96.0	0.0	96.0
913690	0.50	320	102.0	0.0	102.0
913693	0.75	300	105.5	0.0	105.5
913695	1.00	330	108.0	0.0	108.0
913698	1.25	360	109.9	0.0	109.9
913700	1.50	350	111.5	0.0	111.5
913703	1.75	310	112.9	17.7	130.6
913705	2.00	300	114.0	2.7	116.7
913708	2.25	270	115.0	21.2	136.3
913710	2.50	240	116.0	25.4	141.3
913713	2.75	250	116.8	7.2	124.0
913715	3.00	260	117.5	0.0	117.5
913718	3.25	260	118.2	0.0	118.2
913720	3.50	220	118.9	20.8	139.7
913723	3.75	230	119.5	0.0	119.5
913725	4.00	230	120.0	0.0	120.0
913728	4.25	230	120.6	0.0	120.6
913730	4.50	240	121.1	0.0	121.1
913733	4.75	220	121.5	0.0	121.5
913735	5.00	220	122.0	0.0	122.0
913738	5.25	220	122.4	0.0	122.4
913740	5.50	220	122.6	0.0	122.6
913743	5.75	210	123.2	0.0	123.2
913745	6.00	200	123.6	0.0	123.6
913748	6.25	200	123.9	0.0	123.9
913750	6.50	200	124.3	0.0	124.3
913753	6.75	180	124.6	0.0	124.6
913755	7.00	180	124.9	0.0	124.9
913758	7.25	180	125.2	0.0	125.2
913760	7.50	180	125.5	0.0	125.5
913763	7.75	170	125.8	0.0	125.8
913765	8.00	160	126.1	0.0	126.1
913768	8.25	180	126.3	0.0	126.3
913770	8.50	160	126.6	0.0	126.6
913773	8.75	140	126.8	15.2	142.1
913775	9.00	140	127.1	0.0	127.1
913778	9.25	140	127.3	0.0	127.3
913780	9.50	130	127.6	0.0	127.6
913783	9.75	120	127.8	0.0	127.8
913785	10.00	120	128.0	0.0	128.0
913788	10.25	120	128.2	0.0	128.2

GRAFICO H VS. D

UN
25

F = 6000. MHz
 POS. ILMIN=913585
 DMAX = 12 KM
 H0 = 425 M
 REF. MAPA IND. NACIONAL CI-IV-B2, 3587 I

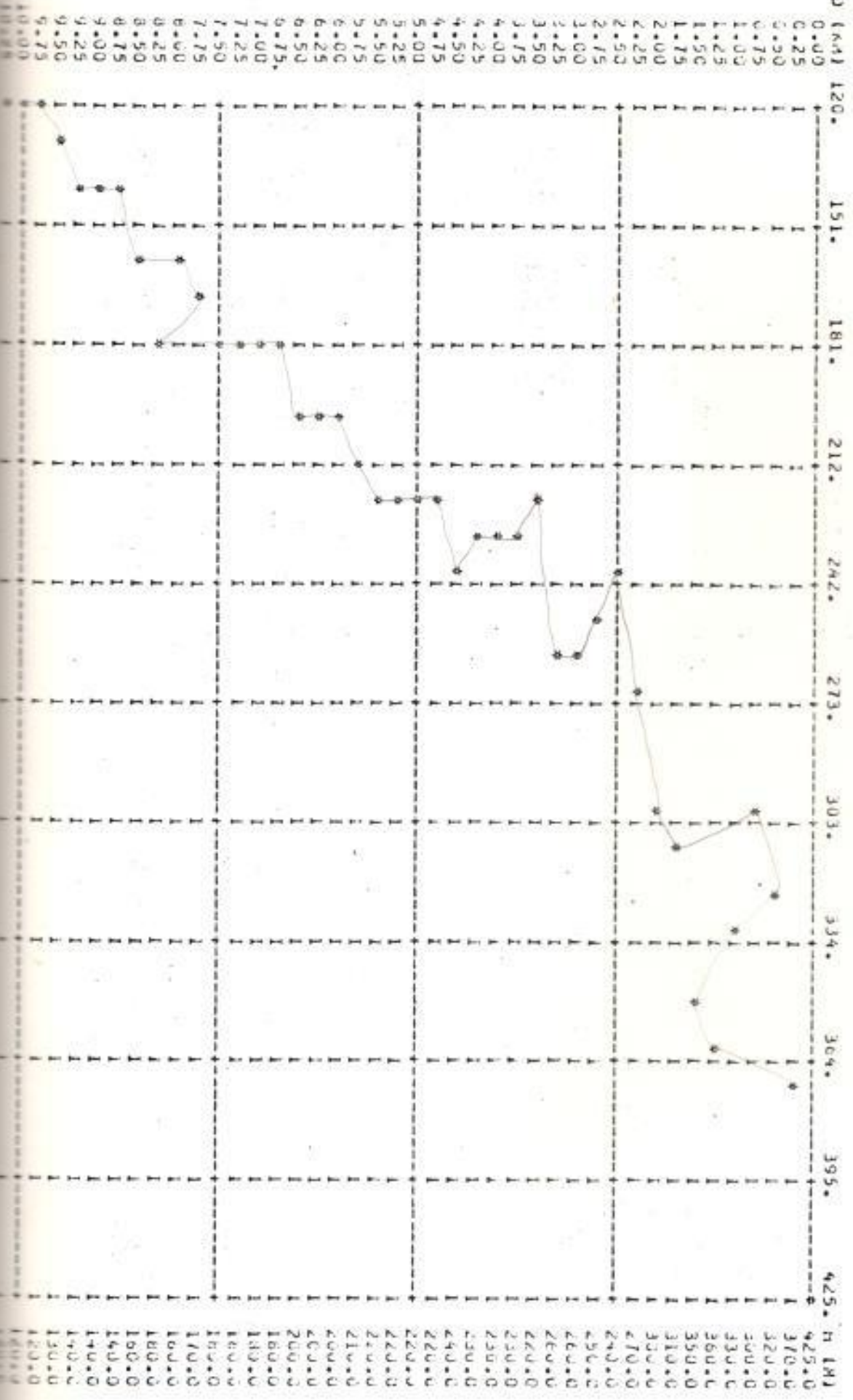
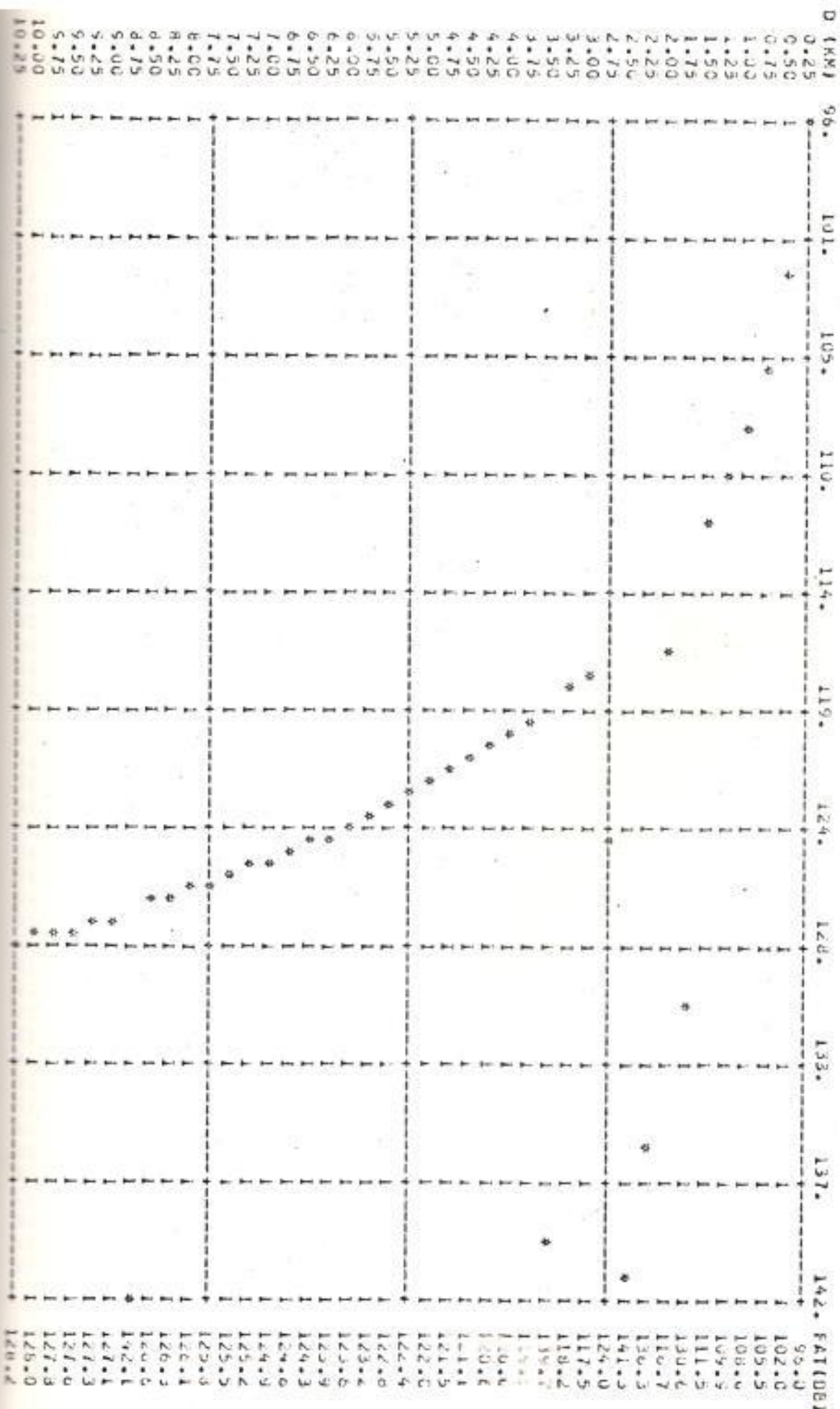


GRAFICO FAT VS D

F = 6000. MHz
 PUS. INKTH=913685
 DMAX = 12 NM
 H0 = 425 M
 A1 = 20 M
 G1 = 0.08
 A2 = 40 M
 G2 = 0.08

TRAYECTORIA A 0. GR05 REF. MAPA INO. NACIONAL CT-MV-82,3587 I





PERDIDAS DE TRANSMISION.

F= 6000. MHz
 PCS. TRMTR=913685

DMAX= 12 KM
 HD= 425 M

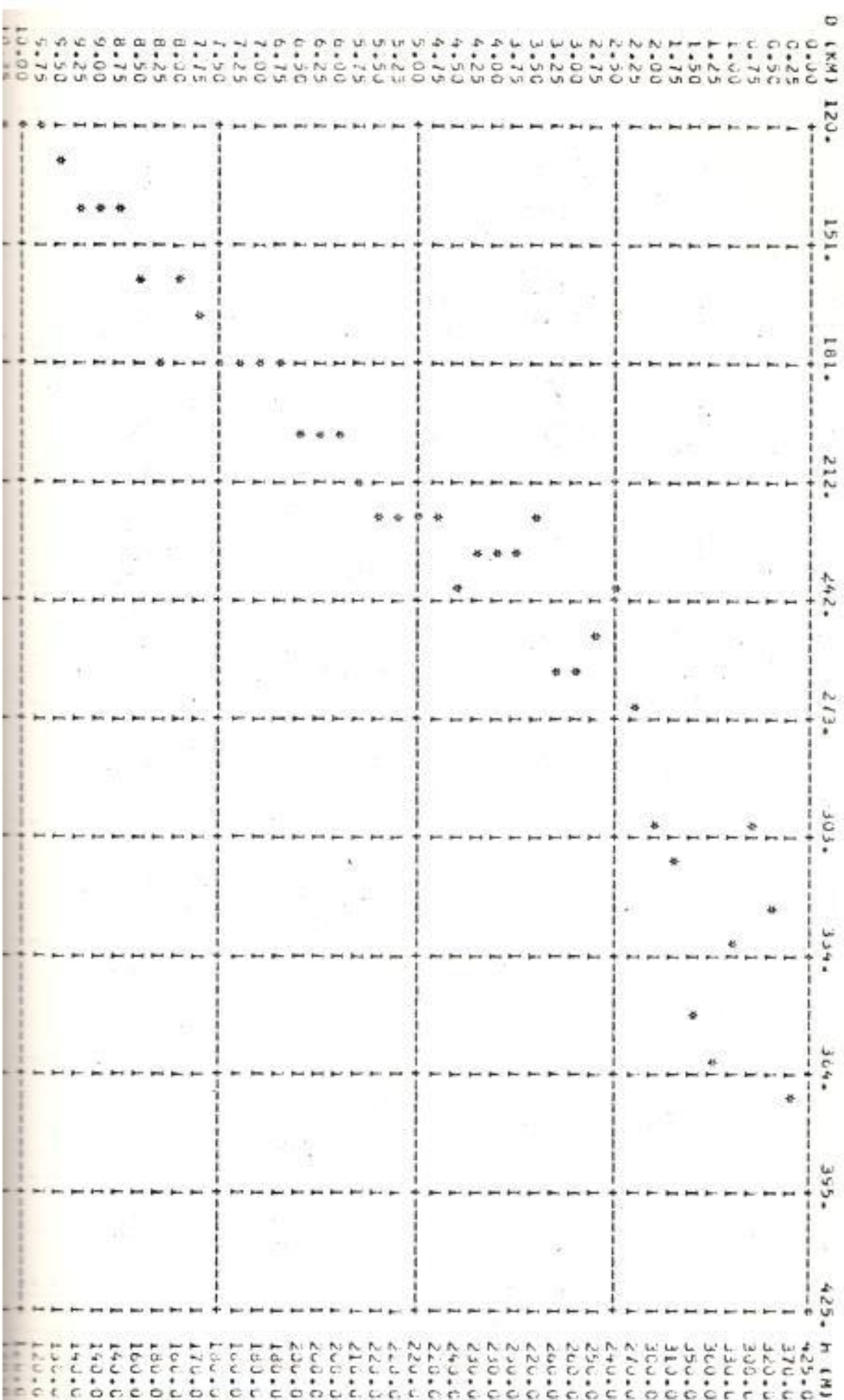
A1= 40 M
 G1= 0. DB

A2= 40 M
 G2= 0. DB

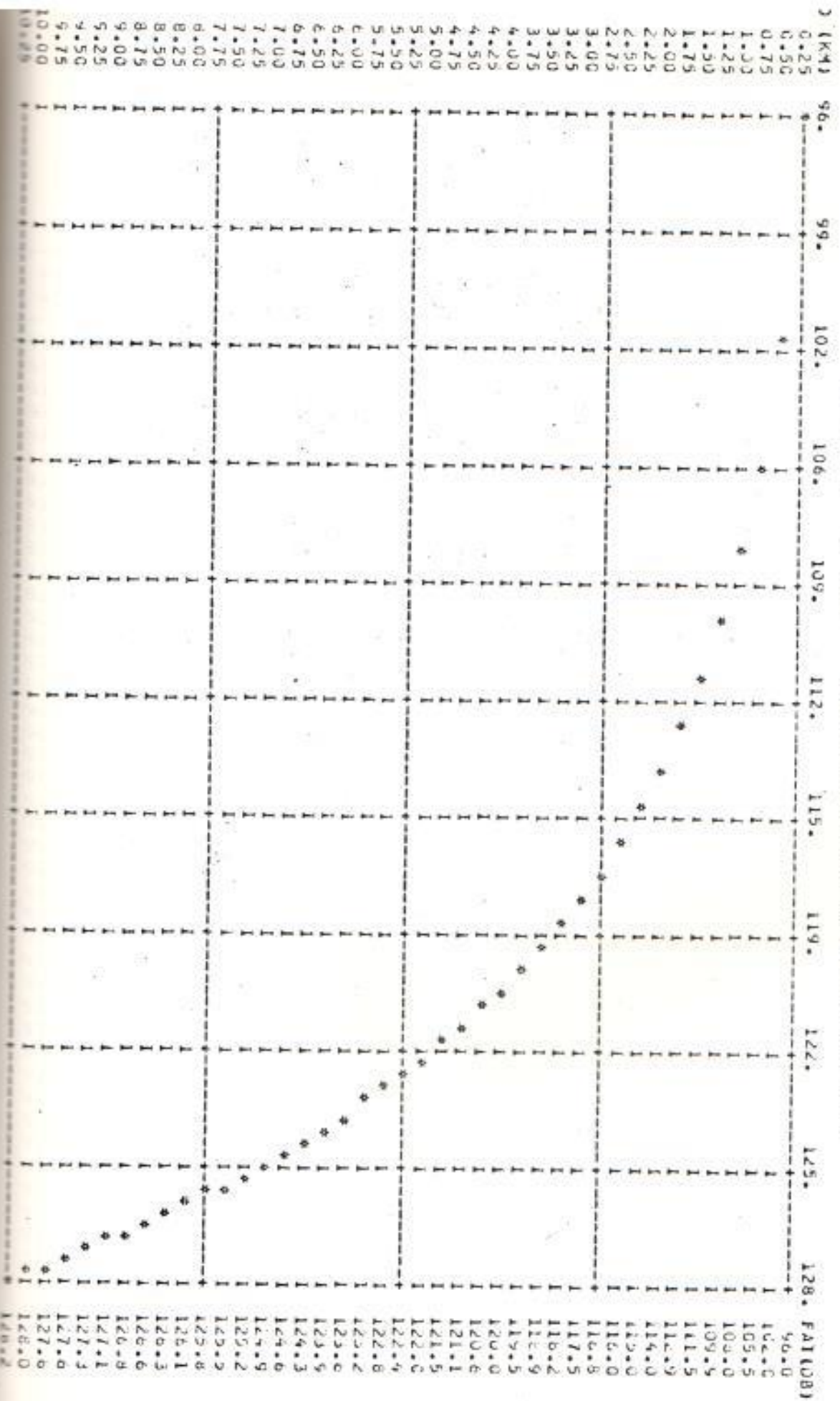
TRAYECTORIA A O. GROS. REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-B2,3987 I

POS RCVR	G (KM)	F (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
913688	0.25	370	96.0	0.0	96.0
913690	0.50	320	102.0	0.0	102.0
913693	0.75	300	105.5	0.0	105.5
913695	1.00	330	108.0	0.0	108.0
913698	1.25	360	109.9	0.0	109.9
913700	1.50	350	111.5	0.0	111.5
913703	1.75	310	112.9	0.0	112.9
913705	2.00	300	114.0	0.0	114.0
913708	2.25	270	115.0	0.0	115.0
913710	2.50	240	116.0	0.0	116.0
913713	2.75	250	116.8	0.0	116.8
913715	3.00	260	117.5	0.0	117.5
913718	3.25	260	118.2	0.0	118.2
913720	3.50	220	118.9	0.0	118.9
913723	3.75	230	119.5	0.0	119.5
913725	4.00	230	120.0	0.0	120.0
913728	4.25	230	120.6	0.0	120.6
913730	4.50	240	121.1	0.0	121.1
913733	4.75	220	121.5	0.0	121.5
913735	5.00	220	122.0	0.0	122.0
913738	5.25	220	122.4	0.0	122.4
913740	5.50	220	122.8	0.0	122.8
913743	5.75	210	123.2	0.0	123.2
913745	6.00	200	123.6	0.0	123.6
913748	6.25	200	123.9	0.0	123.9
913750	6.50	200	124.3	0.0	124.3
913753	6.75	180	124.6	0.0	124.6
913755	7.00	180	124.9	0.0	124.9
913758	7.25	180	125.2	0.0	125.2
913760	7.50	180	125.5	0.0	125.5
913763	7.75	170	125.8	0.0	125.8
913765	8.00	160	126.1	0.0	126.1
913768	8.25	180	126.3	0.0	126.3
913770	8.50	160	126.6	0.0	126.6
913773	8.75	140	126.8	0.0	126.8
913775	9.00	140	127.1	0.0	127.1
913778	9.25	140	127.3	0.0	127.3
913780	9.50	130	127.6	0.0	127.6
913783	9.75	120	127.8	0.0	127.8
913785	10.00	120	128.0	0.0	128.0
913788	10.25	120	128.2	0.0	128.2

F = 0000. MHz
 POS. FMIR=915085
 DMAX = 12 KM
 H0 = 425 M
 REF. MAPA INO. NACIONAL CI-2V-82-5507 I



F = 6000 Mhz DRAX = 14 KM AL = 40 M A2 = 40 M
 POS. TAMIR = 513685 HO = 425 M O1 = 0. DB O2 = 0. DB
 TRAYECTORIA A O. GRUS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-24V-02,3587 I





PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 4000. MHZ
 PUS. TKMR=913685

EMAX= 12 KM
 RO= 425 M

A1= 40 M
 G1= 0. DB

A2= 40 M
 G2= 0. DB

TRAYECTORIA A O. GROS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-32,3587 1

POS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
913688	0.25	370	92.4	0.0	92.4
913690	0.50	320	98.5	0.0	98.5
913693	0.75	300	102.0	0.0	102.0
913695	1.00	330	104.5	0.0	104.5
913698	1.25	360	106.4	0.0	106.4
913700	1.50	350	108.0	0.0	108.0
913703	1.75	310	109.3	0.0	109.3
913705	2.00	300	110.5	0.0	110.5
913708	2.25	270	111.5	0.0	111.5
913710	2.50	240	112.4	0.0	112.4
913713	2.75	250	113.3	0.0	113.3
913715	3.00	260	114.0	0.0	114.0
913718	3.25	260	114.7	0.0	114.7
913720	3.50	220	115.4	0.0	115.4
913723	3.75	230	116.0	0.0	116.0
913725	4.00	230	116.5	0.0	116.5
913728	4.25	230	117.0	0.0	117.0
913730	4.50	240	117.5	0.0	117.5
913733	4.75	220	118.0	0.0	118.0
913735	5.00	220	118.5	0.0	118.5
913738	5.25	220	118.9	0.0	118.9
913740	5.50	220	119.3	0.0	119.3
913743	5.75	210	119.7	0.0	119.7
913745	6.00	200	120.0	0.0	120.0
913748	6.25	200	120.4	0.0	120.4
913750	6.50	200	120.7	0.0	120.7
913753	6.75	180	121.1	0.0	121.1
913755	7.00	180	121.4	0.0	121.4
913758	7.25	180	121.7	0.0	121.7
913760	7.50	180	122.0	0.0	122.0
913763	7.75	170	122.3	0.0	122.3
913765	8.00	160	122.5	0.0	122.5
913768	8.25	160	122.8	0.0	122.8
913770	8.50	160	123.1	0.0	123.1
913773	8.75	140	123.3	0.0	123.3
913775	9.00	140	123.6	0.0	123.6
913778	9.25	140	123.8	0.0	123.8
913780	9.50	130	124.0	0.0	124.0
913783	9.75	120	124.3	0.0	124.3
913785	10.00	120	124.5	0.0	124.5
913788	10.25	120	124.7	0.0	124.7

F = 4000 MHz UMAX = 12 KM
 POS. INTR=913685 HQ = 425 M
 TRAYECTORIA A O. GROS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3587 1
 A1 = 40 M G1 = 0.08
 A2 = 40 M G2 = 0.08

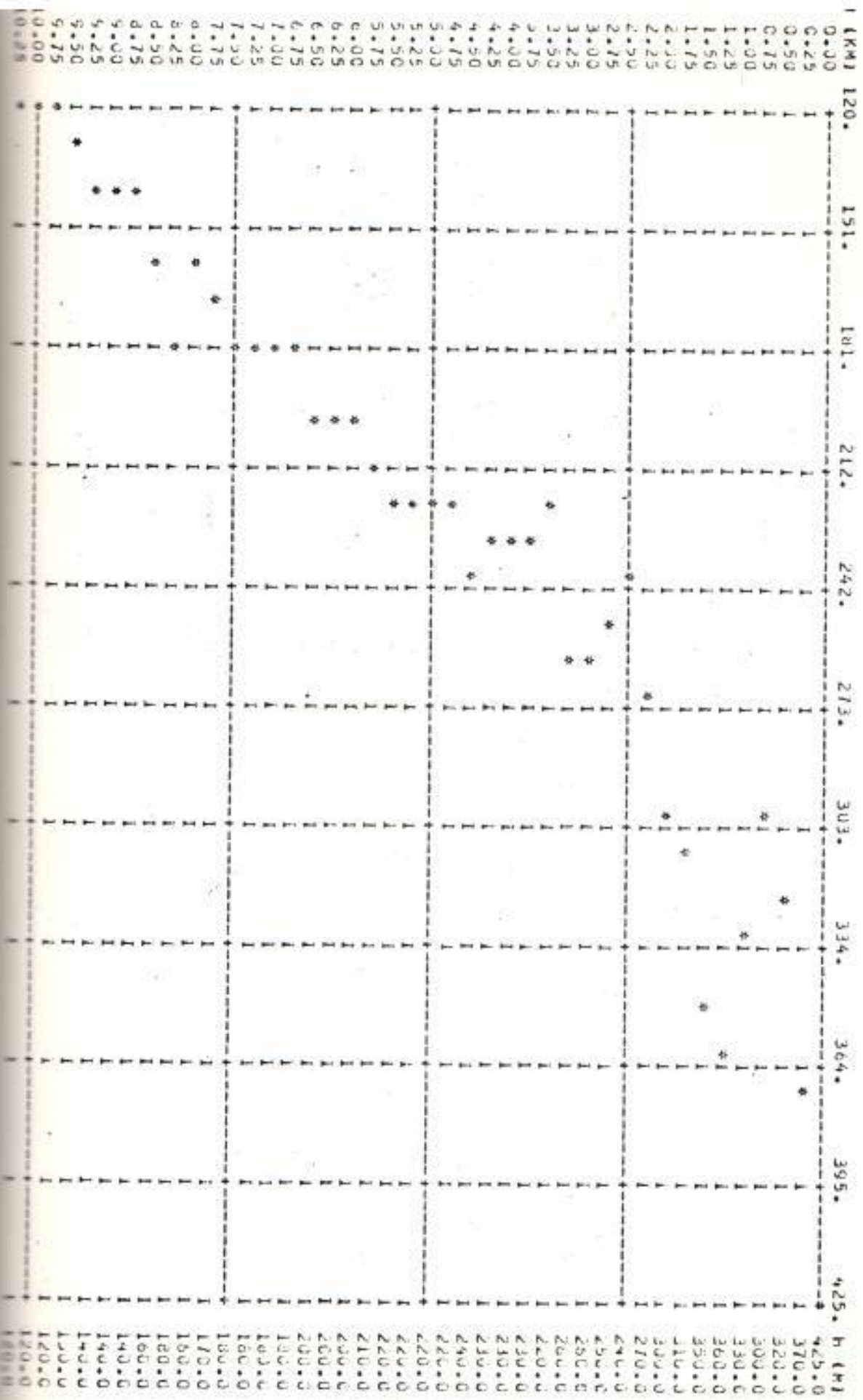
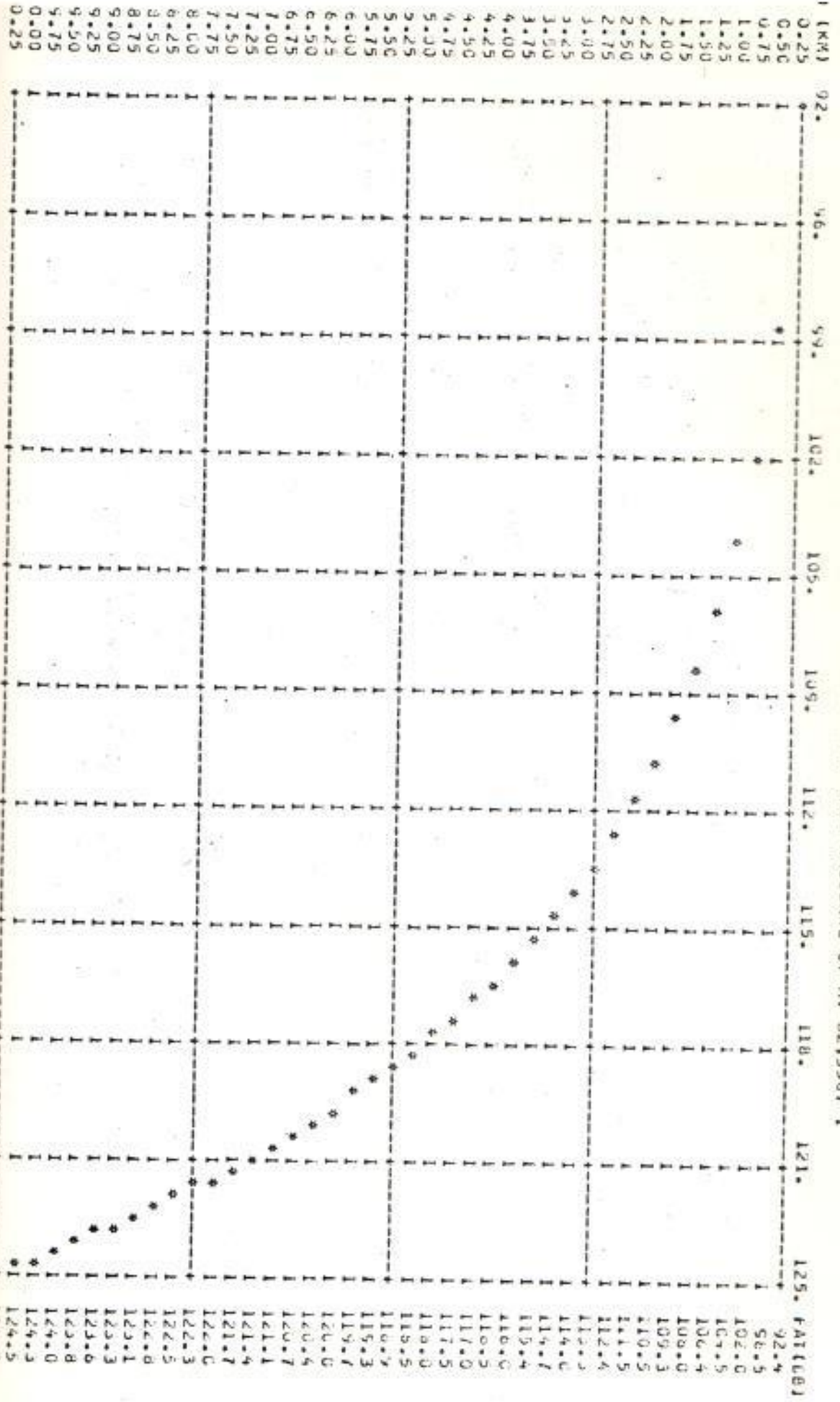


GRAFICO FA1 VS D

F = 4000. MHz DMAX = 12 KM ALT = 40 M A2 = 40 M
 POS = 14MTR=513605 HO = 425 M CL = 0. DB G2 = 0. CR

TRAYECTORIA A 0. GRD5 REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3587 I





PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHZ QMAX= 12 KM A1= 20 M A2= 20 M
 PCS. TRMTR=913685 HQ= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA INO. NACIONAL CT-MV-B2,3587 1

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
915685	0.25	310	96.0	0.0	96.0
918685	0.50	340	102.0	0.0	102.0
920685	0.75	370	105.5	0.0	105.5
923685	1.00	340	108.0	0.0	108.0
925685	1.25	370	109.5	0.0	109.9
928685	1.50	320	111.5	25.9	137.4
930685	1.75	390	112.5	0.0	112.9
933685	2.00	380	114.0	0.0	114.0
935685	2.25	330	115.0	26.0	141.0
938685	2.50	360	116.0	0.0	116.0
940685	2.75	380	116.8	0.0	116.8
943685	3.00	390	117.5	0.0	117.5
945685	3.25	330	118.2	26.0	144.2
948685	3.50	260	118.5	26.0	144.9
950685	3.75	220	119.5	26.0	145.5
953685	4.00	190	120.0	26.0	146.0
955685	4.25	180	120.6	26.0	146.6
958685	4.50	180	121.1	26.0	147.1
960685	4.75	190	121.5	26.0	147.5
963685	5.00	200	122.0	26.0	148.0
965685	5.25	210	122.4	26.0	148.4
968685	5.50	210	122.8	26.0	148.8
970685	5.75	220	123.2	26.0	149.2
973685	6.00	220	123.6	26.0	149.6
975685	6.25	210	123.9	26.0	149.9
978685	6.50	180	124.3	26.0	150.3
980685	6.75	180	124.6	26.0	150.6
983685	7.00	180	124.9	26.0	150.9
985685	7.25	220	125.2	25.6	150.9
988685	7.50	210	125.5	25.7	151.2
990685	7.75	200	125.8	25.7	151.5
993685	8.00	190	126.1	25.8	151.8
995685	8.25	180	126.3	25.8	152.1
998685	8.50	180	126.6	25.7	152.3
685	8.75	150	126.8	25.5	152.7
3685	9.00	120	127.1	26.0	153.1
5685	9.25	120	127.3	26.0	153.3
8685	9.50	120	127.6	25.5	153.5
10685	9.75	140	127.8	25.7	153.5
13685	10.00	170	128.0	24.0	152.0
15685	10.25	140	128.2	25.3	153.5
18685	10.50	130	128.4	25.4	153.8
20685	10.75	140	128.6	24.7	153.4
23685	11.00	150	128.8	23.4	152.2



PERDIDAS DE TRANSMISION

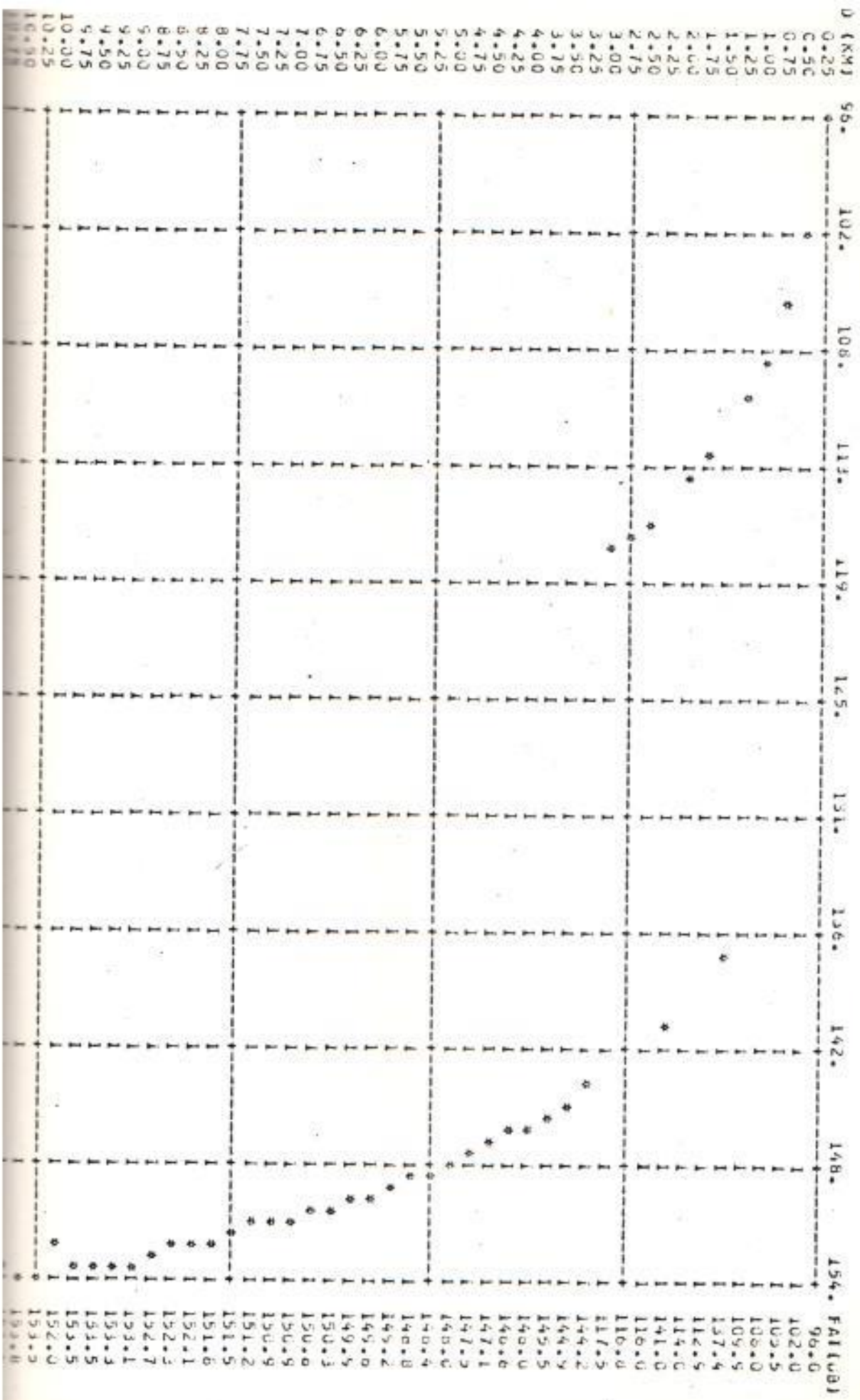
F= 6000. MHZ DMAX= 12 KM A1= 20 M A2= 20 M
 POS. TRMTR=913685 HG= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-52,3587 I

POS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAP (DB)	FAT (DB)
25685	11.25	150	129.0	22.5	151.6
28685	11.50	150	129.2	21.5	150.7
30685	11.75	140	129.4	22.2	151.6
33685	12.00	160	129.6	18.6	148.2

F = 6000. MHz
 POS. IRRITR=913685
 DMAX = 12 KM
 H0 = 425 M
 REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-02, 3587 I

A1 = 20 M
 C1 = 0. 08
 A2 = 20 M
 C2 = 0. 00





PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHz
 PUS. TRMTR=913685

OMAX= 12 KM
 HQ= 425 M

A1= 60 M
 G1= 0. DB

A2= 60 M
 G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRUS REF. MAPA IND. NACIONAL CI-MV-82,3587 1

PDS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
915685	0.25	310	96.0	0.0	96.0
918685	0.50	340	102.0	0.0	102.0
920685	0.75	370	105.5	0.0	105.5
923685	1.00	340	108.0	0.0	108.0
925685	1.25	370	109.9	0.0	109.9
928685	1.50	320	111.5	0.0	111.5
930685	1.75	390	112.9	0.0	112.9
933685	2.00	380	114.0	0.0	114.0
935685	2.25	330	115.0	0.0	115.0
938685	2.50	360	116.0	0.0	116.0
940685	2.75	380	116.8	0.0	116.8
943685	3.00	390	117.5	0.0	117.5
945685	3.25	330	118.2	0.0	118.2
948685	3.50	260	118.9	26.0	144.9
950685	3.75	220	119.5	26.0	145.5
953685	4.00	190	120.0	26.0	146.0
955685	4.25	180	120.6	26.0	146.6
958685	4.50	180	121.1	26.0	147.1
960685	4.75	190	121.5	26.0	147.5
963685	5.00	200	122.0	26.0	148.0
965685	5.25	210	122.4	25.8	148.2
968685	5.50	210	122.6	25.2	148.0
970685	5.75	220	123.2	26.2	149.4
973685	6.00	220	123.6	16.3	137.9
975685	6.25	210	123.9	16.9	140.8
978685	6.50	180	124.3	23.5	147.7
980685	6.75	160	124.6	20.8	145.4
983685	7.00	180	124.9	18.2	143.1
985685	7.25	220	125.2	0.0	125.2
988685	7.50	210	125.5	0.0	125.5
990685	7.75	200	125.8	0.0	125.8
993685	8.00	190	126.1	0.0	126.1
995685	8.25	180	126.3	0.0	126.3
998685	8.50	180	126.6	0.0	126.6
685	8.75	150	126.8	6.4	133.2
3685	9.00	120	127.1	14.8	141.9
5685	9.25	120	127.1	12.0	139.3
8685	9.50	120	127.6	6.9	136.5
10685	9.75	140	127.8	0.0	127.8
13685	10.00	170	128.0	0.0	128.0
15685	10.25	140	128.2	0.0	128.2
18685	10.50	130	128.4	0.0	128.4
20685	10.75	140	128.6	0.0	128.6
23685	11.00	150	128.8	0.0	128.8



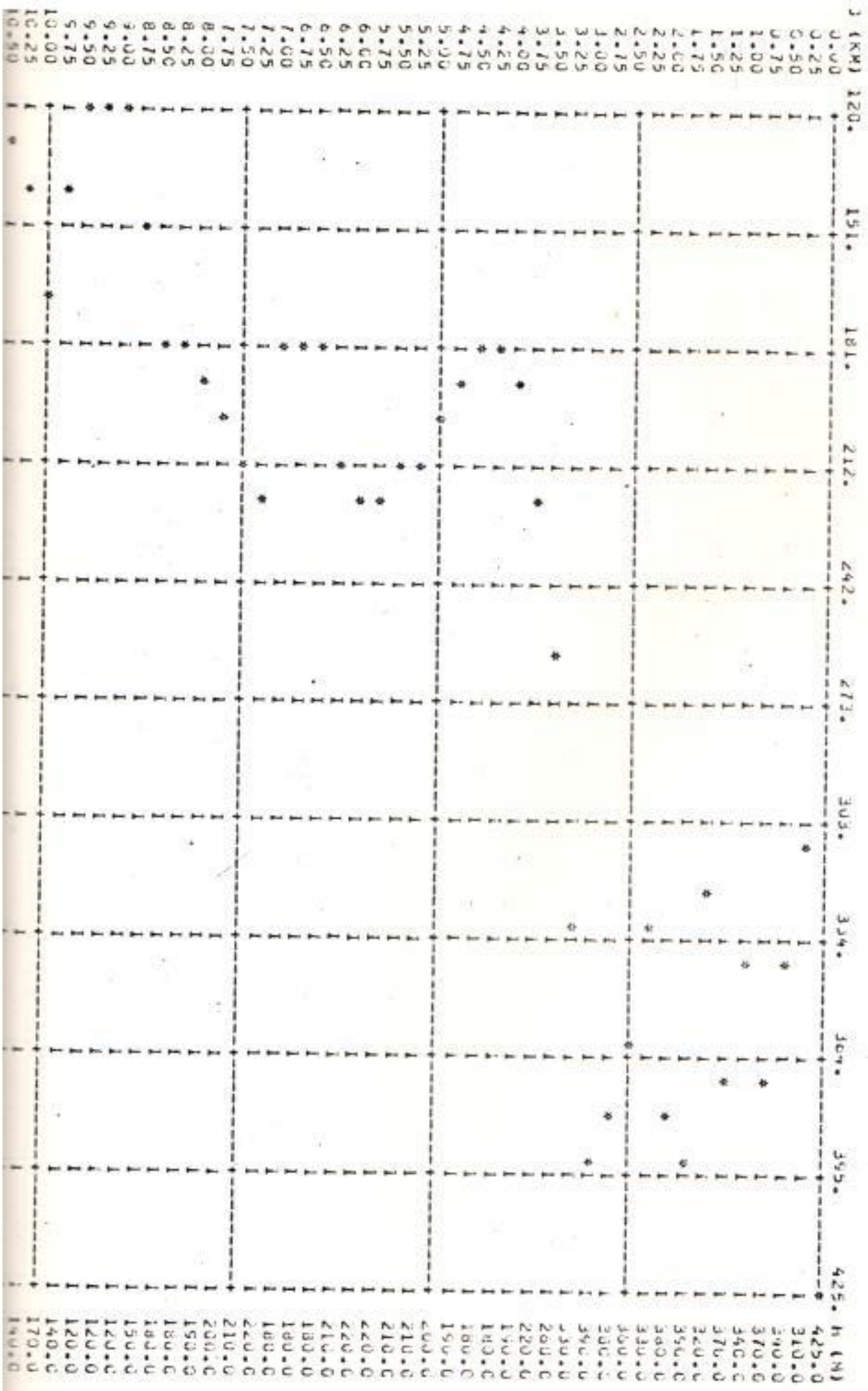
PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHZ DMAX= 12 KM A1= 60 M A2= 60 M
POS. TRMTR=913685 HQ= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

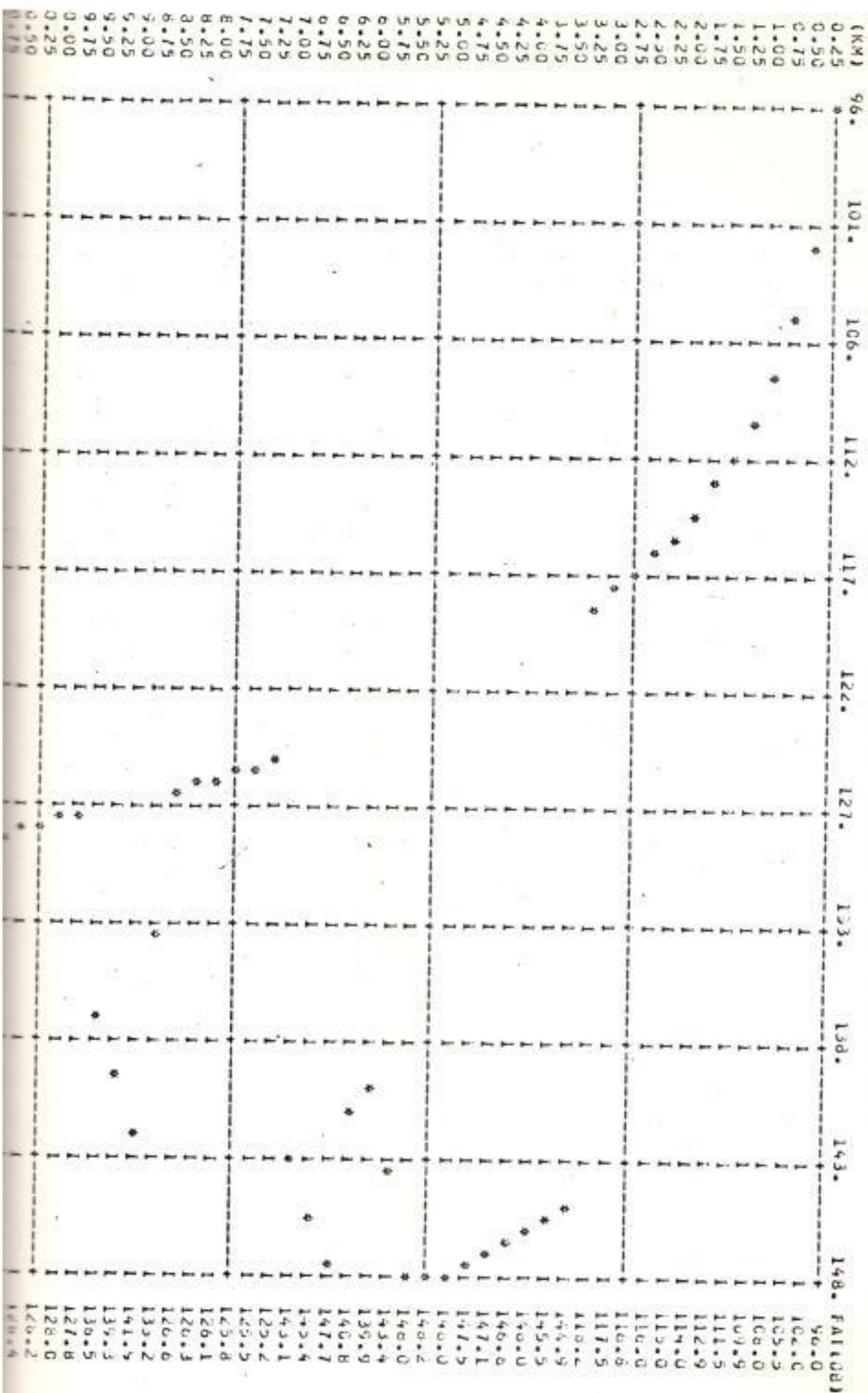
TRAYECTORIA A 90. GRUS REF. MAPA INC. NACIONAL CI-MV-B2,3587 1

POS RCVR	D (KM)	h (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
25685	11.25	150	129.0	0.0	129.0
28685	11.50	150	129.2	0.0	129.2
30685	11.75	140	129.4	0.0	129.4
33685	12.00	160	129.6	0.0	129.6

F = 6000. MHz UMAX = 12 KM AI = 00 M A2 = 60 M
 FCS. TANTH=913685 HO = 425 M GI = 0. DB G2 = 0. DB
 TRAYECTORIA A 90. GRUS REF. MAPA IND. NACIONAL CI-MV-02,3587 I



F = 4000. MHz DMAX = 12 KM AL = 60 M A2 = 60 M
 POS. TRMTR = 513685 HO = 425 M G1 = 0.00 G2 = 0.00
 TRAYECTORIA A 90.000S REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-D2, 3587 I





PERDICAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHZ
 POS. TRMTR=913685

OMAX= 12 KM
 HO= 425 M

A1= 100 M
 G1= 0. GB

A2= 100 M
 G2= 0. GB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA INC. NACIONAL CT-MV-82,3587 1

POS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
915685	0.25	310	96.0	0.0	96.0
918685	0.50	340	102.0	0.0	102.0
920685	0.75	370	105.9	0.0	105.5
923685	1.00	340	108.0	0.0	108.0
925685	1.25	370	109.9	0.0	109.9
928685	1.50	320	111.9	0.0	111.9
930685	1.75	390	112.9	0.0	112.9
933685	2.00	380	114.0	0.0	114.0
935685	2.25	330	115.0	0.0	115.0
938685	2.50	360	116.0	0.0	116.0
940685	2.75	380	116.8	0.0	116.8
943685	3.00	390	117.5	0.0	117.5
945685	3.25	330	118.2	0.0	118.2
948685	3.50	260	118.9	19.8	138.7
950685	3.75	220	119.5	26.0	145.5
953685	4.00	150	120.0	26.0	146.0
955685	4.25	180	120.6	26.0	146.6
958685	4.50	180	121.1	25.9	147.0
960685	4.75	190	121.5	22.3	143.8
963685	5.00	200	122.0	6.5	128.5
965685	5.25	210	122.4	0.0	122.4
968685	5.50	210	122.8	0.0	122.8
970685	5.75	220	123.2	0.0	123.2
973685	6.00	220	123.6	0.0	123.6
975685	6.25	210	123.9	0.0	123.9
978685	6.50	180	124.3	0.0	124.3
980685	6.75	180	124.6	0.0	124.6
983685	7.00	180	124.9	0.0	124.9
985685	7.25	220	125.2	0.0	125.2
988685	7.50	210	125.5	0.0	125.5
990685	7.75	200	125.8	0.0	125.8
993685	8.00	190	126.1	0.0	126.1
995685	8.25	180	126.3	0.0	126.3
998685	8.50	180	126.6	0.0	126.6
685	8.75	150	126.8	0.0	126.8
3685	9.00	120	127.1	0.0	127.1
5685	9.25	120	127.3	0.0	127.3
8685	9.50	120	127.6	0.0	127.6
10685	9.75	140	127.8	0.0	127.8
13685	10.00	170	128.0	0.0	128.0
15685	10.25	140	128.2	0.0	128.2
18685	10.50	130	128.4	0.0	128.4
20685	10.75	140	128.6	0.0	128.6
23685	11.00	150	128.8	0.0	128.8



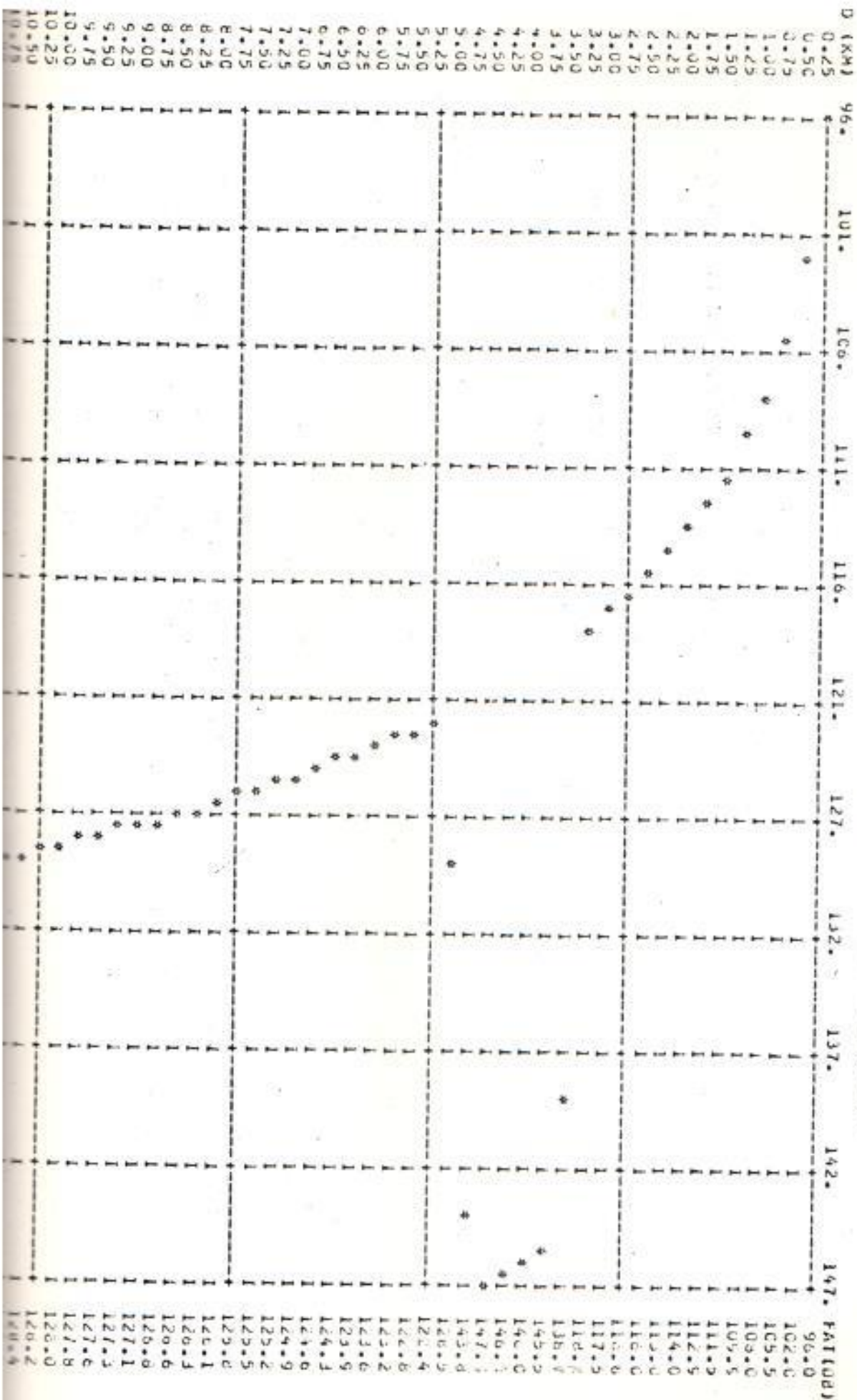
PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHz DMAX= 12 KM A1= 100 M A2= 100 M
 POS. TRMTR=913685 HD= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3567 I

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
25685	11.25	150	129.0	0.0	129.0
28685	11.50	150	129.2	0.0	129.2
30685	11.75	140	129.4	0.0	129.4
33685	12.00	160	129.6	0.0	129.6

F = 6000. MHz DMAX = 12 KM A1 = 100 M A2 = 100 M
 PLS. INMIK=513685 HO = 425 M C1 = 0.08 C2 = 0.08
 TRAYECTORIA A 90.6NUS REF. MAPA IND. NACIONAL CI-MV-04,3587 J





PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 6000. MHz DMAX= 12 KM A1= 150 M A2= 150 M
 PQS. TRMTR=913685 H0= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3587 I

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAI (DB)
915685	0.25	310	96.0	0.0	96.0
918685	0.50	340	102.0	0.0	102.0
920685	0.75	370	105.5	0.0	105.5
923685	1.00	340	108.0	0.0	108.0
925685	1.25	370	109.9	0.0	109.9
928685	1.50	320	111.5	0.0	111.5
930685	1.75	390	112.9	0.0	112.9
933685	2.00	380	114.0	0.0	114.0
935685	2.25	330	115.0	0.0	115.0
938685	2.50	360	116.0	0.0	116.0
940685	2.75	380	116.8	0.0	116.8
943685	3.00	390	117.5	0.0	117.5
945685	3.25	330	118.2	0.0	118.2
948685	3.50	260	118.9	0.0	118.9
950685	3.75	220	119.5	0.0	119.5
953685	4.00	190	120.0	0.0	120.0
955685	4.25	180	120.6	0.0	120.6
958685	4.50	180	121.1	0.0	121.1
960685	4.75	190	121.5	0.0	121.5
963685	5.00	200	122.0	0.0	122.0
965685	5.25	210	122.4	0.0	122.4
968685	5.50	210	122.8	0.0	122.8
970685	5.75	220	123.2	0.0	123.2
973685	6.00	220	123.6	0.0	123.6
975685	6.25	210	123.9	0.0	123.9
978685	6.50	180	124.3	0.0	124.3
980685	6.75	180	124.6	0.0	124.6
983685	7.00	180	124.9	0.0	124.9
985685	7.25	220	125.2	0.0	125.2
988685	7.50	210	125.5	0.0	125.5
990685	7.75	200	125.8	0.0	125.8
993685	8.00	190	126.1	0.0	126.1
995685	8.25	180	126.3	0.0	126.3
998685	8.50	180	126.6	0.0	126.6
685	8.75	190	126.8	0.0	126.8
3685	9.00	120	127.1	0.0	127.1
5685	9.25	120	127.3	0.0	127.3
8685	9.50	120	127.6	0.0	127.6
10685	9.75	140	127.8	0.0	127.8
13685	10.00	170	128.0	0.0	128.0
15685	10.25	140	128.2	0.0	128.2
18685	10.50	130	128.4	0.0	128.4
20685	10.75	140	128.6	0.0	128.6
23685	11.00	150	128.8	0.0	128.8



PERDIDAS DE TRANSMISION

276
CESERCOMP - ESPOL

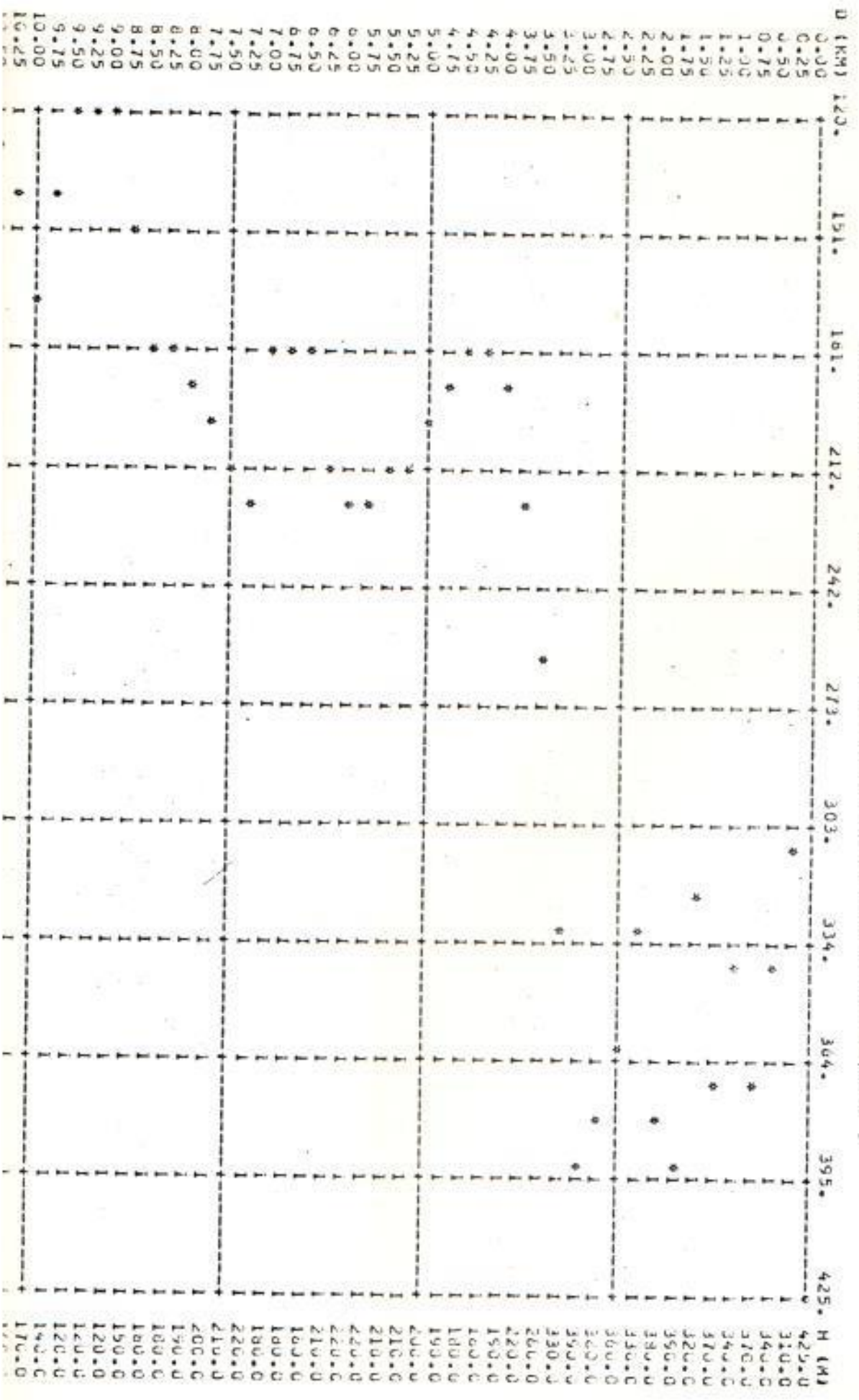
F= 6000. MHz DMAX= 12 KM A1= 150 M A2= 150 M
PUS. TRMTR=913685 h0= 429 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3587 1

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAE (DB)	FAI (DB)
25685	11.25	150	129.0	0.0	129.0
28685	11.50	150	129.2	0.0	129.2
30685	11.75	140	129.4	0.0	129.4
33685	12.00	160	129.6	0.0	129.6

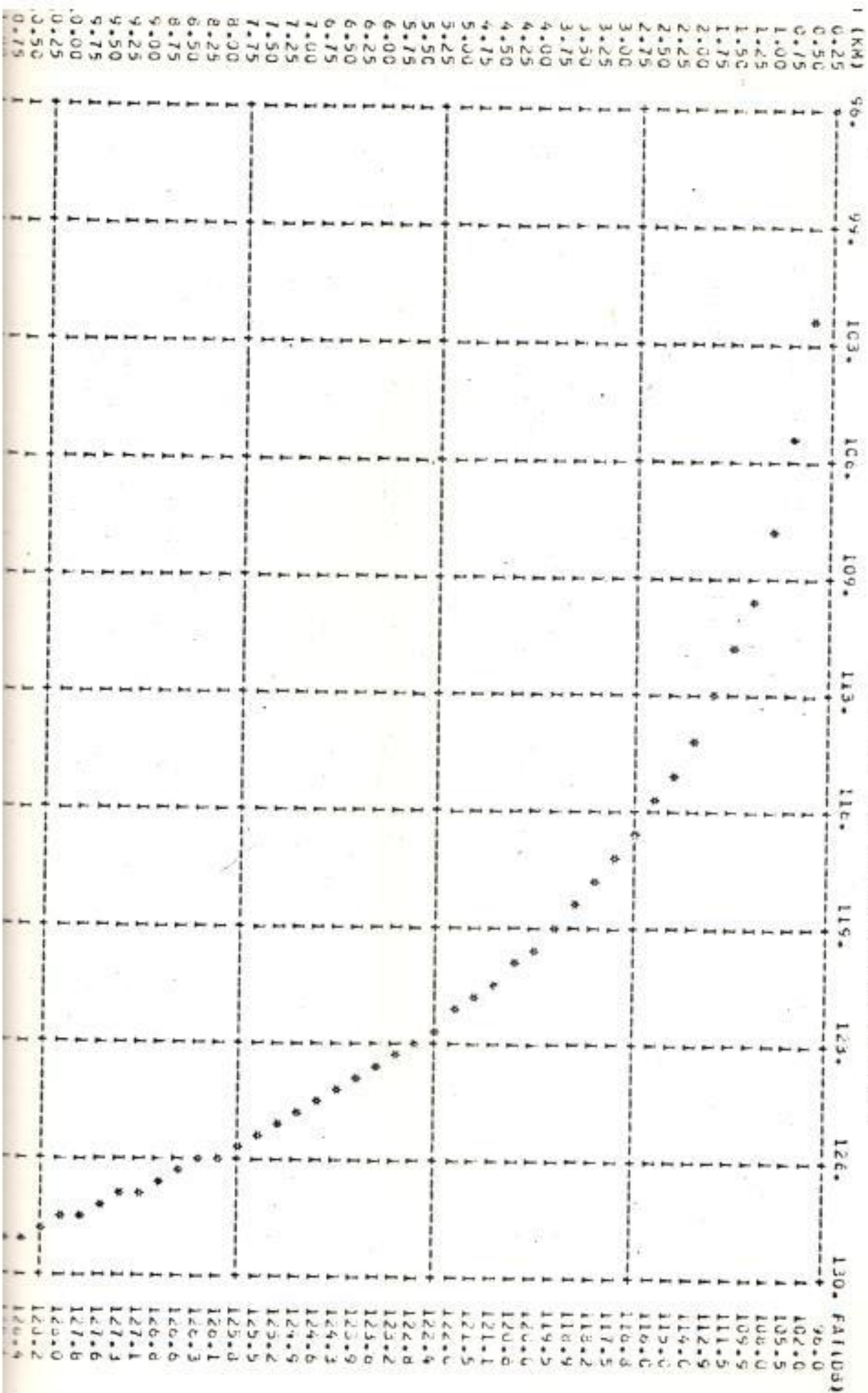
GRAFICO H VS. D

F = 6000 MHZ OMAX = 12 KM
 POS. FMMTH = 513685 H0 = 425 M
 TRAYECTORIA A 90. GRDOS REF. MAPA IND. NACIONAL CI-RV-07-5587 I
 A1 = 150 M A2 = 150 M
 G1 = 0. LB G2 = 0. LB



F = 6000 MHZ DRAX = 12 KM AL = 150 M A2 = 150 M
 POS. TRMTR=913685 H0 = 425 M G1 = 0.03 G2 = 0.03

TRAJECTORIA A 90. GROS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-RV-32,3587 I





PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 2300. MHZ DMAX= 12 KM A1= 150 M A2= 150 M
 POS. TRMTR=913685 HO= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-32,3587

PES RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
915685	0.25	310	87.6	0.0	87.6
918685	0.50	340	93.7	0.0	93.7
920685	0.75	370	97.2	0.0	97.2
923685	1.00	340	99.7	0.0	99.7
925685	1.25	370	101.6	0.0	101.6
928685	1.50	320	103.2	0.0	103.2
930685	1.75	390	104.5	0.0	104.5
933685	2.00	380	105.7	0.0	105.7
935685	2.25	330	106.7	0.0	106.7
938685	2.50	360	107.6	0.0	107.6
940685	2.75	380	108.9	0.0	108.9
943685	3.00	390	109.2	0.0	109.2
945685	3.25	330	109.9	0.0	109.9
948685	3.50	260	110.6	0.0	110.6
950685	3.75	220	111.2	0.0	111.2
953685	4.00	190	111.7	0.0	111.7
955685	4.25	180	112.2	0.0	112.2
958685	4.50	180	112.7	0.0	112.7
960685	4.75	190	113.2	0.0	113.2
963685	5.00	200	113.7	0.0	113.7
965685	5.25	210	114.1	0.0	114.1
968685	5.50	210	114.5	0.0	114.5
970685	5.75	220	114.9	0.0	114.9
973685	6.00	220	115.2	0.0	115.2
975685	6.25	210	115.6	0.0	115.6
978685	6.50	180	115.9	0.0	115.9
980685	6.75	180	116.3	0.0	116.3
983685	7.00	180	116.6	0.0	116.6
985685	7.25	220	116.9	0.0	116.9
988685	7.50	210	117.2	0.0	117.2
990685	7.75	200	117.5	0.0	117.5
993685	8.00	190	117.7	0.0	117.7
995685	8.25	180	118.0	0.0	118.0
998685	8.50	180	118.3	0.0	118.3
685	8.75	150	118.5	0.0	118.5
3685	9.00	120	118.8	0.0	118.8
5685	9.25	120	119.0	0.0	119.0
8685	9.50	120	119.2	0.0	119.2
10685	9.75	140	119.5	0.0	119.5
13685	10.00	170	119.7	0.0	119.7
15685	10.25	140	119.9	0.0	119.9
18685	10.50	130	120.1	0.0	120.1
20685	10.75	140	120.3	0.0	120.3
23685	11.00	150	120.5	0.0	120.5



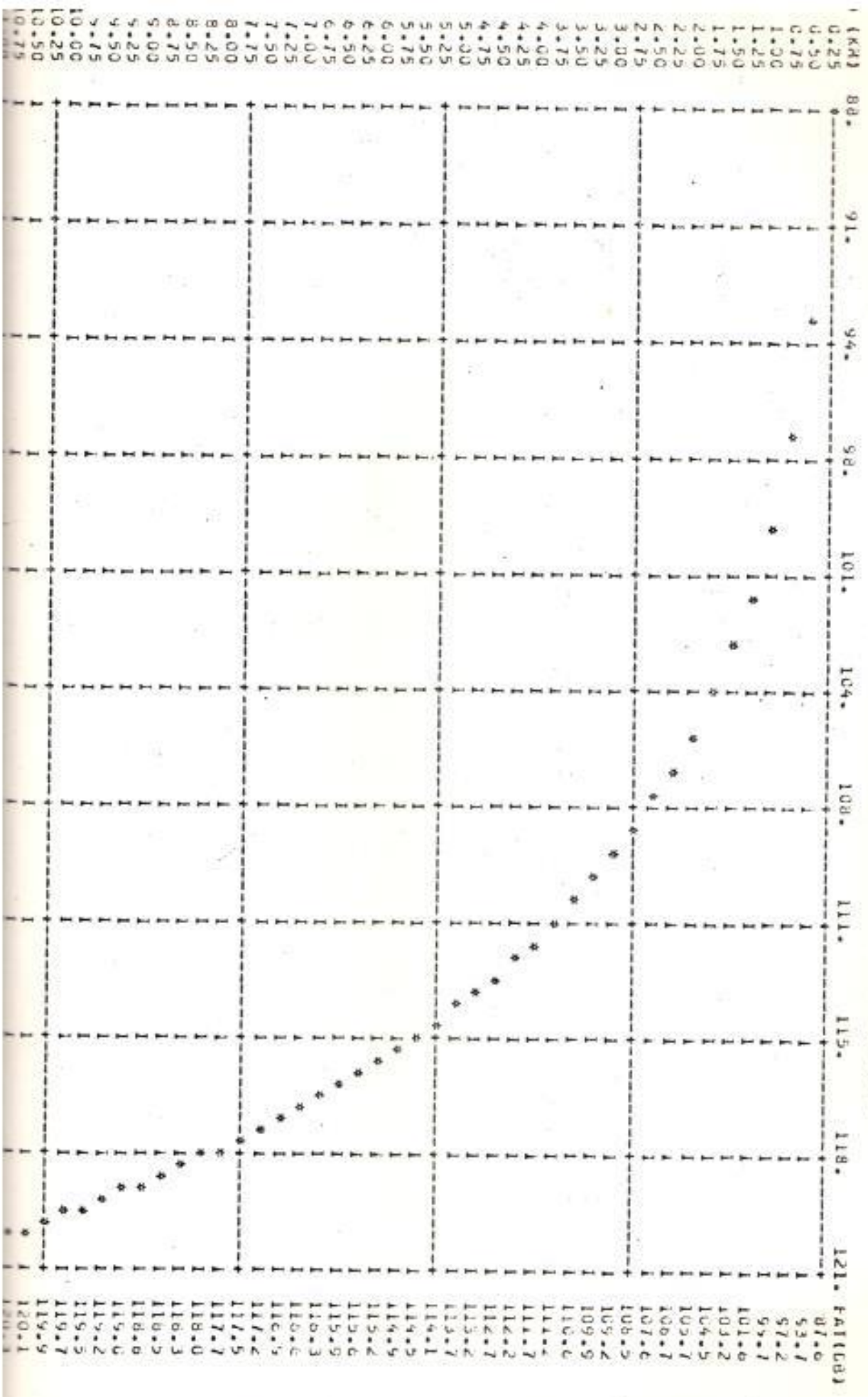
PERDIDAS DE TRANSMISION

F= 2300. MHz DMAX= 12 KM A1= 150 M A2= 150 M
 PCS. TRMTR=913685 HO= 425 M G1= 0. DB G2= 0. DB

TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-MV-82,3587

PCS RCVR	D (KM)	H (M)	FA (DB)	FAF (DB)	FAT (DB)
25685	11.25	150	120.7	0.0	120.7
28685	11.50	150	120.9	0.0	120.9
30685	11.75	140	121.1	0.0	121.1
33685	12.00	160	121.3	0.0	121.3

F = 2300. MHz GMAX = 12 KM A1 = 150 M A2 = 150 M
 POS. INTR = 913685 HO = 425 M Q1 = 0. DB Q2 = 0. DB
 TRAYECTORIA A 90. GRDS REF. MAPA IND. NACIONAL CT-RV-82,3587 I



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La zona escogida para nuestro estudio corresponde al sector CERRO AZUL, provincia del Guayas, cuya referencia al mapa índice nacional es: HOJA CT-MV-82, 3587 I., con una extensión aproximada de 513 Km².

Toda la zona fue subdividida en cuadrículas de 0.25 Km. por lado, tomándose la altura representativa para cada cuadrícula. La información se almacenó en un archivo de acceso directo.

El presente trabajo puede ser extendido hasta cubrir todo el territorio ecuatoriano, para lo cual es menester introducir en el archivo los datos correspondientes a la configuración topográfica del país entero.

Esta es una tarea laboriosa que debe efectuarse con mucha atención para evitar almacenar datos erróneos. Para cubrir todo el territorio nacional se requerirían más de 3.5 millones de datos.

Esto permitiría estudiar un sistema de comunicaciones línea en vista que una dos puntos cualesquiera en el Ecu-

dor.

El programa en sí no requeriría modificaciones significativas, siendo necesario únicamente alterar el direccionamiento de los datos almacenados en el archivo.

Toda esta información almacenada en un archivo de computadora permitiría también desarrollar otros programas como uno de asignación computarizada de radio frecuencias, para mencionar un solo ejemplo.

Analizando la ecuación 2-7

$$FAT = FA + FAF - G1 - G2$$

que determina la atenuación total sufrida por una señal durante su propagación, podemos apreciar fácilmente que con el fin de disminuir FAT debemos tratar de reducir al mínimo los elementos FA y/o FAF y en la medida de lo posible tratar también de utilizar antenas de mayor ganancia.

Puesto que FA viene dada según la ecuación 1-11 por:

$$FA = 32.44 + 20 \text{ Log } d + 20 \text{ log } F$$

las únicas maneras de minimizar este componente es reduciendo la distancia (d) entre antenas y/o la frecuencia (F) de portadora teniendo ambas alternativas sus limitaciones técnicas y económicas.

Por otra parte FAF es función de la variable C definida como:

$$C = CL/CL1$$

y conforme a la figura B-1 la única manera de disminuir FAF es aumentando el valor de C, lo cual se logra ya sea incrementando la luz (CL) existente entre la trayectoria de la señal y cualquier obstáculo presente, y/o disminuyendo el valor de la luz (CL1) requerida para que se dé la condición de la zona de Fresnel.

La manera más apropiada de aumentar el valor de CL es tratando de lograr una mayor altura para las antenas, seleccionando cuidadosamente el sitio de instalación de las mismas, en cambio para reducir el valor de CL1 debemos acortar la distancia entre antenas y/o incrementar la frecuencia.

Tomando todas estas consideraciones en conjunto vemos que -

para disminuir el factor de atenuación (FAT) se recomienda acortar la distancia entre las antenas, pero esta medida - tiene un limitante de carácter económico ya que a menor - distancia entre antenas, mayor es el número de estaciones repetidoras requeridas.

La variable frecuencia (F) no nos ofrece mucha libertad de bido a sus limitaciones ya que por una parte se recomienda disminuirla y por otra es conveniente aumentarla lo - cual nos lleva a una situación de compromiso.

Por estas razones el trabajo esencial para minimizar el valor de FAT constituye en seleccionar cuidadosamente una serie de sitios donde ubicar las antenas del sistema de microondas, tal que cada salto satisfaga las condiciones de línea de vista. Durante este proceso de selección es necesario estudiar varias rutas posibles de la señal y finalmente escoger la más adecuada según las características de propagación, facilidad de instalación y mantenimiento y - factibilidad económica.

BIBLIOGRAFIA

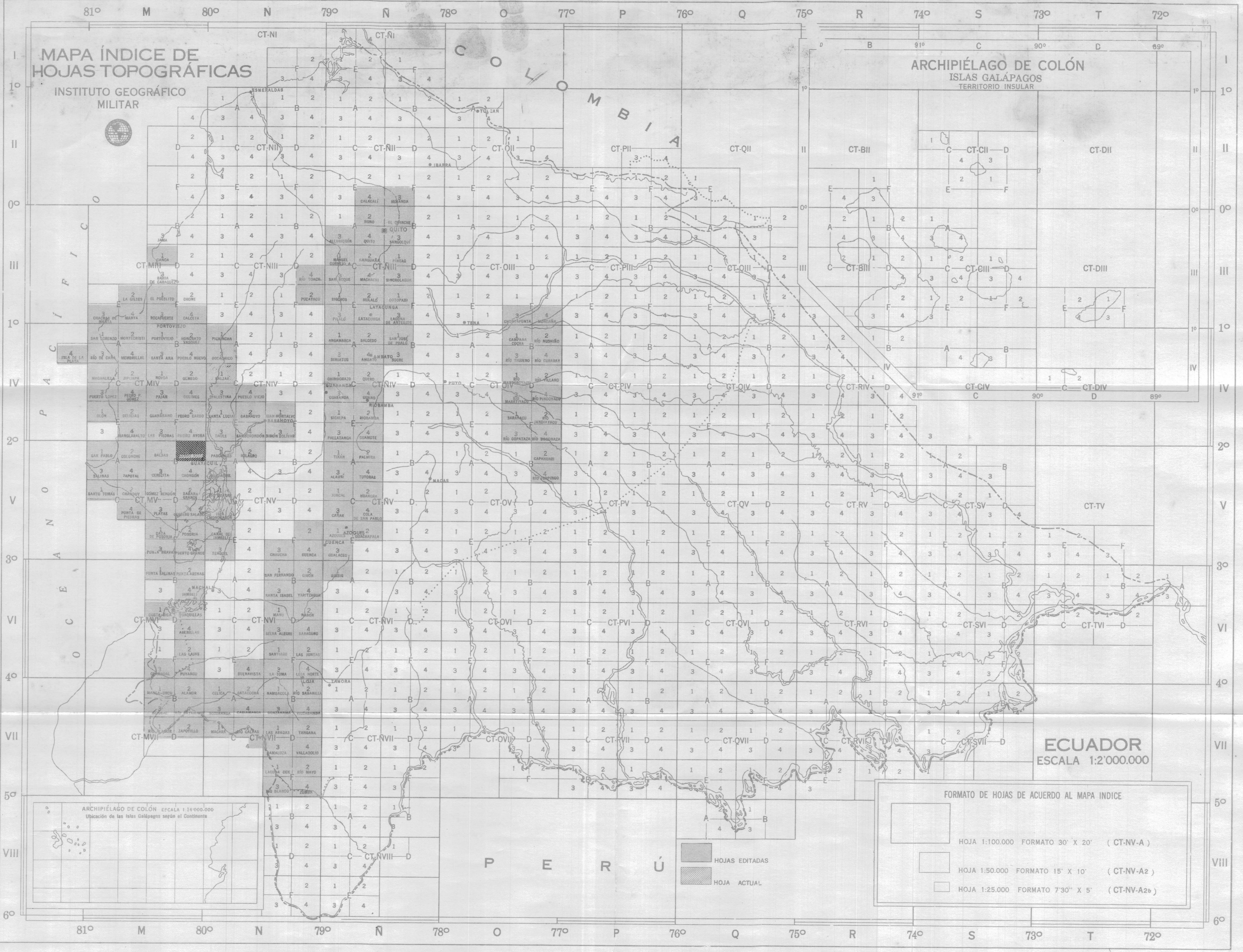
1. FEYNMAN, LEIGHTON y MATTHEW, The Feynman Lectures on Physics, Mainly Electromagnetism and Matter, Volume II, Edición bilingüe, FONDO EDUCATIVO INTERAMERICA - NO, Panamá, 1972.
2. FREEMAN, R., Telecommunication System Engineering , Analog and Digital Network Design, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1980.
3. FUJITSU, Manual de Diseño de Sistemas de Transmisión de Radio para Telefonía.
4. HEWLETT PACKARD, HP-11 C, Owner's Handbook and Problem-Solving Guide, 1981.
5. JORDAN y BALMAIN, Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Prentice-Hall, Inc., N.Y. 1968.
6. PANTER, P., Communication Systems Design: Line-of-sight and Tropo-scatter Systems, Mc Graw-Hill, Inc., 1972.
7. SEARS y ZEMANSKY, Física General, Aguilar, Madrid, 1971.

MAPA ÍNDICE DE HOJAS TOPOGRÁFICAS

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR



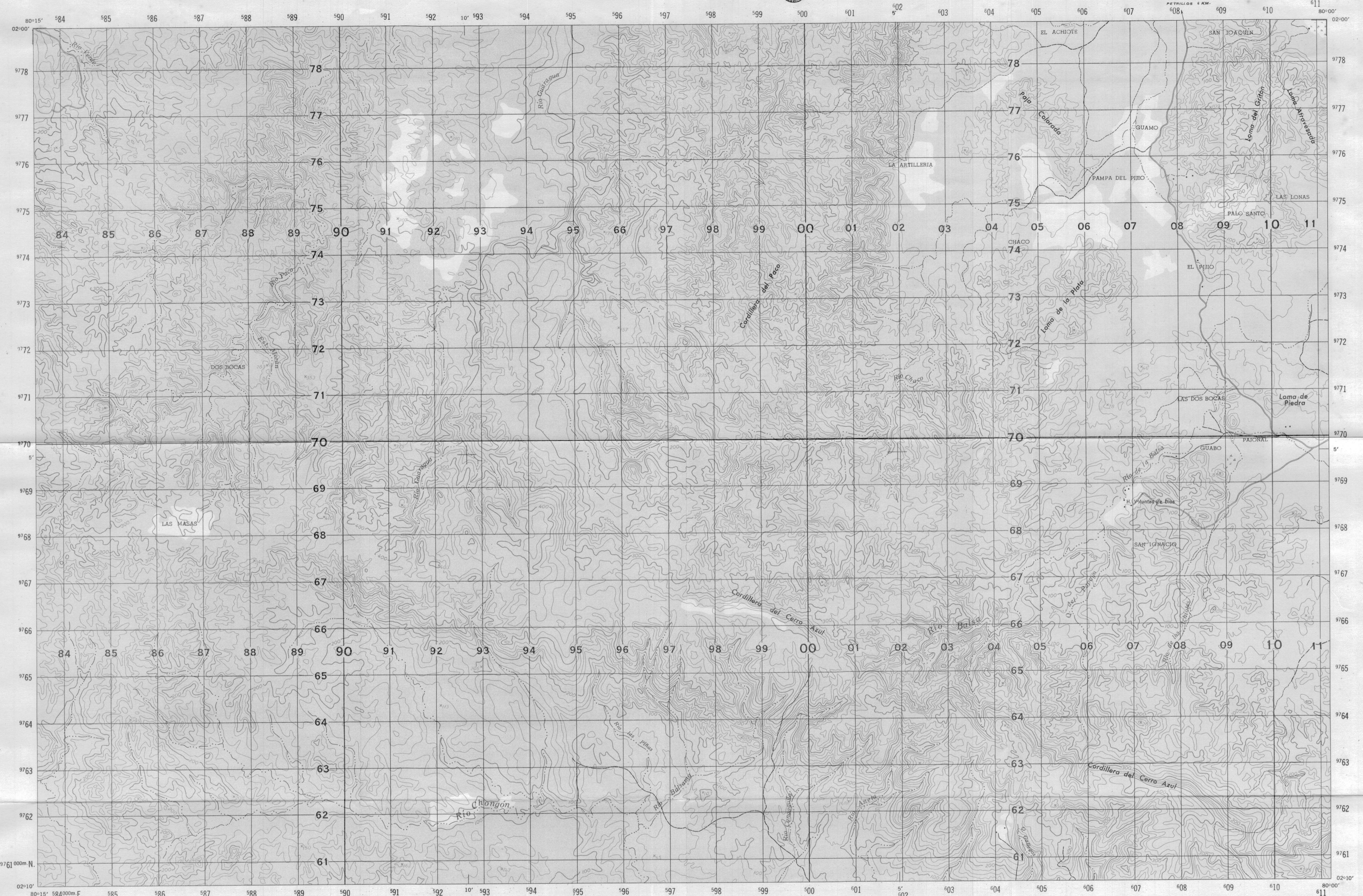
ARCHIPIÉLAGO DE COLÓN ISLAS GALÁPAGOS TERRITORIO INSULAR



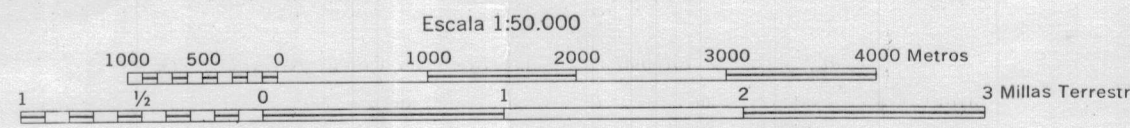
HOJAS EDITADAS
HOJA ACTUAL

FORMATO DE HOJAS DE ACUERDO AL MAPA ÍNDICE	
	HOJA 1:100.000 FORMATO 30' X 20' (CT-NV-A)
	HOJA 1:50.000 FORMATO 15' X 10' (CT-NV-A2)
	HOJA 1:25.000 FORMATO 7'30" X 5' (CT-NV-A2b)

ECUADOR
ESCALA 1:2'000.000



SERIE J721 Edición I-IGM
Preparado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en colaboración con el Interamerican Geodetic Survey (IAGS). Fotografías Aéreas tomadas en abril a mayo 1959; control horizontal y vertical de 1961; compilación por método fotogramétrico 1961 a 1962; dibujo 1966.



IMPRESO EN LOS TALLERES GRAFICOS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR DERECHOS RESERVADOS CONFORME A LA LEY JUNIO DE 1966

CURVAS DE NIVEL CON EQUIDISTANCIA DE 20 METROS

DATO VERTICAL: NIVEL MEDIO DEL MAR. ESTACION MAREOGRAFICA DE LA LIBERTAD PROVINCIA DEL GUAYAS AÑO DE 1959
PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

DATO HORIZONTAL: EL PROVISIONAL DE 1956 PARA AMERICA DEL SUR (LA CANOA-VENEZUELA)

LAS LINEAS NEGRAS NUMERADAS INDICAN LA CUADRICULA TRANSVERSA DE MERCATOR A 1.000 METROS, ZONA 17, ESFERA DE INTERNACIONAL. SE HAN OMITIDO LAS ULTIMAS TRES CIFRAS SIGNIFICATIVAS DE LOS VALORES CORRESPONDIENTES A CADA LINEA DE CUADRICULA

SE SOLICITA A LAS PERSONAS QUE USEN ESTA CARTA Y NOTEN ERRORES O OMISIONES, MARCAR LAS CORRECCIONES EN LA MISMA Y ENVIARLA AL DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR, QUITO ECUADOR. ESTAS CARTAS LES SERAN DEVUELTAS O SUSTITUIDAS SI ASI LO DESSEAN.

SIGNOS CONVENCIONALES

Table of conventional signs for roads, rivers, and other features. Includes categories like CAMINOS (roads), FERROCARRILES (railways), and various types of terrain and water features.

PARA DAR UNA REFERENCIA EN ESTA HOJA A LOS 100 METROS MAS CERCANOS NO DEBER TOMARSE EN CUENTA LAS CIFRAS EN TIPO PEQUEÑO de cualquier número cuadrado, dichas cifras son para determinar los valores completos de las coordenadas. UTILICEN SOLAMENTE los números de TIPO GRANDE, e.g. 504000. PUNTO UTILIZADO COMO CENRO: H. VOLCANTO DE DIOS. 1. Localice la línea VERTICAL de la cuadrícula situada inmediatamente a la IZQUIERDA del punto y lleve las cifras de TIPO GRANDE correspondientes a ella, y en un margen superior, en el interior, o sobre la línea misma; Extienda las líneas (del intervalo de cuadrícula) entre la línea mencionada y el punto; 2. Localice la línea HORIZONTAL de la cuadrícula situada inmediatamente DERECHA del punto y lleve las cifras de TIPO GRANDE correspondientes a ella, en un margen inferior, en el interior, o sobre la línea misma; Extienda las líneas (del intervalo de cuadrícula) entre la línea mencionada y el punto; EJEMPLO DE REFERENCIA: 06 9 68 6

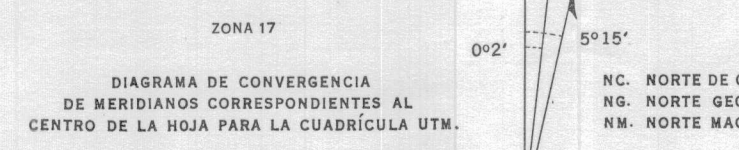


Table of adjacent sheets (INDICE DE HOJAS ADYACENTES) with columns for sheet number, name, and coordinates.