

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



INVE 95
OCEB 4

Investigación de la Absorción por Lluvia a la
Frecuencia de 11.6 GHz, Empleando Radiómetros
Pasivos en Diversidad de Espacios en un Clima
Ecuatorial. Lluvioso

T E S I S

Para Optar el Grado de

INGENIERO ELECTRONICO

César Chávez Mori

Promoción 1982-2

Lima - Perú

1985

I N D I C E

INTRODUCCION	1
1. ASPECTOS GENERALES	
1.1 Atenuación para los sistemas de telecomunicaciones en un enlace tierra - espacio	5
1.1.1 Atenuación producida por la lluvia	5
(a) Microestructura de la lluvia	9
(b) Tipos de precipitaciones pluviales	15
1.1.2 Atenuación producida por hidrometeoros distintos - de la lluvia	16
1.1.3 Atenuación producida por el vapor de agua y el oxígeno molecular	18
1.1.4 Atenuación producida por las tormentas de arena y polvo	20
1.2 Métodos de mediciones de la atenuación por lluvia	21
1.2.1 Mediciones radiométricas	21
1.2.2 Mediciones con radar	22
1.2.3 Mediciones directas	23
2. DESCRIPCION DEL ESTUDIO	
2.1 Objetivo	24
2.2 Técnica por diversidad de espacio	24
2.3 Descripción del sistema	26
2.3.1 Antenas	28

2.3.2	Radiómetro de 11.6 GHz	
	(a) Down converter	31
	(b) Amplificador FI	31
	(c) Interfase	34
2.3.2	Unidad del sistema de comunicación de datos	
	(a) Sistema de transmisión	35
	(b) Modem	35
	(c) Sistema receptor	37
	(d) Equipo VHF	39
2.3.3	Pluviómetro	39
2.3.4	Graficador	
	- Local	41
	- Remoto	41
2.3.5	Alimentación del sistema	44
3.	METODOLOGIA Y ANALISIS DE DATOS	
3.1	Procedimientos teóricos	45
3.1.1	Modelos para la distribución de la intensidad de lluvia	45
3.1.2	Análisis teórico de la atenuación producida por la lluvia	47
3.1.3	Análisis teórico de la atenuación producida por la lluvia empleando diversidad de espacio	56
3.1.4	Dependencia en frecuencia de las estadísticas de la atenuación debido a la lluvia	57

3.2	Procedimientos experimentales	59
3.2.1	Análisis de los datos pluviométricos	59
3.2.2	Análisis de la atenuación producida por la lluvia	60
3.2.3	Análisis de la atenuación empleando diversidad de espacio	66
4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES	
4.1	Distribución estadística de la precipitación pluvial	67
4.1.1	Distribución estadística de la precipitación pluvial para Iquitos	68
4.1.2	Distribución estadística de la precipitación pluvial para Indiana	72
4.2	Distribución estadística de los niveles de atenuación	77
4.2.1	Distribución de los niveles de atenuación para 11.6 GHz Iquitos	77
4.2.2	Distribución de los niveles de atenuación para 11.6 GHz Indiana	81
4.3	Distribución de los niveles de atenuación para 11.6 GHz empleando diversidad de espacio	85
4.4	Comentario de las distribuciones de niveles de atenuación Iquitos - Indiana y diversidad de espacio	89
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	Apéndice	
	Bibliografía	

INTRODUCCION

Hoy en día, las comunicaciones por satélite representan un medio de gran importancia para el desarrollo de la humanidad, capaz de cubrir grandes distancias uniendo pueblos alejados que por su accidentada geografía no se podrían realizar por otros medios existentes con la calidad y eficiencia como lo que brindan estos sistemas,

La demanda experimentada hacia los servicios y facilidades que ofrece un sistema vía satélite como la telefonía, televisión, telex, datos, audioconferencia y otros, han venido incrementandose aceleradamente hasta llegar en la actualidad a sobrepasar en muchos países la oferta existente.

Una característica común de los sistemas vía satélite actuales es el empleo insistente de las bandas de frecuencia de 4 y 6 GHz, que proporcionan anchos de banda de 500 MHz,

Como consecuencia de ello, se viene produciendo severas interferencias con las redes de microondas terrestres que operan en la misma banda, así como también interferencias entre satélites debido a la gran cantidad de satélites lanzados.

Con el fin de sobrellevar esta crítica situación se ha visto necesario considerar el empleo de frecuencias mayores a los 10 GHz, que proporcionan anchos de banda del orden los gigahertz; no solo aumentar la capacidad de los nuevos satélites sino también para suministrar el espectro que será requerido por los nuevos servicios que van apare---

ciendo.

Asimismo, la interferencia de estas bandas con los sistemas de microondas terrestres no serán tan severas como en el caso de las bandas de 4 y 6 GHz.

Las técnicas de diseño que se emplean tanto para los satélites como para las estaciones terrenas, no diferirá significativamente con las empleadas actualmente en la banda C.

Tampoco aparecerán mayores problemas en su implementación debido a la alta tecnología de fabricación de la cual se dispone hoy en día.

Desafortunadamente a estas frecuencias aparecen nuevos fenómenos de propagación que afectan la confiabilidad del sistema de comunicación. Estos factores están relacionados principalmente con la constitución gaseosa de la atmósfera, tales como el vapor de agua y el oxígeno molecular que presentan fuertes líneas de absorción a determinadas frecuencias y por los hidrometeoros como son las nubes, la niebla, el granizo la nieve y la lluvia que causan distorsión en la propagación debido a la interacción onda partícula. El fenómeno más importante que afecta la propagación de las ondas, son las precipitaciones pluviales que producen los mayores efectos de dispersión y absorción de las ondas electromagnéticas. Estos efectos combinados, producen la atenuación total de la onda.

Con el propósito de que los futuros sistemas de comunicación por satélite a frecuencias mayores de 10 GHz pueden sobreponerse a estos nuevos fenómenos y dar así una mayor confiabilidad a las comunicaciones, se han propuesto diferentes técnicas, Una de estas técnicas es el

empleo de la diversidad de ubicación o espacio, donde dos estaciones terrenas se encuentran separadas por una distancia apropiada y comunicadas entre sí mediante enlaces terrestres.

Estas estaciones reciben la misma señal y la estación con la menor atenuación, debido a estos fenómenos es seleccionada electrónicamente. La mejora que se observa es atribuida a la inhomogeneidad y tamaño de las celdas de lluvia.

Una alternativa a la diversidad de espacio es el incremento por comando de potencia del enlace ascendente y descendente a fin de disminuir el efecto de la atenuación del trayecto. Ello se lograría midiendo la atenuación del enlace descendente en un momento dado y deduciendo el nivel de potencia requerida del enlace ascendente mediante el índice de correlación entre las atenuaciones de los enlaces ascendentes y descendentes.

A fines del año 1982 se inició en el país, específicamente en la ciudad de Iquitos, la investigación de la forma como afectan las precipitaciones pluviales a señales electromagnéticas centradas en las frecuencias de 11.6, 20, 30, GHz. Este estudio fue llevado a cabo por ENTEL PERU S.A. y auspiciado por INTELSAT, organismo controlador de satélite a nivel internacional.

Los resultados encontrados inicialmente se presentaron en la tesis titulada " Estudio e investigación de la absorción por lluvia a las frecuencias de 11.6 y 20/30 GHz en un clima ecuatorial lluvioso empleando radiómetros pasivos ". Presentada por el Ing. Carlos Polo P. Paralelamente al estudio anterior se vió la imperiosa necesidad de ex-

tender el alcance del proyecto a fin de poder investigar la mejora que se obtendría empleando " La Técnica de Diversidad de Espacio ", especificada anteriormente. Para tal efecto se escoge la localidad de Indiana ubicada a 28 Kms. de Iquitos, donde se instaló una segunda estación receptora de 11.6 GHz, denominada en nuestro estudio Estación Remota, adicionalmente a la estación principal ubicada en Iquitos.

En primer capítulo se explican los medios atenuantes en un enlace tierra - espacio, dando mayor énfasis a la atenuación producida por la lluvia.

En el segundo capítulo se detalla el objetivo principal del presente estudio, de igual manera la técnica de diversidad de espacio y la descripción del sistema utilizado. La metodología y el análisis de datos se detallan en el capítulo tercero. En el capítulo siguiente se muestran los resultados experimentales, obtenida en cada estación, así como la mejora que se obtiene empleando la técnica por diversidad de espacio, también se presentan las distribuciones pluviales tanto para Iquitos e Indiana. Finalmente se mencionan las conclusiones recopiladas durante la investigación efectuada.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 ATENUACION PARA LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES EN UN ENLA-
CE TIERRA - ESPACIO.

La atenuación en un enlace tierra - espacio, para frecuencias - mayores de 10 GHz, se debe principalmente, a los medios atenu- antes que a continuación se mencionan.

- a) Atenuación producida por la lluvia
- b) Atenuación producida por hidrometeoros distintos de la
lluvia
- c) Atenuación producida por el vapor de agua y oxígeno molecular
- d) Atenuación producida por las tormentas de arena y polvo

En la fig. 1.1 se muestra la atenuación específica (dB/KM) - en función de la frecuencia desde 1 GHz a 10^4 GHz, observamos claramente que a la frecuencia de 11.6 GHz la lluvia es el fenómeno que causa mayor atenuación razón por la cual se ha tenido en cuenta para nuestra investigación, como afecta la lluvia a la frecuencia de 11.6 GHz y la mejora que se obtiene empleando diversidad de espacio.

1.1.1 Atenuación producida por la lluvia

Las precipitaciones, especialmente de lluvia, producen absor- ción y dispersión de las ondas radioelétricas. Estos efectos

se combinan para producir atenuación.

La atenuación debido a la lluvia puede evaluarse aproximadamente basándose en la teoría clásica de Mie. Las asunciones básicas de esta teoría son las siguientes:

1. Las gotas de lluvia están dispersas aleatoriamente con una densidad promedio uniforme, a través del espacio entre las antenas de transmisión y recepción.
2. Para cada gota es asumida un frente de onda plana. Esto es una buena aproximación para la mayoría de las trayectorias de la señal.
3. La interacción entre gotas se asume que es despreciable. Esto lo estableció Ryde, asumiendo que la distancia entre gotas es mayor que cinco veces su diámetro, como es normalmente el caso.

La atenuación específica producida por la lluvia (dB/Km) a una frecuencia determinada puede relacionarse con la intensidad de lluvia R (mm/hr), esta relación es posible obtenerse conociendo: El índice complejo de refracción del agua a la temperatura de las gotas de lluvia, la velocidad terminal y la distribución del tamaño de las gotas de lluvia.

En la fig. 1.2 se muestra el comportamiento de la atenuación específica en función de la frecuencia para varios valores de intensidad de lluvia. Los valores de la atenuación específica para frecuencias de hasta 40 GHz se han extrapolado en la

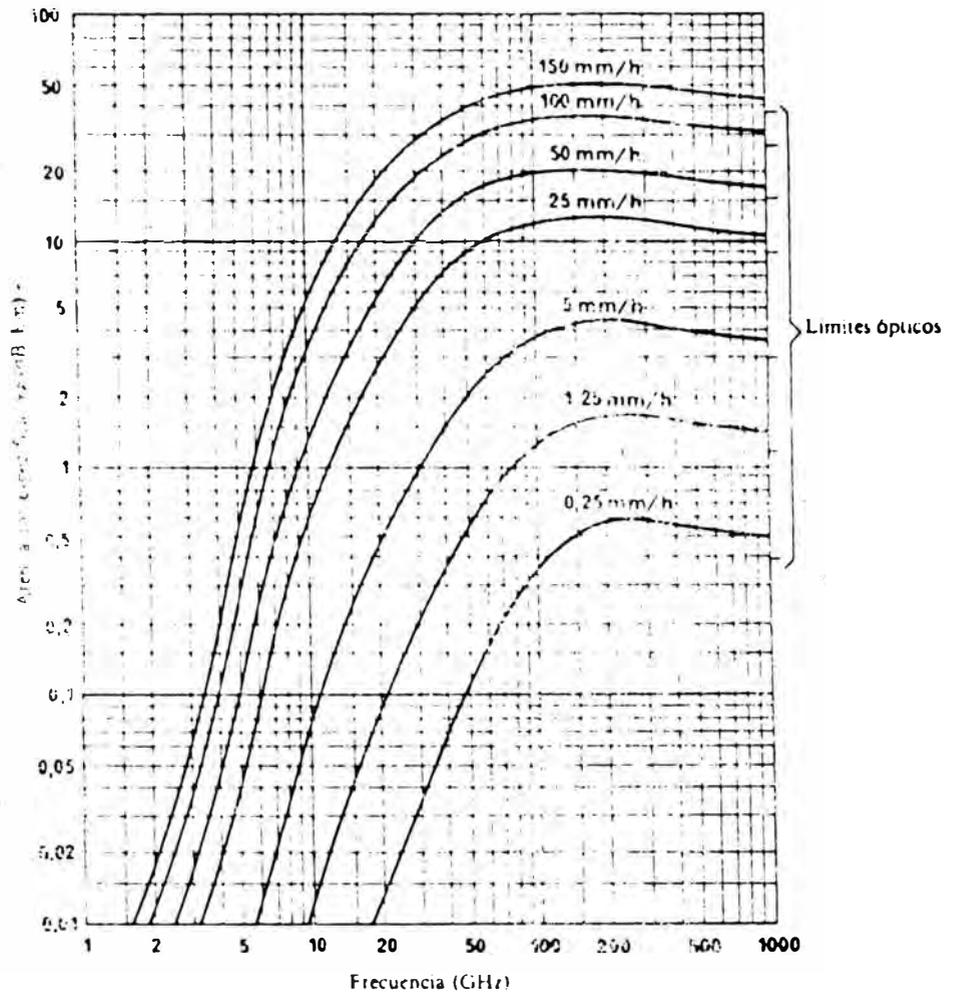


FIGURA 1.2 Atenuación específica, γ_R debida a la lluvia

Distribución del tamaño de las gotas de lluvia [Rohrbaugh y Parsons, 1963]
 Velocidad terminal de las gotas de lluvia [Gunn y Kinzer, 1949]
 Índice de refracción del agua a 20°C [Max, 1977]
 Gotas esféricas

fig. 1.3 para intensidades de hasta 250 mm/hr.

Para cualquier intensidad de lluvia, la atenuación específica aumenta muy rápidamente hasta frecuencias de unos 100 GHz.

Por encima de estas frecuencias, el crecimiento es poco notorio salvo para intensidades de lluvias muy bajas.

Por encima de unos 200 GHz, según sea la intensidad de la lluvia, la atenuación específica disminuye ligeramente a medida que aumenta la frecuencia, hasta 1000 GHz, en que alcanza casi su límite óptico.

Cuando la longitud de onda de la señal radioeléctrica es mucho mayor que el tamaño de la gota de lluvia, la atenuación es atribuido principalmente a la absorción, mientras que el efecto de dispersión se hace más predominante conforme decrece la longitud de onda. La fig. 1.4 muestra la proporción del efecto de dispersión a la atenuación total por lluvia.

A) Microestructura de la Lluvia

a. Distribución del tamaño de las gotas

Las distribuciones de tamaño de las gotas de lluvia, pueden variar dentro de una tormenta. Varían de acuerdo a la ubicación, estación, temperatura, tipo de lluvia y niveles de precipitación. Algunas observaciones muestran que como medida, la distribución del tamaño de las gotas es relativamente estable, variando fundamentalmente con la intensidad de la precipitación. La distribución para el tamaño de las gotas de

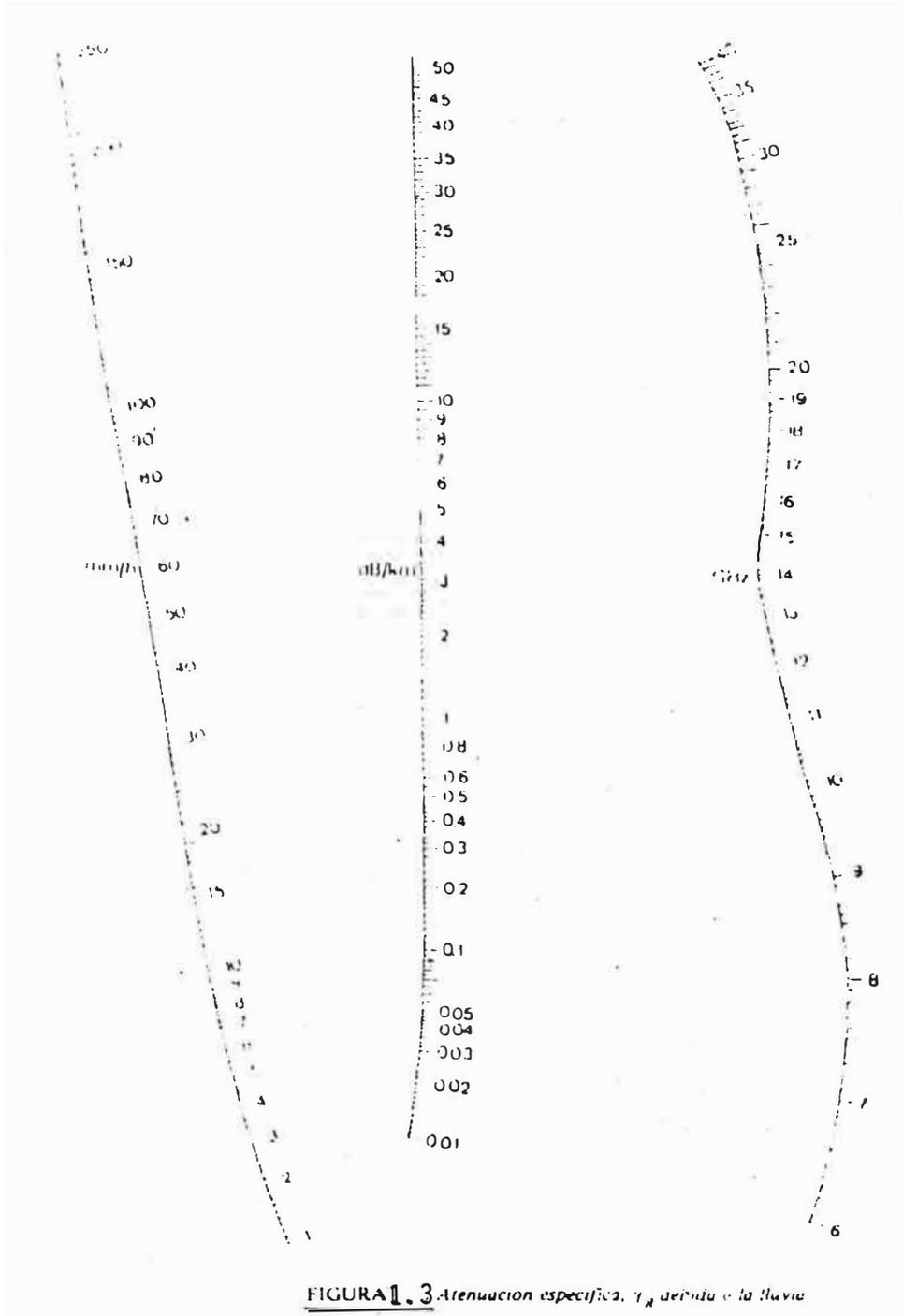


FIGURA 1.3. Atenuación específica, γ_R de lluvia o la lluvia

Distribución del tamaño de las gotas de lluvia [Laws y Parsons, 1943]
 Velocidad terminal de las gotas de lluvia [Gunn y Kinzer, 1949]
 Índice de refracción del agua a 18° C [Ray, 1972]
 Gotas esféricas

Laws y Parsons se ha mostrado la más útil es la estimación de la atenuación. En el cuadro 1.1 se muestra dicha distribución para el tamaño de las gotas.

b. Velocidad terminal de las gotas de lluvia

Las velocidades de las gotas dependen de la densidad del aire y por lo tanto son función de la altura.

De observaciones realizadas con radar se obtiene que el número y tamaño de las gotas de lluvia, así como el contenido de agua líquida en un volumen determinado, varía muy ligeramente con la altura. En consecuencia la atenuación específica, que depende principalmente del contenido de agua, variará también ligeramente con la altura.

Las mediciones registradas de las velocidades han sido puestas en función del tamaño de las gotas. Generalmente han sido realizadas en el laboratorio, en condiciones de calma, pero se han supuesto para aplicarse en la atmósfera.

c. Forma y propiedades eléctrica

La forma de las gotas de agua, es dependiente de complicados mecanismos meteorológicos y aerodinámicos, tales como combinación, colisión, fragmentación, evaporación turbulencia, corrientes ascendentes y perfiles de velocidad terminal.

Generalmente es aceptada una forma esférica para gotas pequeñas (diámetro < 0.25), esferoidales para gotas medianas - (diámetro < 1.25 mm) e irregulares para gotas mayores.

Basado en un modelo desarrollado por Pruppacher y Pitter, usando balance de fuerzas sobre la gota, la forma de una gota de agua puede ser representado por:

$$R(\theta) = a_0 \left(1 + \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cdot \cos. N\theta \right)$$

donde $R(\theta)$ es la distancia desde el centro de la gota a la superficie formando un ángulo θ , a_0 es el radio de su esfera equivolumétrica y C_n son los coeficientes de deformación.

Las propiedades eléctricas de una gota, Están relacionadas con el conocimiento de su constante dieléctrica, el cual es - un número complejo dependiente de su temperatura, y la raíz - cuadrada de la constante dieléctrica es el índice refractivo.

d. Temperatura de las gotas de lluvia

Las gotas de lluvia que caen tienen una temperatura que se aproxima a la temperatura de la ampollita del termómetro húmedo, para la temperatura, presión y humedad del aire circundante. Pueden existir pequeñas gotas de lluvia a temperaturas por debajo de 0°C , especialmente en regiones de corrientes ascendentes de tormentas convectivas y en niveles muy frías.

Las mezclas de hielo y agua pueden existir también en regiones de corrientes descendentes por debajo de la altura de la isoterma de 0°C .

Por término medio, el número significativo de gotas de gran tamaño de agua líquida que contribuyen a la atenuación debido

a la lluvia se observan entre la altura de la isoterma de 0°C y la superficie.

B) Tipos de Precipitaciones Pluviales

Además de provocar atenuaciones, las precipitaciones pueden - causar también un retardo en la propagación. Se han calculado los valores de los retardos de fase y de grupo específicos, - debido a la lluvia a partir de la teoría de la dispersión de Mie, dichos valores pueden combinarse con las estadísticas de intensidad de lluvia y con las estimaciones de la longitud - efectiva del trayecto para predecir estadísticas de retardo - de trayecto. Un método más flexible y menos dependiente de la distribución del tamaño de las gotas consiste en combinar las relaciones retardo/atenuación con las estadísticas de atenuación y de intensidad de precipitaciones.

a. Precipitación estratiforme

Regiones extensas de baja intensidad de lluvia y pequeños chubascos interiores con intensidades de lluvia de hasta 25 mm/h. La precipitación está horizontalmente estratificada con la lluvia hasta la altitud de la banda brillante, nieve - hasta unos 7 Km de altitud y cristales de hielo altitudes cercanas a los 9 Km.

b. Precipitación convectiva

Zonas localizadas de precipitación relativamente intensa

caracterizada por fuertes corrientes ascendentes y descendentes que se extienden a través de una región profunda de la tropósfera. Las regiones localizadas tienen forma de columna y a veces se extienden hasta la tropopausa. Pueden producirse precipitaciones muy intensas con extensiones horizontales de Kilómetros y duración de unas decenas de minutos.

c. Precipitación monzónica

Secuencia de bandas de precipitación convectiva intensa seguidas de intervalos de precipitación estratiforme. Las bandas - tienen por lo general 50 Km de ancho, centenares de Kilómetros de largo y producen intensas lluvias que duren varias horas.

d. Tormentas tropicales

Amplias regiones organizadas de precipitación con centenares de Km. de extensión. Las tormentas se caracterizan por varias bandas en espiral que terminan en regiones de precipitación - intensa en torno a la región central u ojo del ciclón.

Las bandas contienen también regiones de precipitación convectiva intensa.

1.1.2 Atenuación producida por hidrometeoros distintos de la lluvia

Si bien la lluvia es el hidrometeoro más importante que afecta a la propagación de las ondas, debe mencionarse también la influencia de las nubes, la niebla, la nieve y el granizo.

Las atenuaciones causadas por nubes o nieblas son relativamente pequeñas pero pueden ocurrir durante elevados porcentajes de tiempo.

En el caso de nubes o niebla constituidas enteramente por gotitas de agua de dimensiones generalmente inferiores a 0.01 cm se puede expresar la atenuación en función del contenido total de agua por unidad de volumen.

La atenuación específica que se produce dentro de la nube o la niebla de tal tipo puede expresarse por:

$$\gamma_c = K.M$$

Siendo γ_c , atenuación específica (dB/Km) en la nube

K, coeficiente de atenuación específica (dB/Km)
(g/m³)

M, contenido de agua en estado líquido de la nube
(g/m³)

A frecuencias del orden de 100 GHz o mas, la atenuación por la niebla puede llegar a ser importante. El contenido de agua en estado líquido de la niebla es típicamente de 0.05 g/m³ para una niebla de intensidad medio (visibilidad del orden de 300 m) y de 0.5 g/m³ para una niebla densa (visibilidad del orden de 50 m).

Los valores teóricos de K, (dB/Km)/(g/m³) están dentro de 0.01 hasta 5, para frecuencias hasta 110 GHz, a la frecuencia de 11.6 GHz tenemos que K=0.06, valores obtenidos con

una temperatura de 20°C.

Las nubes constituidas por partículas de hielo causan atenuaciones que son de orden de magnitud menos importante de la atenuación causado por nubes de agua, aunque el contenido de agua sea el mismo en ambos casos, hasta 35 KHz.

Para frecuencias superiores la contribución de las nubes de hielo a la atenuación puede ser importante.

La nieve seca para frecuencias inferiores de 50 GHz apenas influye. Sin embargo, en frecuencias superiores, varias mediciones han demostrado la importancia de la atenuación causada por la nieve seca.

La atenuación debido al granizo puede ser importante para frecuencias reducidas, incluso de 2 GHz y en porcentajes de tiempo inferiores de 0.001 en la mayoría de regiones climáticas.

1.1.3 Atenuación producida por el vapor de agua y el oxígeno molecular

En la fig. 1.5 se muestra la atenuación específica (dB/Km) para trayectos próximos al suelo en función de la frecuencia inferiores de 350 GHz. Para el vapor de agua y el oxígeno molecular según observamos en la fig. el oxígeno tiene una raya de absorción aislada a 118.74 GHz una serie de rayas muy próximas entre unos 50 y 70 GHz. Estas actúan en las capas inferiores de la atmósfera como una banda de absorción conti-

nua.

El vapor de agua tiene principalmente tres rayas de absorción a las frecuencias de 22.3, 183.3 y 323.8 GHz.

Más aún, en la banda de ondas sudmilimétricas y en las frecuencias infrarrojas, tiene un gran número de rayas, algunas de las cuales son muy intensas. El resultado de la suma de las alas de estas rayas, contribuye considerablemente a la absorción de las ondas centrimétricas y milimétricas.

La absorción gaseosa total en la atmósfera A_a (dB), en un trayecto tierra - espacio de longitud r_0 (Km) viene dado por:

$$A_a = \int_0^{r_0} \gamma_0(r) dr \quad (\text{dB}) \quad \gamma_a = \gamma_o + \gamma_w$$

γ_a , es la atenuación específica (dB/Km) y γ_o , γ_w son los coeficientes del oxígeno y del vapor de agua respectivamente.

1.1.4 Atenuación producida por las tormentas de arena y polvo

Las partículas de arena y polvo pueden atenuar las ondas electromagnéticas, dichas tempestades están constituidas por nubes densas de partículas de arena y polvo en suspensión, en las que, en condiciones límite, la visibilidad puede reducirse a - 10 m, ó incluso menos, y el polvo llegan a alturas de más de -

1000 m, por encima de la superficie y extenderse centenares de Km. a lo largo del terreno.

Mediciones efectuadas en laboratorio, a 10 GHz en condiciones simuladas de arena y polvo han demostrado que para concentraciones de menos 10^{-5} g/m^3 , el coeficiente de atenuación sería inferior a 0.1 dB/Km en caso de arena y a 0.4 dB/Km en el caso de arcilla. En caso de fuertes tormentas y de enlaces de trayecto rasante, se puede esperar que la atenuación de las señales de microondas sea superior a esos valores.

1.2 METODOS DE MEDICIONES DE LA ATENUACION POR LLUVIA EN UN TRAYECTO TIERRA - ESPACIO.

1.2.1 Mediciones radiométricas

a. Radiómetros Pasivos

Los radiómetros pasivos no emplea fuente alguna como son el Sol o el beacon de algún satélite, posee un receptor capaz de captar las ondas electromagnéticas producto del ruido del cielo. Como es sabido, un objeto a temperaturas superiores a cero absoluto irradian energía, también absorbe y refleja energía - cuando una señal índice sobre él. La reflexión produce ondas - dispersas, mientras que la absorción produce calor y radiación. Es precisamente esta energía de radiación que el radiómetro - esta diseñado a medir, un radiómetro está conformado por un receptor electrónico y una antena de alta calidad. El ruido de

fondo total del sistema alcanza valores muy pequeños y pueden ser determinados por calibración.

Además del sistema radiométrico se emplea un pluviómetro a fin de obtener una adecuada correlación entre la temperatura de la antena y la intensidad de precipitación de una lluvia particular. Algunas veces, la lluvia puede interferir con la haz de la antena y caer a una determinada distancia del lugar de observación.

b. Rastreadores de Sol

La Radiometría solar proporciona mediciones directas y suficientemente precisas de la atenuación para una amplia gama dinámica.

Sin embargo es limitada la aplicación de los datos obtenidos con este método tanto por el movimiento del Sol como por la circunstancia de que las estadísticas obtenidas puedan adolecer de errores provocados por los efectos diurnos. En general, no parece que las precipitaciones intensas esten uniformemente distribuidas a lo largo de un día. En consecuencia, cabe que las distribuciones de atenuaciones obtenidas por observaciones del Sol tengan solo una validez limitada.

1.2.2 Mediciones con radar

Otro medio de calcular la atenuación en un trayecto oblicuo consiste en utilizar observaciones de un radar meteorológico -

bien calibrado. El radar tiene potencialmente la capacidad de observar la lluvia que se extiende en amplias zonas y alturas. Se han utilizado varios tipos de radares como son de una frecuencia de doble frecuencia y de doble polarización. Una limitación intrínseca del radar de una sola frecuencia es su incapacidad para diferenciar las regiones de lluvia de aquellas de hielo, pues los dos tienen relaciones muy distintas entre la reflectividad y la atenuación específica. Un medio para resolver en parte este problema es utilizar otros instrumentos, tales como pluviómetros. Otro medio de evitar los errores a la relación supuesta entre la reflectividad del radar y la atenuación específica consiste en emplear dos frecuencias, una con elevada atenuación y la otra con una atenuación inapreciable. El empleo del radar de diversidad de polarización permite distinguir entre la lluvia y otros hidrometeoros.

1.2.3 Mediciones directas

Las transmisiones desde satélites de señales beacon constituyen el método más directo, pero no siempre se dispone de dichas transmisiones para todas las ubicaciones, frecuencias y ángulos de elevación de interés. Una señal beacon proviene de un oscilador a cristal muy estable instalado en un satélite. Esta señal tiene una energía conocida y suficiente como para sobreponerse a los mayores niveles de atenuación producidos por la lluvia dando siempre una relación S/N medible, obteniendo el nivel de atenuación rápidamente.

2. DESCRIPCION DEL ESTUDIO

2.1 OBJETIVOS

El propósito principal de nuestra investigación es realizar un análisis práctico del comportamiento de la atenuación producida por la lluvia, en las comunicaciones por satélite, a la frecuencia de 11.6 GHz y observar la mejora que se obtiene al emplear la técnica de " Diversidad de Espacio ", la cual se detalla en el punto siguiente.

Asimismo como objetivo secundario se analizará las distribuciones acumulativas de las precipitaciones pluviales ocurridas en la localidad de Iquitos e Indiana respectivamente lugares elegidos para nuestro estudio.

El análisis de datos ha sido realizado tomando en consideración los cinco meses consecutivos más críticos del año 1984. Los meses escogidos fueron de Julio a Noviembre, en los cuales se presentaron las precipitaciones de mayor intensidad. Con un tiempo de observación de 218,888 minutos equivalente a un 100%

2.2 TECNICA POR DIVERSIDAD DE ESPACIO

En los sistemas vía satélite convencionales tal como es mostrada en la figura 2.1, se observa que para cada localidad A y B existe una estación terrena en cada una de ellas, para propósitos de comunicación entre estos puntos. Sin embargo en la fig. 2.2 se muestra otro tipo de configuración. Aquí, se obser

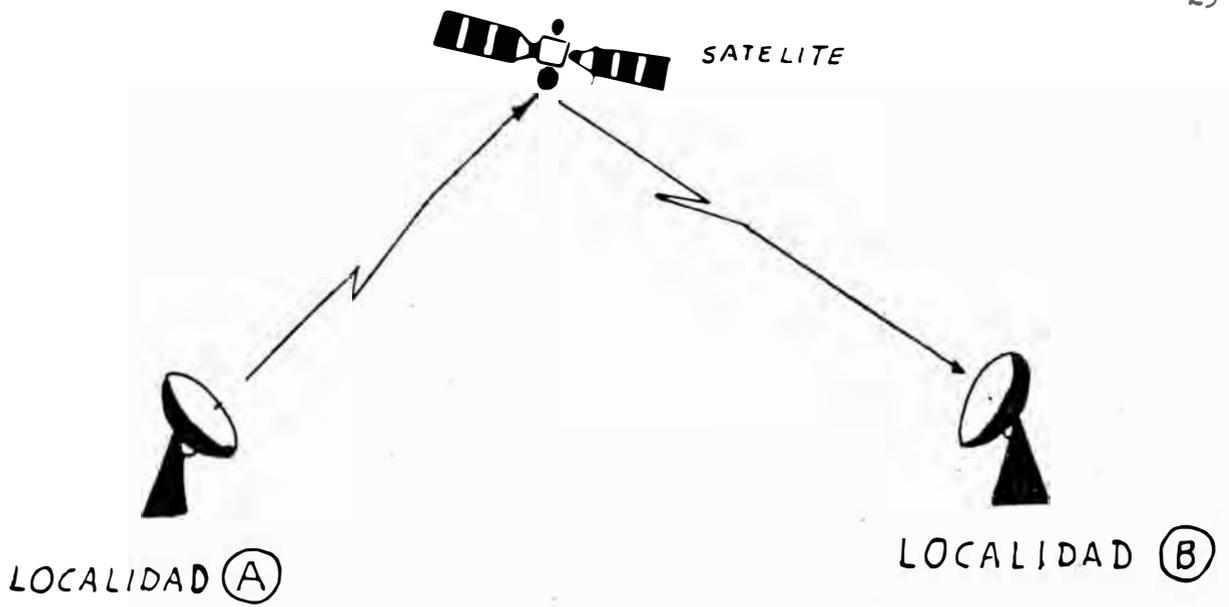


Fig. 2.1 : SISTEMA VIA SATELITE CONVENCIONAL

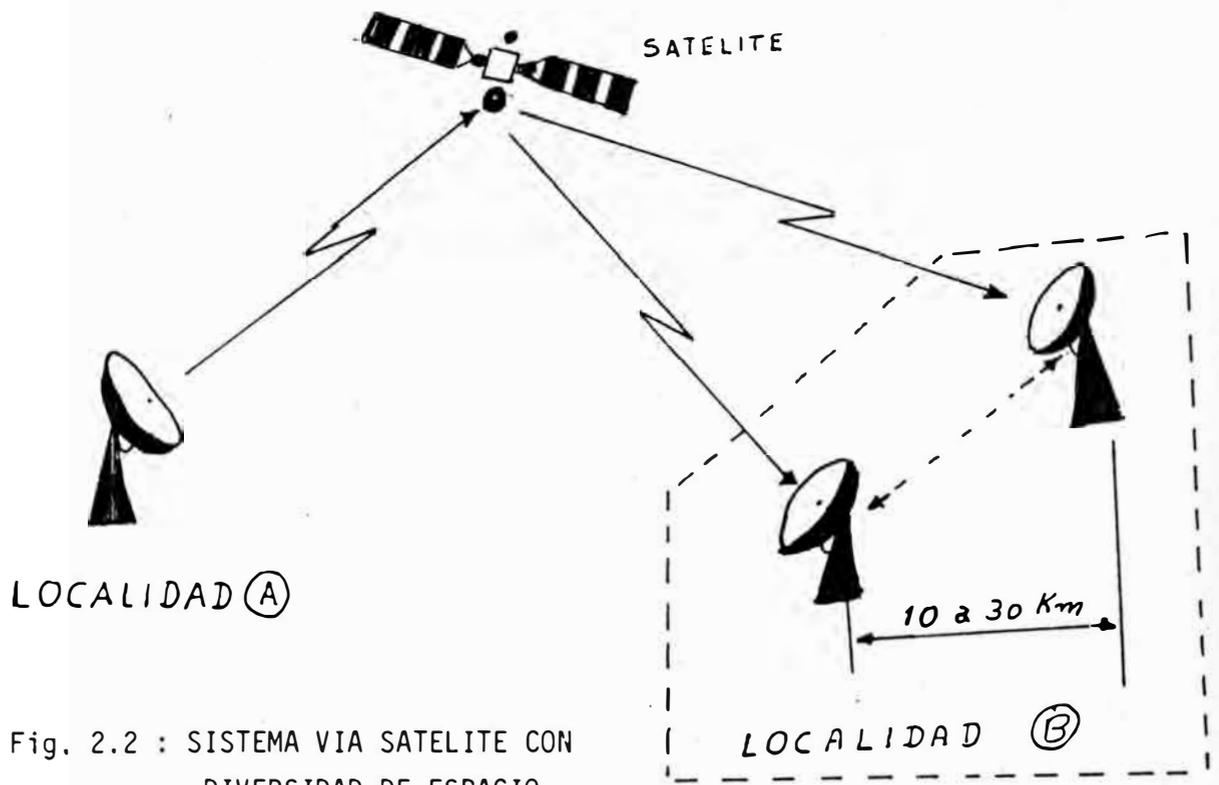


Fig. 2.2 : SISTEMA VIA SATELITE CON DIVERSIDAD DE ESPACIO

va que en la localidad B se encuentra 2 estaciones terrenas separados por una distancia apropiada. Comunicadas entre sí por un enlace terrestre. Esta nueva técnica se denomina " Diversidad de Espacio " y tiene como característica principal la recepción de una misma señal en cada una de ellas, seleccionado electrónicamente la estación con menos atenuación debido a los fenómenos anteriormente explicados, lo cual mejora considerablemente la confiabilidad del sistema,

La mejora que se obtiene al emplear la técnica de diversidad de espacio se debe principalmente, a que, las células de lluvia que causan una gran atenuación en enlaces tierra - espacio tienen a menudo dimensiones horizontales no superiores a unos pocos kilómetros, Cabe mencionar que las ventajas de esta técnica pueden ser bastantes reducidas cuando se eligen emplazamientos a los que la lluvia, tiende afectar simultáneamente a ambos emplazamientos, para evitar este fenómeno se debe hacer mediciones pluviométricas en cada localidad en cuestión y de manera - ver la factibilidad del empleo de esta técnica. En la fig. 2.3 se muestran el diagrama esquemático de nuestro experimento.

2.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA

Nuestro sistema de recepción por diversidad de espacio está constituido por una estación principal (Iquitos) y una estación remoto (Indiana) separados por una distancia de 28 Km., intercomunicadas por un enlace VHF la información captada por - la estación remoto se obtiene en la estación principal mediante

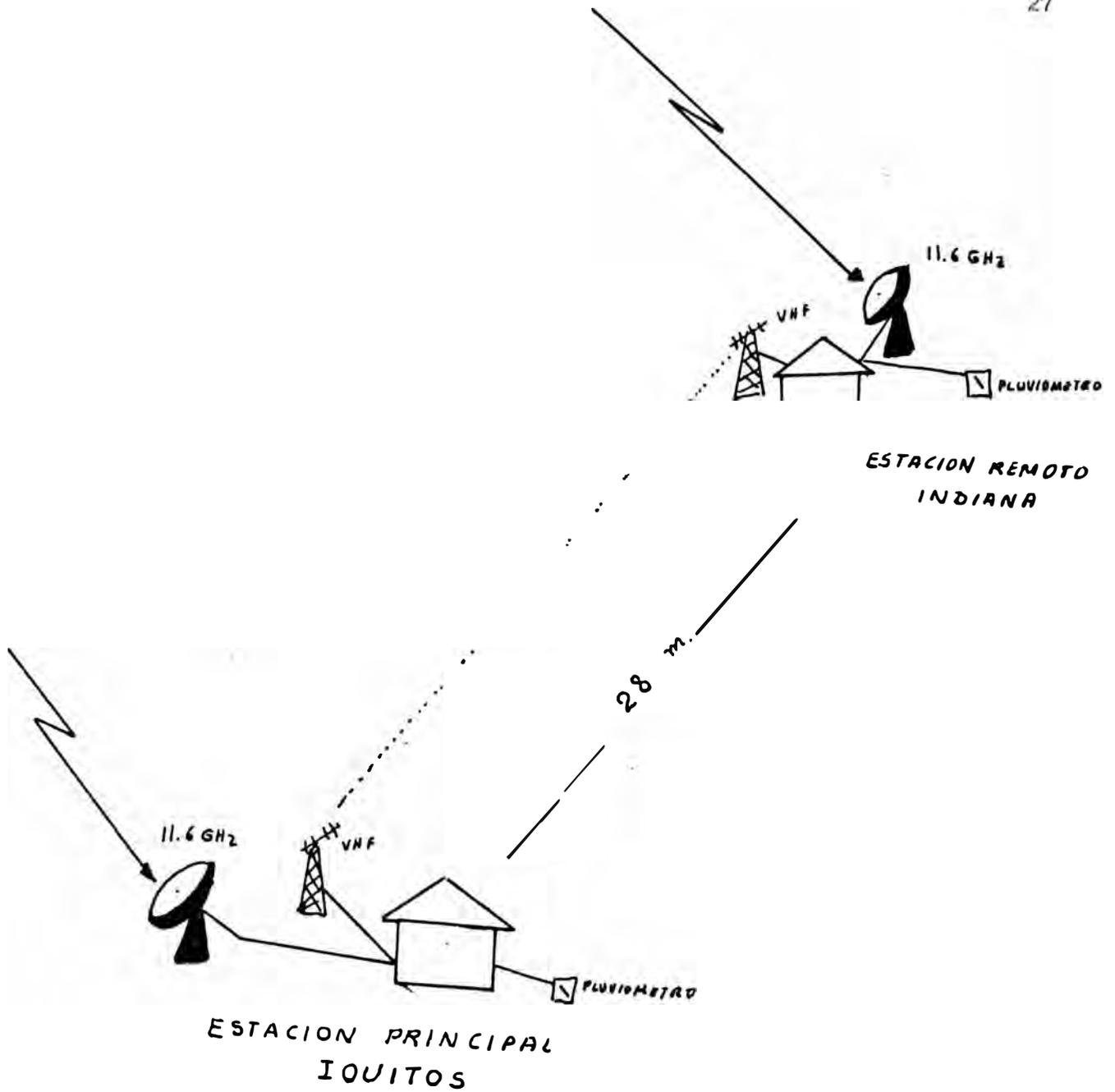


Fig. 2.3 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL EXPERIMENTO

este medio.

En la Fig. 2.4 se muestra el diagrama de bloques de la estación principal el cual consta de las siguientes partes:

- Antena de 11.6 HZ
- Radiómetro Pasivo
- Down converter
- Amplificador IF
- Interfase
- Pluviómetro
- Graficador
- Receptor
- Modem

En la fig. 2.5 se muestra el diagrama de bloques de la estación Remoto el cual consta de las siguientes partes:

- Antenas 11.6 GHz
- Radiómetro pasivo
- Down converter
- Amplificador IF
- Interfase
- Pluviómetro
- Graficador
- Transmisor
- Modem

2.3.1 Antenas

Las antenas que se usan en el experimento reúnen toda las especificaciones técnicas para nuestros propósitos, cumpliendo con

Fig. 2,4 : DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESTACION PRINCIPAL

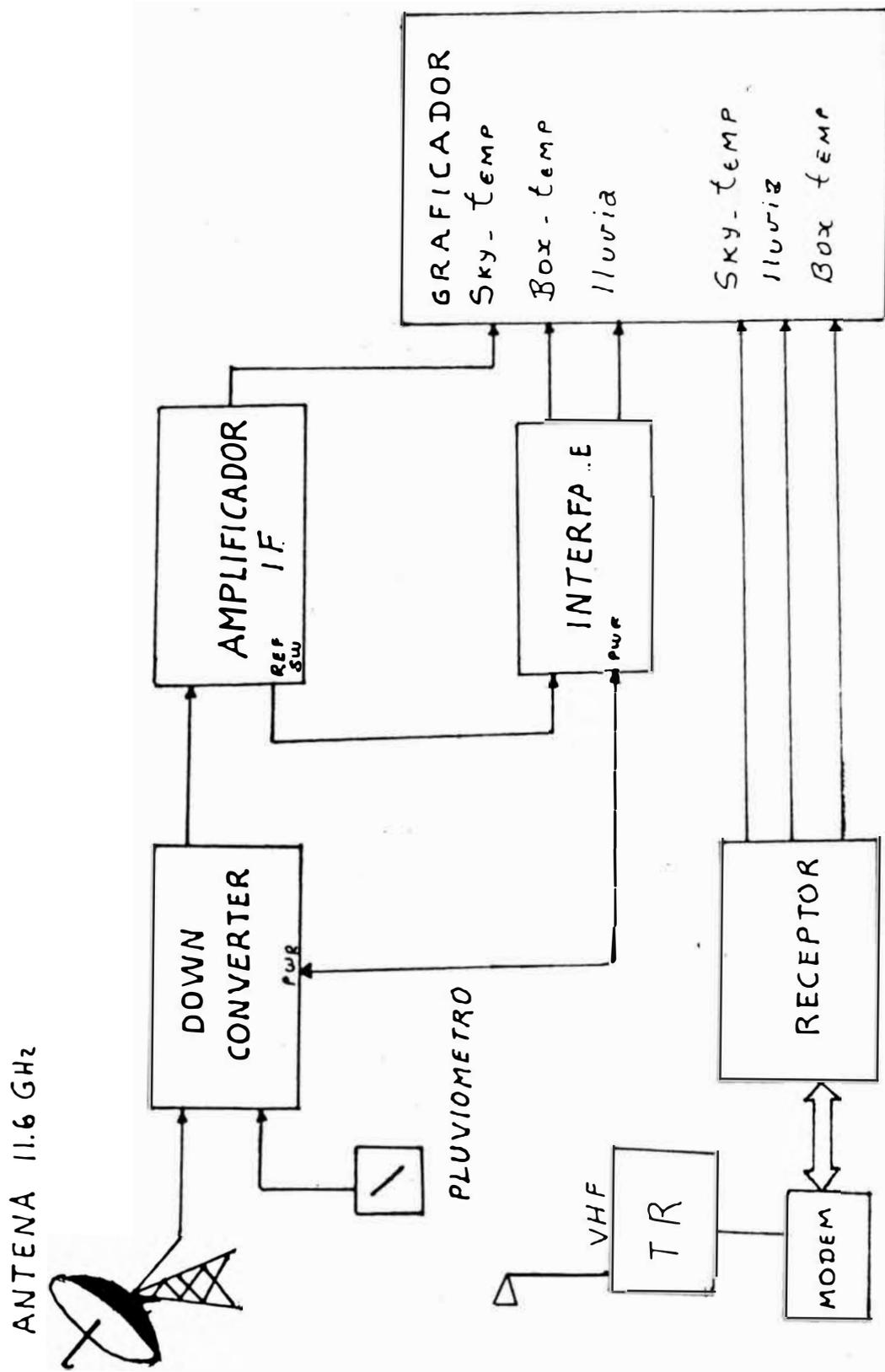
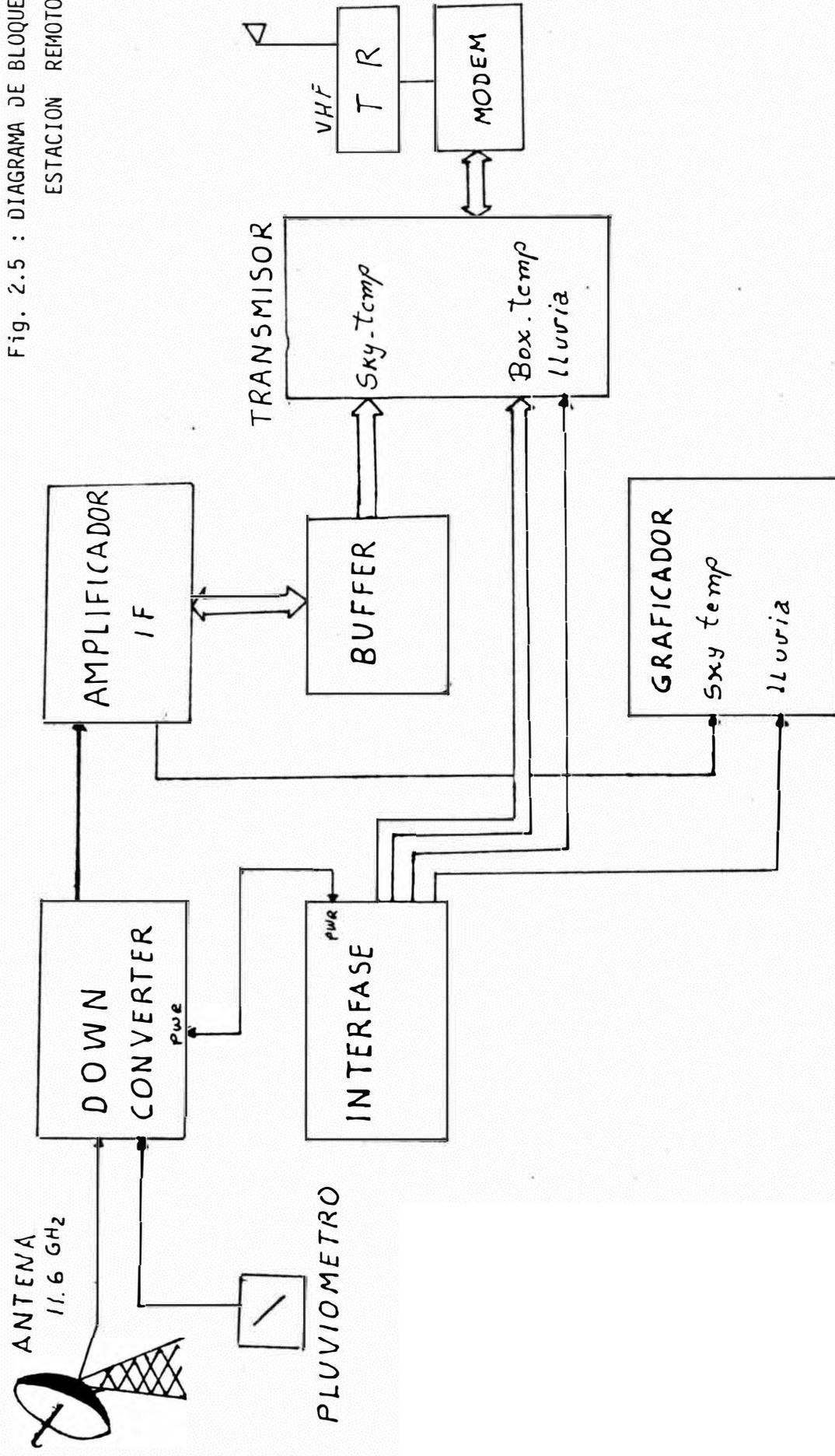


Fig. 2.5 : DIAGRAMA DE BLOQUES DE ESTACION REMOTO



las especificaciones del CCIR. Son de forma de un paraboloide de superficie sólida realizada en fibra de vidrio.

Las características de dichas antenas son las siguientes:

Diámetro	1.8 mts.
Ganancia	44 dB
Ancho de haz de media potencia	1°
Apuntamiento	
Elevación	27.7°
Azimut	80°CW desde el N

En la figura 2.6 se muestra dicha antena.

2.3.2 Radiómetros 11.6 GHz

En la fig. 2.7 se muestran el equipo en conjunto, consta de - las siguientes partes:

Down Converter

Amplificador de frecuencia intermedia

Interfase

a) Down Converter

Es el elemento que traslada la información (temperatura de ruido recibida alrededor de 11.6 GHz, a un ancho de banda de 5 a 600 MHz. Lo cual lo realiza principalmente el mezclador - con un oscilador centrado a la frecuencia de 11.6 GHz.

b) Amplificador de Frecuencia Intermedia

En nuestro experimento se ha usado un amplificador de frecuencia intermedia independiente de la ganancia del sistema.

Bien se sabe que la ganancia varía con la temperatura y el tiempo



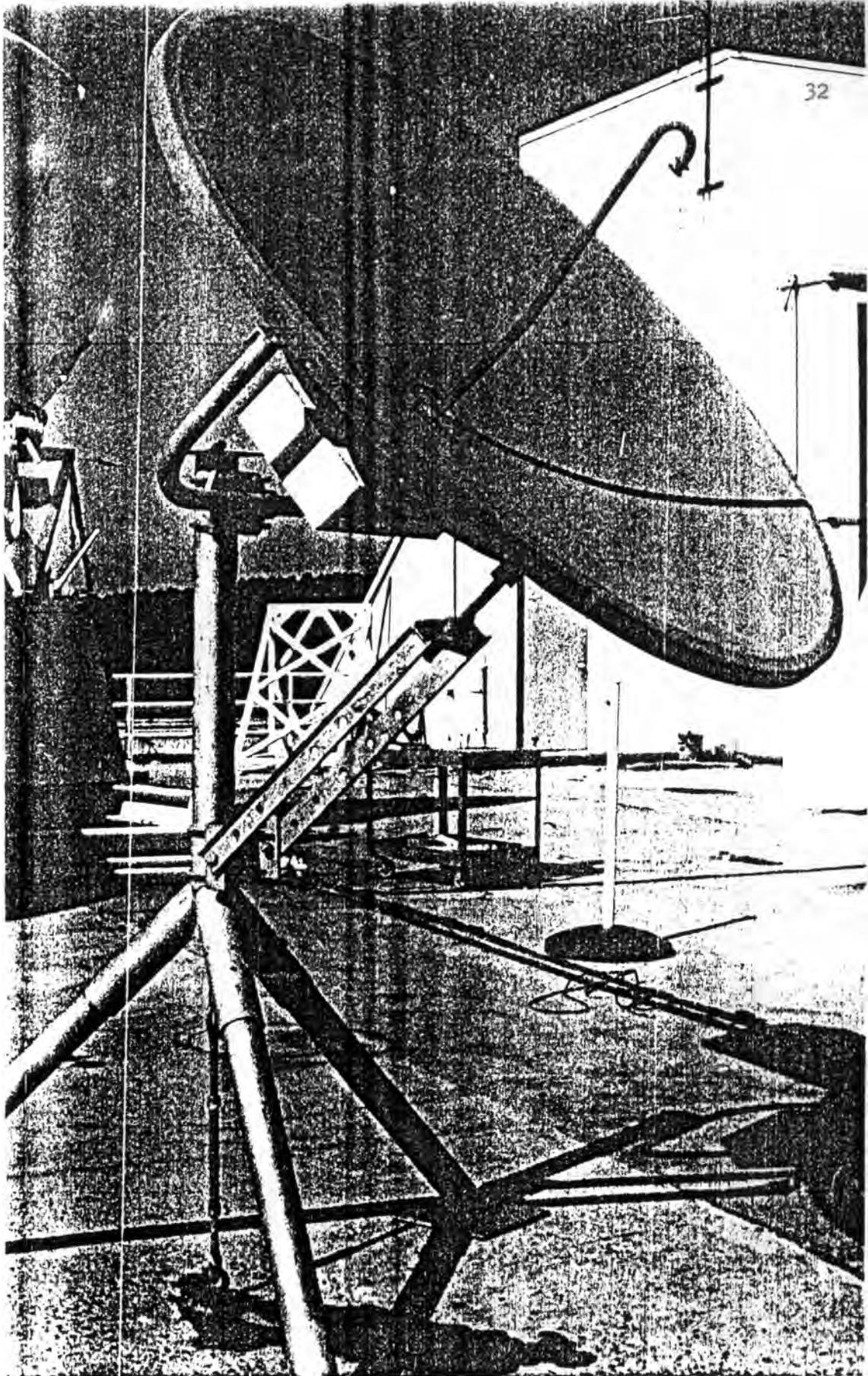


Fig. 2.6 ANTENA RADIOMETRICA

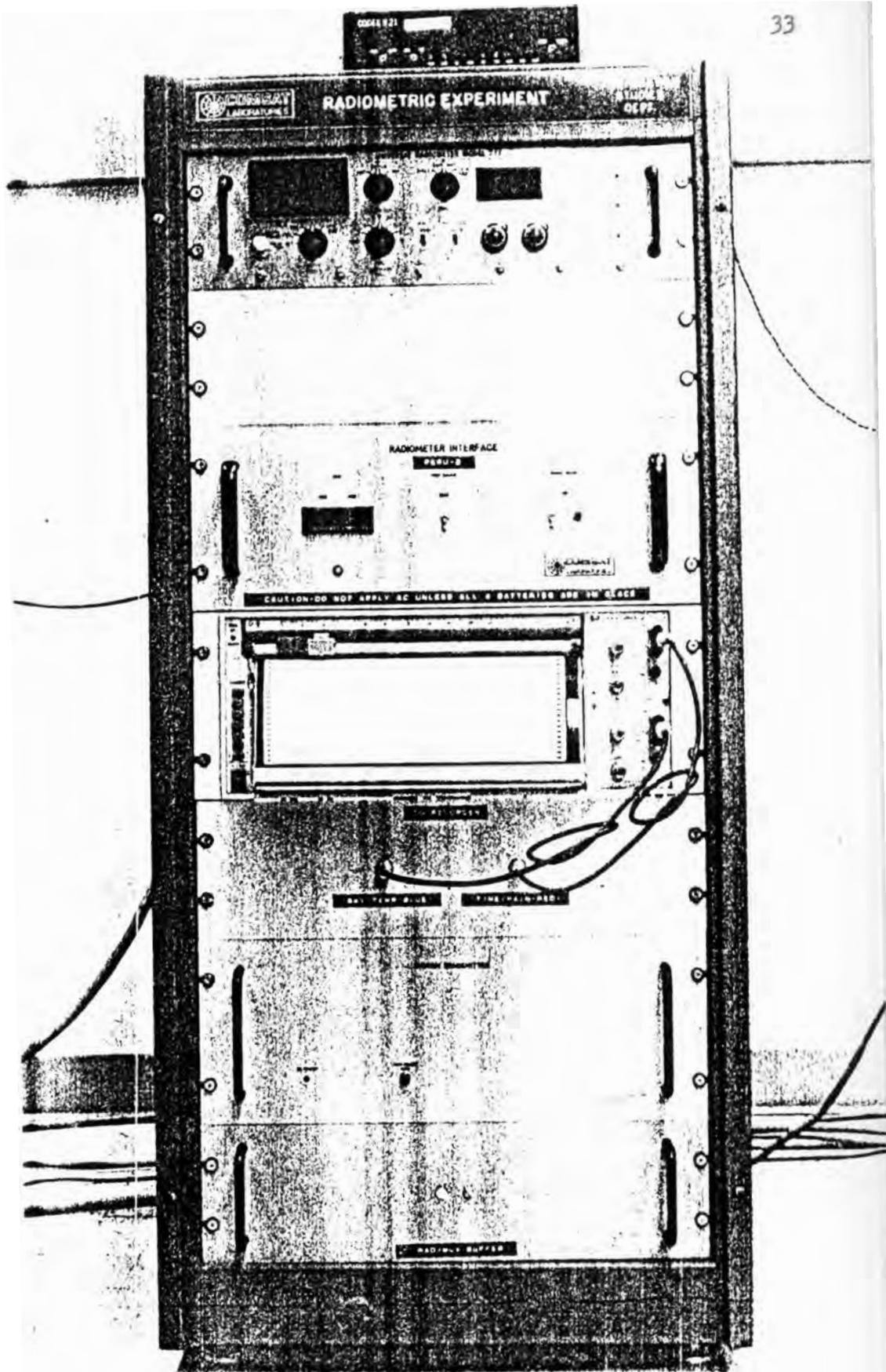


Fig. 2.7 RADIOMETRO 11.6 GHz

po, en nuestro caso, no es conveniente que esto suceda. En este equipo se consigue la linealidad de la recepción de la antena, es decir el ruido del cielo con lo que se grafica en el recorder. En nuestro experimento se ha usado el tipo AIL - 777 - de la Airobone Instrument Laboratories,

c) Interfase

El equipo de interfase cumple las siguientes funciones:

- Proporciona alimentación continua VDC a la unidad del Down Converter
- Provee un buffer a los pulsos del pluviómetro
Permite que el ciclo de autocalibración normal del equipo pueda ser deshabilitado temporalmente.
- Provee todos los controles para las sub unidades del Down Converter
- Proporciona al graficador las señales del pluviómetro, temperatura del sistema (Box temp

2.3.2 Unidad del sistema de comunicación de datos (DCS)

Esta unidad está formada por todos los elementos que se utilizan para la botención de la información en la estación principal (Iquitos) desde la estación remota (Indiana) mediante un enlace VHF.

Como principales elementos tenemos:

Sistema transmisor

Modem Remoto

Sistema Receptor

Modem Principal

. Equipo VHF

La información que se transmite del lado remoto al lado principal es:

Ruido de la Temperatura

Información del Pluviómetro

Temperatura del Equipo (Box Temp)

A continuación explicaremos cada uno de los elementos:

a. Modem

El modem en nuestro sistema es el codex V-21 el cual es apropiado para nuestros propósitos. Cuyas condiciones de trabajo son: Velocidad de 110 bit/seg, serial asíncrono, modulación desplazamiento de frecuencia (FSK), nivel de transmisión 0 dBm, nivel de recepción -43 dBm.

b. Sistema Transmisor (Estación remoto)

Este equipo tiene la función de seleccionar la información para ser enviada hacia la estación principal. La cual está formada por la temperatura de ruido, los datos del pluviómetro, y la temperatura interna del equipo.

El sistema transmisor consta de las siguientes partes:

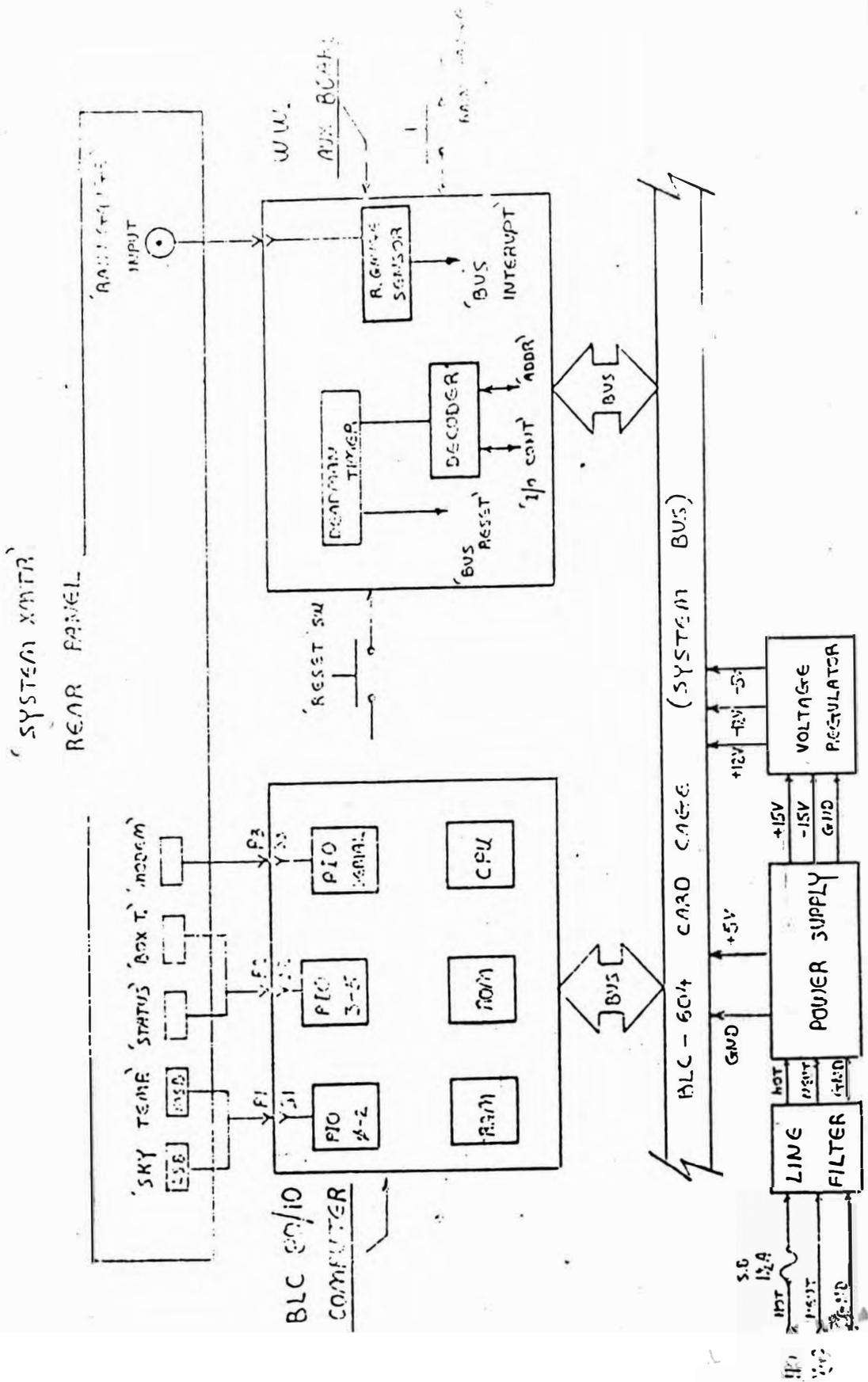
Fuente de alimentación, CPU, tarjeta auxiliar; ver fig. 2.8

La fuente de poder,- Trabaja con 110 ó 120 VAC a 50/60 Hz.

Proporciona una tensión de salida de 5V a 8A y 15V a 1.5 A.

La CPU.- La unidad central de proceso contiene una memoria compuesta por 1K-Ram y 4K-Rom seis canales I/O paralelos y uno en serie. Se usa dos canales para información de temperatura de ruido, un canal para temperatura interna del equipo, y el

Fig. 2.8 DIAGRAMA DEL EQUIPO TRANSMISOR



canal en serie es conectado directamente al modem,

Tarjeta auxiliar WW.- Es la tarjeta interfase entre el pluviómetro y el CPU. Contiene un circuito one shot el cual es disparado con la información del pluviómetro, interrumpe al CPU el cual almacena internamente la información del pluviómetro para ser transmitida.

c. Sistema receptor (Estación principal)

Su función consiste en recepcionar la información del lugar remoto vía modem, la chequea para luego transferir al graficador para obtener los respectivos trazos, es decir la información de la temperatura de ruido, datos del pluviómetro y temperatura del equipo remoto.

Los componentes más importantes del receptor son:

Fuente de alimentación, la CPU, tarjeta de comunicaciones, tarjeta auxiliar (WW PCB), tal como se muestra en la fig.2.9 La fuente de alimentación.- Proporciona 5V a 8V y 15V a 1.2 A, los 15V son regulados a 12V y 5V, ésta fuente opera a 110/120 VAC, 50/60 Hz.

La CPU, la unidad central de proceso, contiene una memoria de 1K-Ram y 4K-Rom, seis canales I/O y uno serial, encargado del control del receptor.

La tarjeta de comunicaciones.- Interface entre el modem y la CPU. Contiene tres canales I/O seriales (solamente se usa uno de ellos).

La tarjeta auxiliar WW.PCB.- Es la tarjeta de salida del receptor proporciona la información recepcionada al recorder,

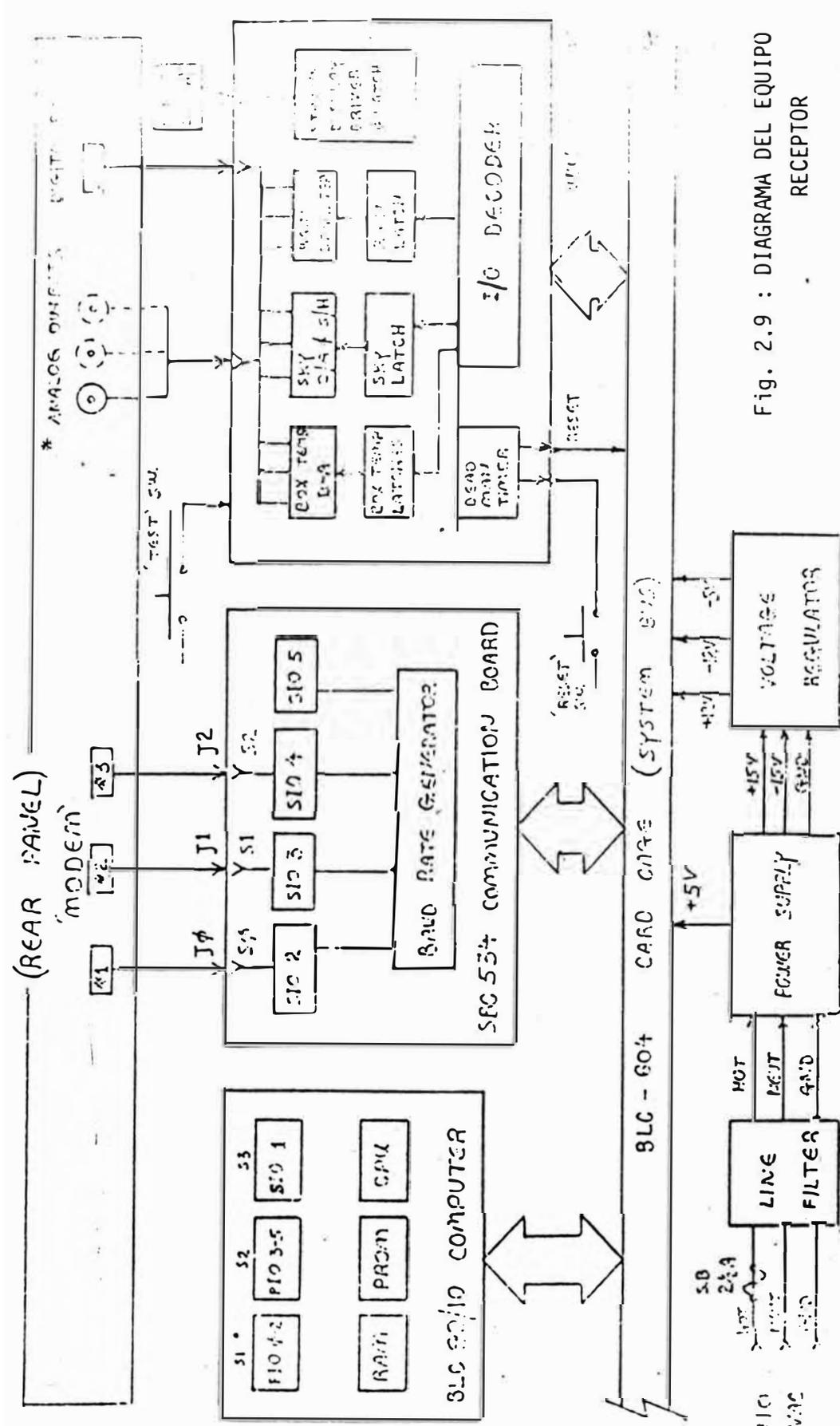


Fig. 2.9 : DIAGRAMA DEL EQUIPO RECEPTOR

tal como se muestra en la fig. 2.9 posee tres canales para -- cada información, se ha utilizado una de cada tipo,

d. Equipo VHF

Nuestro equipo VHF tiene las siguientes especificaciones:

Tipo de Comunicación	Duplex
Potencia de Trabajo	10 W
Antena Tipo	Yagui (5 elementos)
Ganancia	11 dB
Polarización	Horizontal
Frecuencia de Trabajo...	154.95 MHz
	149.07 MHz

2.3.3 Pluviómetro

En la fig. 2.10 se muestra el pluviómetro empleado.

Su operación se basa en el empleo de un balancín de dos brazos asociados con un switch de mercurio.

Cuando el agua ingresa al interior del pluviómetro, el peso - del agua hace que uno de los brazos desplace hacia abajo hasta que, nuevamente el peso del agua acumulada en el otro brazo lo vuelva a la posición superior. La acción del balance hace que el switch de mercurio, localizado debajo del mecanismo del balancín se cierra momentáneamente. Este switch está - conectado a una fuente que permite registrar cada balanceo de los brazos.

Los brazos están calibrados para balancearse después de cada 8 cm^3 (0.254 mm) de lluvia.

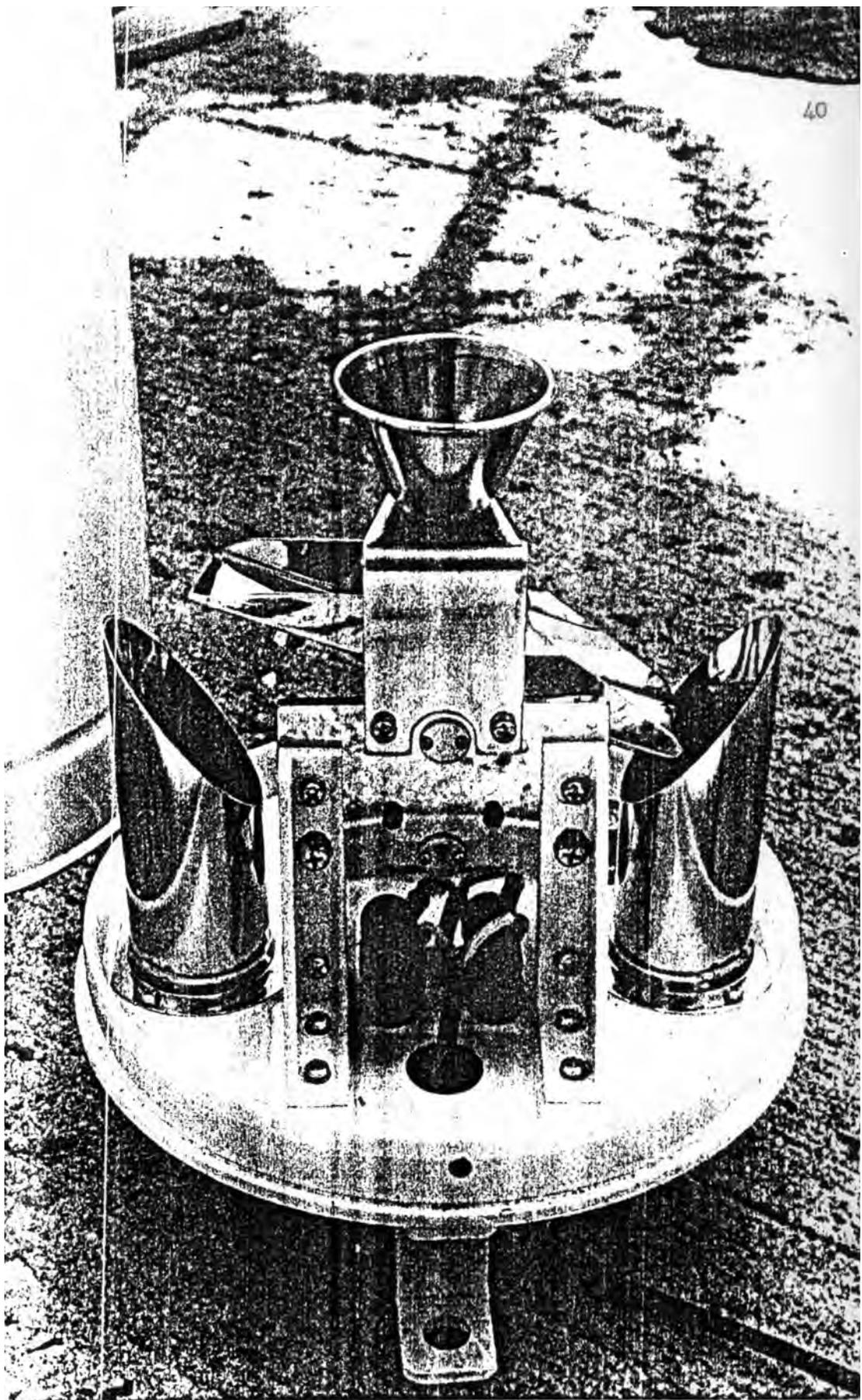


Fig. 2.10 PLUVIOMETRO

2.3.4 Graficador

a) Graficador local

El tipo de recorder usado es el HP - 7418A el cual reúne todas las condiciones para nuestro experimento, utiliza papel térmico sensible al calor mediante agujas calentadas eléctricamente.

Cada canal tiene un preamplificador a fin de dar la sensibilidad necesaria a la salida.

La velocidad del graficador para nuestro experimento es de 5mm/minuto. Grafica las siguientes señales:

- Temperatura interna del equipo (Box Temp
- Información del pluviómetro local
- Temperatura de ruido 11.6 GHz local)
- Temperatura de ruido 11.6 GHz remoto)
- Información del pluviómetro (remoto)
- Temperatura interna del equipo (remoto

En la figura 2.11 se muestra los trazos típicos de salida del graficador.

b) Graficador Remoto

Se ha utilizado un recorder tipo H-7132 posee la misma filosofía de funcionamiento que el registrador local, diferenciándose en los números de canales de salida. En la fig. 2.12 se muestra los trazos típicos de las salidas del recorder. La información que se obtiene es la siguiente:

- Temperatura de ruido 11.6 GHz
- Información del pluviómetro

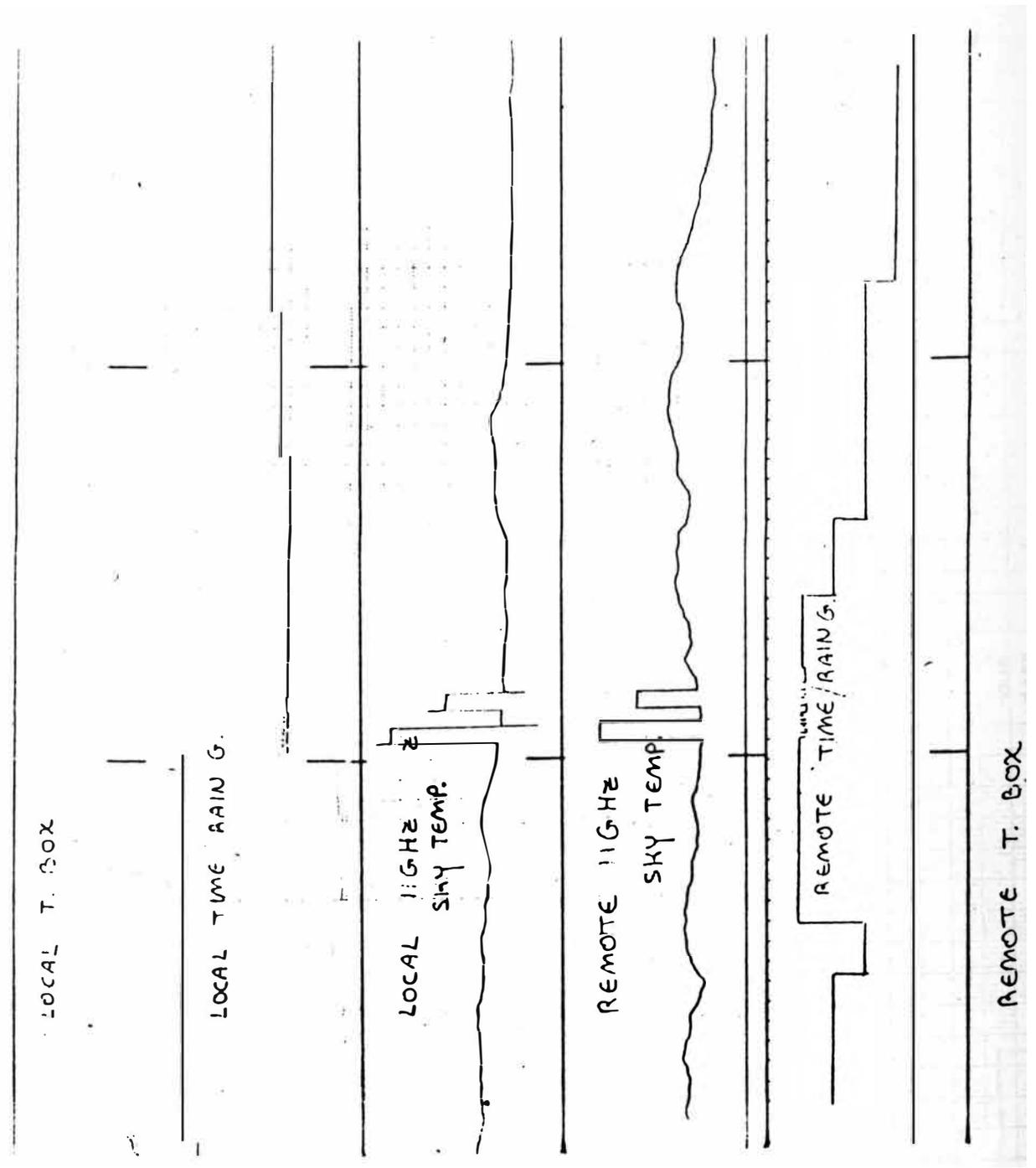


Fig. 2.11 TRAZOS TIPICOS DEL GRAFICADOR LOCAL



Fig. 2.12 TRAZOS TÍPICOS DEL GRAFICADOR REMOTO

2.3.5 Alimentación del sistema

La alimentación del sistema se obtiene de la energía comercial también existe un grupo electrógeno de emergencia en cada estación. Dentro de las especificaciones principales tenemos:

Tensión	110 VAC	60 Hz
Corriente máxima	30 A	Est. principal
Corriente máxima	14 A	Est. remoto)
Auto transformador	220/110 VAC (En cada Est.)	

3. METODOLOGIA Y ANALISIS DE DATOS

3.1 PROCEDIMIENTOS TEORICOS

3.1.1 Modelos para la distribución de la intensidad de lluvia

Las mediciones efectuadas con pluviómetros de respuesta rápida indican que las lluvias de gran intensidad tienden a concentrarse en periodos de tiempos breves, normalmente unos cuantos minutos. Por lo tanto las distribuciones experimentadas de la intensidad de lluvia dependen del tiempo de integración empleando. Los valores acumulativos mensuales, diarios y en algunos casos horarios de las precipitaciones en forma de lluvia que se consiguen fácilmente en las publicaciones de los diversos servicios meteorológicos no pueden utilizarse directamente para obtener distribuciones acumulativas de intensidades de lluvia durante pequeños porcentajes de tiempo. En ausencia de datos apropiados sobre intensidad de lluvia en una localidad puede emplearse la fig. 3.1 en la cual se muestran los contornos de intensidad de lluvia excedidos durante el 0.01% del tiempo. Según el CCIR con intensidades de lluvia medias que permiten hacer mediciones exactas, su distribución acumulativa puede aproximarse adecuadamente mediante una ley log-normal, mientras que para grandes intensidades presentan una función gamma.

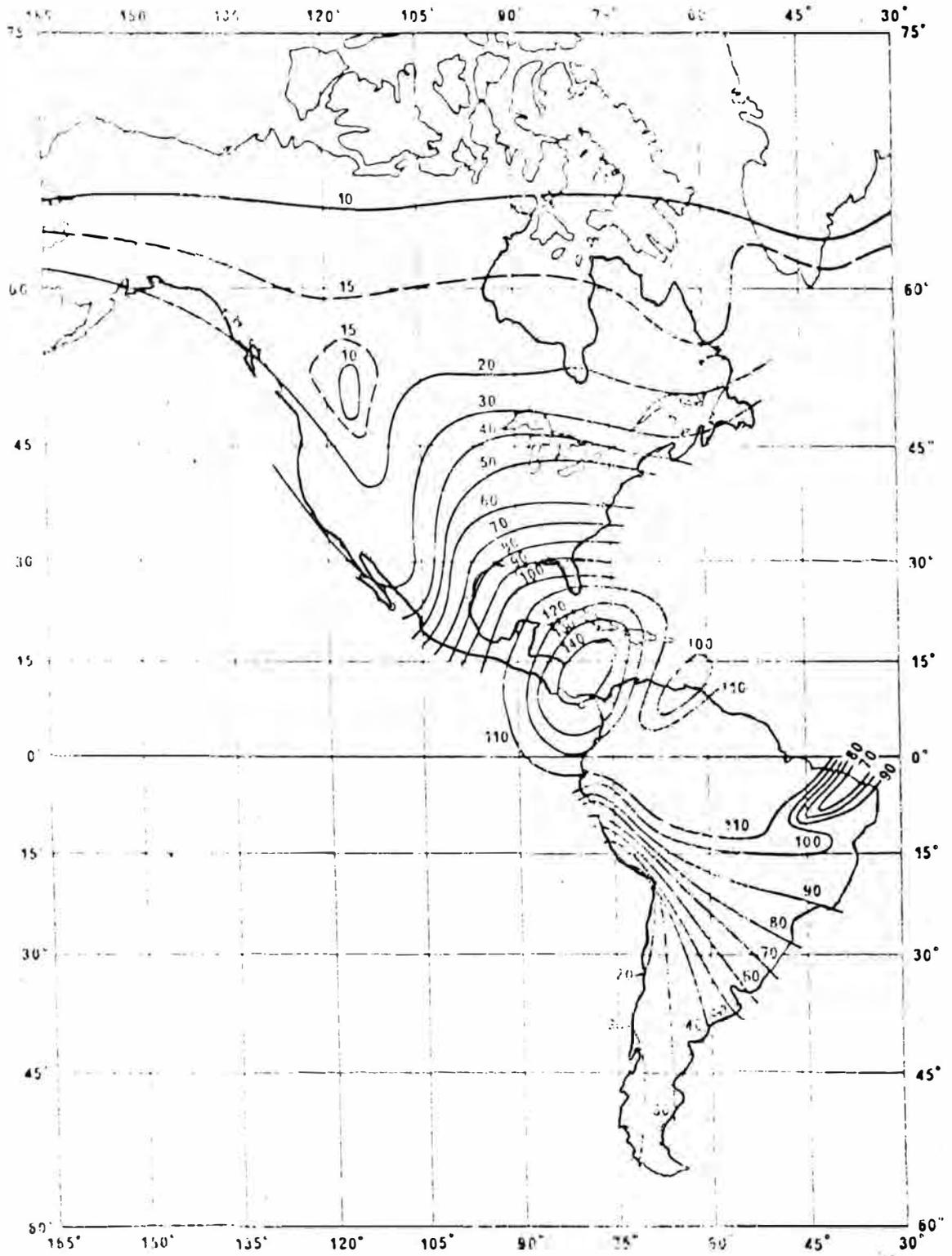


FIGURA 3.1 Contornos de intensidad de precipitación en *zona de lluvia*; 0.01 % del tiempo

La función Log-normal esta dado por:

$$F(R) = \frac{0.4343}{\sqrt{2\pi} \sigma R} \exp\left(-\frac{(\text{Log} - m)^2}{2 \sigma^2}\right)$$

donde σ = Desviación estandar de la distribución $\log_{10}R$

m = Promedio de la distribución $\log_{10}R$

La función gamma esta dado por:

$$F(R) = \frac{\beta^\gamma}{\Gamma(\gamma)} R^{\gamma-1} e^{-\beta R}$$

donde γ y β son parametros de la distribución

valor medio $m = \gamma/\beta$

varianza $\sigma^2 = \gamma/\beta^2$

$\Gamma(\gamma)$ se obtiene mediante el empleo de tabla de la función gamma.

3.1.2 Análisis teórico de la atenuación producido por la lluvia.

. Consideraciones generales

Para predecir la atenuación debido a las precipitaciones y a las nubes a lo largo de un trayecto oblicuo, es necesario obtener información de su distribución en el espacio y en el tiempo, así como sus atenuaciones específicas (dB/Km) en las fig. 1.2 y 1.3 se muestra la relación de la atenuación específica para la lluvia (dB/Km), con la intensidad de lluvia

R (mm/hr), estos datos pueden emplearse para calcular la --
atenuación que se prevee será excedida para distintos porcen-
tajos de tiempo en las distintas condiciones climáticas, en el
supuesto de que también se conoce la longitud de trayecto a -
través de la lluvia ver fig. 3.2.

. Altura de la lluvia

Las observaciones efectuadas han mostrado que la atenuación -
específica es constante desde la superficie a la altura de la
isoterma de 0°C . En la fig. 3.3 se presentan promedios por
zonas (con respecto a la longitud de cada latitud) desde la
altura de la isoterma de 0°C , h_r (Km), frente a la latitud
 ϕ (grados) que cabe esperar cuando se producen precipi-
taciones para porcentajes específicos.

Para facilitar el análisis, la curva del 0.01% de H_r (Km)
frente a la latitud ϕ (grados) puede ser presentado como:

$$H_r = 5.1 - 2.15 \log. \left(1 + 10^{\frac{\phi - 27}{25}} \right)$$

. Método de predicción

Previamente al empleo del método desarrollado para calcular -
las estadísticas a largo plazo de las atenuaciones debido a la
lluvia en trayectos eblicuos es preciso conocer los parámetros
siguientes:

R_p Intensidad de la lluvia en el punto que se esta tratando,
durante los porcentajes de tiempo requeridos (mm/hr).

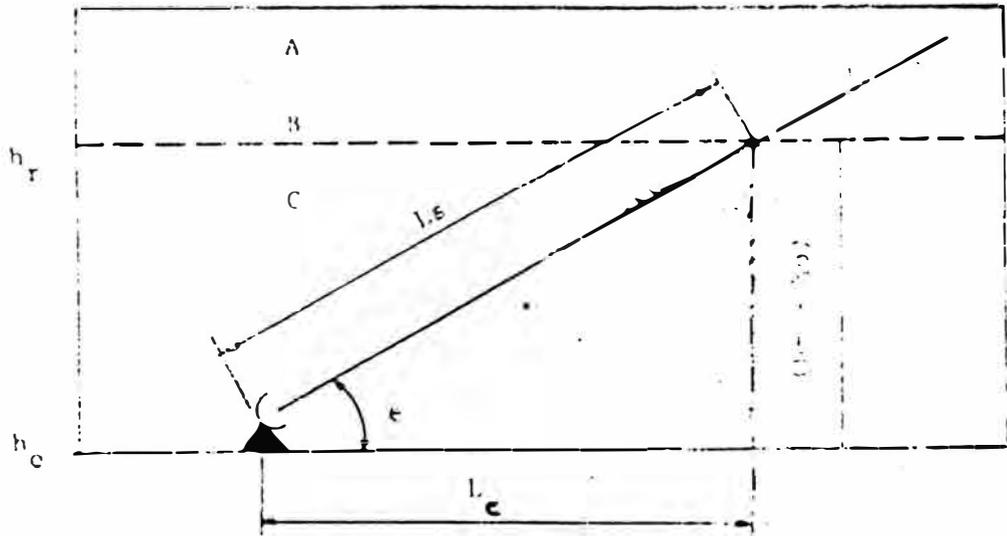


FIG. 3.2 -- Representación esquemática de un trayecto tierra-espacio con los parámetros que se utilizarán en el proceso de predicción de la precipitación.

- A: Precipitación en forma de hielo
- B: Altura de lluvia
- C: Precipitación en forma líquida
- D: Trayecto tierra-espacio

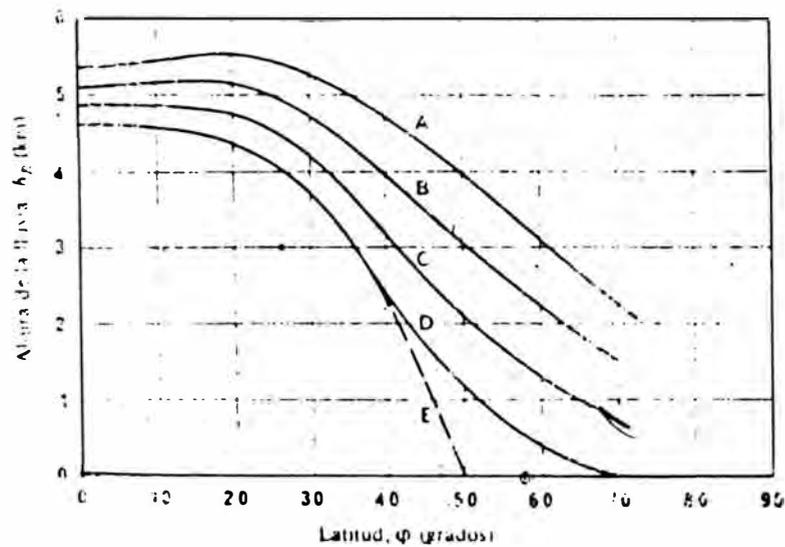


FIGURA 3.3. Altura de la lluvia h_k (km) por debajo de la cual se produce nevación debido a los hidrometeoros, en función de la latitud ϕ (grados).

- CURVAS:
- A. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de lluvia asociada: 0,001 %
 - B. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de lluvia asociada: 0,01 %
 - C. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de lluvia asociada: 0,1 %
 - D. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de lluvia asociada: 1,0 %
 - E. Incluye la ocurrencia de lluvia y nieve

h_0 Altura de la estación terrena (Km) sobre el nivel del mar.

ϕ Latitud de la estación terrena (grados)

θ Angulo de elevación (grados)

El método propuesto consta de los siguientes pasos: (hasta el paso 7 para el caso de 0.01% del tiempo y el paso 8 para otros porcentajes).

Paso 1 La altura de la lluvia H se obtiene a partir de

$$H_r = 5.1 - 2.15 \log. \left(1 + 10^{\frac{\phi - 27}{25}} \right)$$

Paso 2 La longitud del trayecto oblicuo L_s , es por debajo de la altura de la lluvia se obtiene de la fórmula:

$$L_s = \frac{2(h_R - h_0)}{\text{Sen}^2 \theta + 2 \left(\frac{h_R - h_0}{R_e} \right)^{1/2} + \text{Sen} \theta}$$

donde R_e es el radio efectivo de la tierra (8500 Km).

Para $\theta > 10^\circ$; la ecuación anterior puede simplificarse como sigue:

$$L_s = \frac{h_r - h_0}{\text{Sen} \theta}$$

Paso 3 La proyección horizontal L_g , de la longitud del trayecto se obtiene de:

$$L_g = L_s \text{ Cose} \theta$$

Paso 4 : El factor de reducción r_p , para el 0.01% del tiempo se calcula a partir de la fórmula:

$$r_p = \frac{90}{90 + 4 \lg.}$$

Paso 5 : Obtener la intensidad de lluvia R_p , excedida durante 0.01% del tiempo (con un tiempo de integración de un minuto).

Paso 6 : Obtener la atenuación específica γ_R utilizando las fig. 1.2 y 1.3.

Paso 7 : La atenuación excedida durante el 0.01% puede obtenerse a partir de :

$$A_{0.01} = \gamma_R L_s r_p$$

Paso 8 : La atenuación excedida entre el 0.01% y el 0.1% puede estimarse a partir del resultado anterior aplicando la fórmula:

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-a}$$

Siendo:

$$a = 0.33 \quad \text{para} \quad 0.001 < p \leq 0.01$$

$$a = 0.41 \quad \text{para} \quad 0.001 < p \leq 0.1$$

Para porcentajes de tiempo superiores al 0.1% el procedimiento, puede modificarse como sigue:

- a. Obtener la altura de la lluvia h_r para porcentajes de tiempo del 1% utilizando la fig. 3.3
- b. Los pasos 2 y 3 no cambian
- c. Emplear un factor de reducción $r_p = 1$
- d. Obtener la intensidad de lluvia r_p excedida durante el 1% - del tiempo
- e. Obtener la atenuación excedida para el 1% del tiempo
- f. Calcular las atenuaciones del trayecto A_p durante un porcentaje de tiempo intermedio P, entre el 0.1% y el 1% por interpolación mediante la siguiente fórmula aproximada:

$$\frac{A_p}{A_{0.1}} = \left(\frac{P}{0.1} \right)^{-a}$$

Donde $A_{0.1}$ es la atenuación calculada anteriormente para el porcentaje de tiempo del 0.1%

El valor de a esta dado por:

$$A = \log \left(\frac{A_{0.1}}{A_{1.0}} \right)$$

Empleando las formulas expuestas con los siguientes datos:

- Angulo de elevación θ : $27^\circ 7'$
- Altitud de las estaciones terrenas sobre el nivel del mar --
 $h_o = 105$ m
- Longitud de estación

Iquitos, $\phi = 3^{\circ}43'48''$

Indiana, $\phi = 3^{\circ}17'20''$

Con los cuales se obtienen los siguientes resultados para diferentes porcentajes de tiempo.

IQUITOS	0.01%	1%
Altura de la lluvia, H_r	4.9965 Km.	4.646 Km.
Trayecto Oblicuo, L_s	10.523 Km.	9.769 Km.
Proyección Horizontal, L_g	9.317 Km.	8.649 Km.
Factor de Reducción, R_p	0.7072	1
Intensidad de lluvia Excedida	104 mm/hr	0.8 mm/hr
Atenuación Específica	4.4 dB/Km	0.25 dB/Km
Atenuación Excedida	32.74 dB	2.45 dB

INDIANA	0.01%	1%
Altura de la lluvia, H_r	5.001 Km	4.996 Km.
Trayecto Oblicuo, L_s	10.641 Km.	10.630 Km.
Proyección Horizontal, L_g	9.940 Km.	9.41 Km.
Factor de Reducción, R_p	0.742	1
Intensidad de lluvia excedida	108 mm/hr	12 mm/hr
Atenuación Específica	4.5 dB/Km	0.34 dB/Km
Atenuación Excedida	33.71 dB	3.19 dB

A partir de $A_{0.01}$ es posible determinar la atenuación esperada en 0.1% del tiempo de acuerdo a la relación.

$$A_{0.1} = A_{0.01} \left(\frac{0.1}{0.01} \right)^{-0.41}$$

Por otro lado, las atenuaciones del trayecto A_p , durante un porcentaje de tiempo intermedio, P, entre el 0.1% y el 1% pueden ser hallados por interpolación, según la relación.

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.1} \right)^{-a}$$

Donde $a = \text{Log.} \frac{A_{0.1}}{A_{1.0}}$

$a = 0.721$ (Iquitos)

$a = 0.612$ (Indiana)

CUADRO 3.1 : Atenuación producido al método CCIR

% TIEMPO	Atenuación Excedida (dB)	
	IQUITOS	INDIANA
0.1	12.74	13.11
0.15	9.50	10.22
0.2	7.73	8.57
0.3	5.77	6.69
0.5	3.95	4.89
0.8	2.85	3.67
1	2.45	3.19

3.1.3 Análisis teórico de la atenuación producida por la lluvia empleando diversidad de espacio

Para el empleo de esta técnica se utiliza como mínimo dos estaciones una principal y otra remoto.

La atenuación por diversidad A_{div} , es equivalente a la atenuación de la principal A_1 , ó A_2 de la remoto la que es más pequeña es decir:

$$A_{div} = \min (A_1 , A_2)$$

La curva de distribución A_{div} , puede ser estimada a través de la distribución y correlación de las curvas A_1 y A_2 .

El porcentaje de tiempo P que exceden una atenuación de lluvia A (dB) en una de las estaciones, y el porcentaje de tiempo por diversidad P_{div} , se expresa de la siguiente manera:

$$P_{div} = a p^b \quad (0.01\% < P \leq 5\%)$$

Los valores de a y b son parametros dependientes del ángulo de elevación, altura de la lluvia, distancia entre las dos estaciones etc.

Para la predicción teórica según el CCIR tenemos:

$$a = 1.374 \quad S^{-0.49}$$

$$b = 0.9586 + 0.104 \sqrt{S} \quad (10 < S \leq 50 \text{ Km})$$

En nuestro experimento $S = 28$ Km (Distancia entre las dos estaciones) reemplazando en las formulas anteriores tenemos que:

$$a = 0.268$$

$$b = 1.0508$$

$$P_{div} = 0.268 p^{1.508}$$

CUADRO 3.2 Porcentaje de tiempo P (%) de una de las estaciones y el porcentaje de tiempo Pdiv (%) por diversidad y su respectiva atenuación.

P (%)	Pdiv (%)	Adiv (dB)
3	1.4	0.8
2	0.76	1.05
1	0.26	2
0.8	0.19	2.4
0.5	0.09	3.2
0.3	0.04	4.4
0.2	0.02	5.6
0.1	0.008	8

3.1.4 Dependencia en frecuencia de las estadísticas de la atenuación

En un enlace tierra - espacio, para el diseño de un sistema vía satélite, implica el uso de dos frecuencias, la mayor para el - enlace ascendente y la menor para el enlace descendente, bien -

sabemos que los valores de atenuación que presentan son diferentes, por lo cual es necesario saber la correspondencia entre ellas.

Con el conocimiento de la atenuación a la frecuencia F_1 se puede establecer una relación que permite extrapolar la información de la atenuación a la frecuencia F_2 .

Se puede aplicar la fórmula empírica (en la gama de frecuencias de 8 a 30 GHz)

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^2$$

A_1 , A_2 son los valores equiprobables de la atenuación en (dB) para frecuencias f_1 , f_2 (GHz) respectivamente. A continuación presentamos el siguiente cuadro de correspondencia; los valores de atenuación para la frecuencia de 11.6 GHz son experimentales.

CUADRO 3.3 : Correspondencia de la atenuación a 14 GHz con la producida a la frecuencias de 11.6 GHz - Iquitos

%	$f_1 = 11.6$ GHz	$f_2 = 14$ GHz
TIEMPO	A_1 (dB)	A_2 (dB)
0.47	3.4	4,66
0.57	3	4,11
0.7	2.6	3.56
0.88	2.2	3.01
1.1	1.8	2,5
1.4	1.4	1.96
1.9	1.1	1.92
2.6	0.8	1.1
3.85	0.7	0.96

3.2 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

3.2.1 Análisis de los datos pluviométricos.

Como se ha explicado en el capítulo 2 los datos pluviométricos son obtenidos usando un pluviómetro, tanto en la ciudad de Iquitos como Indiana, los cuales son recopilados de las hojas del recorder. Se ha tenido en consideración que el pluviómetro cada 8 cm^3 (0.254 mm) de H_2O proporciona un pulso, en la salida del recorder se forma pulsos formando escaleras de acuerdo a la intensidad de la lluvia teniendo en cuenta que el papel del recorder es milimetrado, se obtiene de esta manera una relación de milímetro de lluvia por minuto. Cabe mencionar que a manera de calibración se simula una lluvia con un depósito de 300 m^3 los cuales se hacen caer gota a gota en el pluviómetro contando el N° de cierre de Switch de aluminio del pluviómetro este número es exactamente igual al número de pulso que aparece en el papel graficador.

Teniendo en cuenta que el intervalo de muestreo del registro de lluvia es de un minuto, se obtiene que la velocidad de precipitación de lluvia durante un minuto cualquiera esta dado por:

$$V = 0.254 \text{) } (60 \text{)}$$

$$V = 15.24 \text{ (} n \text{) mm/hr} \quad n = \text{Es el numero de pulsos del pluviómetro provocado por la lluvia de 1 minuto.}$$

En el caso que el pulso dure más de 1 minuto se obtiene la velocidad de la siguiente manera:

$$V = \frac{15.24}{\text{Duración del pulso}}$$

Ejemplo : 1 pulso de 6 minutos

$$V = \frac{15,24}{6} = 2.54 \text{ mm/hr}$$

La velocidad mínima se ha escogido 2.54 mm/hr y se ha obtenido como un máximo de 121.92 mm/hr que equivale a 8 pulsos.

Para la elaboración de los cuadros de la distribución de las precipitaciones pluviales se escogio intervalos de clase tal como se presentan en los cuadros 4.1.1 y 4.1.2 respectivamente. Estos intervalos como se observará proporcionan una marca de clase proporcional al número de pulsos. Es decir velocidad de 1 pulso hasta 8 pulsos dentro de un mínimo y para pulsos de mayor duración, están dentro de un intervalo de clase determinado.

Para la obtención de los gráficos se ha considerado en el eje vertical los mm/hr y en eje horizontal el porcentaje de tiempo; con un tiempo de observación de 152 días un total de 218,888 minutos (100%).

3.2.2 Análisis de la atenuación producido por la lluvia

En el radiómetro utilizado en el experimento se obtiene una re

lación lineal entre la temperatura de ruido espacial con la que se obtiene en el graficador, esto se obtiene por medio de calibración del sistema.

La temperatura de ruido esta relacionada con varios parametros atmosféricos y del sistema la cual esta dado por la siguiente expresión.

$$T_{med} = \left(1 - \frac{1}{L_f}\right) T_f + \frac{1}{4\pi L_f} \left(\int_{TIERRA} T_g G(\Omega) d\Omega + \int_{ESPACIO} T_b(\Omega) G(\Omega) d\Omega \right) \quad (1)$$

T_{med} = Temperatura de ruido a la entrada del dicke switch

T_f = Temperatura física del alimentador de la antena

T_g = Temperatura física aproximada sobre la tierra

T_b = Temperatura de brillo (ó de ruido) del medio circundante a la antena como una función del ángulo - sólido Ω

L_f = Pérdida en el alimentador de la antena

G = Ganancia de la antena como una función del ángulo sólido (Ω).

En la ecuación (1), $T_b(\Omega)$, es la cantidad que esta relacionado con la atenuación por lluvia, si consideramos la lluvia como cuerpo absorbente perfecto (si no hubiera dispersión) la

relación entre la temperatura de brillo y la atenuación sería:

$$T_b(\Omega) = \int_0^{\infty} \alpha(\Omega, r) T_r(\Omega, r) \exp\left(-\int_0^r \alpha(\Omega, r) dr\right) dr \quad (2)$$

donde α es el coeficiente de absorción de la lluvia y T_r , es la temperatura de la lluvia en un punto dado del espacio, la ecuación (2) puede ser simplificado asumiendo las condiciones siguientes:

- La temperatura promedio en la dirección Ω es $T_r(\Omega)$
- La longitud equivalente de la trayectoria de la lluvia en la dirección Ω es S
- La absorción de la energía promedio a través de la lluvia en la dirección Ω , es $\alpha(\Omega)$

Por lo tanto, la relación resultante entre la temperatura de ruido y atenuación es

$$T_b(\Omega) = \left(1 - \frac{1}{L_r(\Omega)} \right) T_r(\Omega) \quad (3)$$

donde $L_r(\Omega) = e^{\alpha(\Omega)S}$ es la atenuación total a través de la lluvia en la dirección

La ecuación (3) provee una forma simple de estimar la atenuación $L_r(\Omega)$ si es conocido $T_b(\Omega)$. La temperatura promedio de las gotas de lluvia en la dirección Ω desde la isoterma de 0°C (donde comienza a producirse la lluvia) hasta la super

ficie de la tierra, puede aproximarse a

$$T_r(\Omega) = \frac{273 + T_0}{2} \text{ (}^\circ\text{K)}$$

Donde T_0 es la temperatura promedio sobre la superficie de tierra ($^\circ\text{K}$). Aproximadamente, este valor es igual a 27°C (300°K) para la región de estudio, entonces tenemos que $T_r = 286.5^\circ\text{K}$. El valor de T_0 ha sido hallado a partir de datos proporcionados por el servicio de hidrografía y navegación de la Amazonía,

Para obtener $T_b(\Omega)$ de la ecuación (1), el segundo término debe ser conocido. Como la antena empleada tiene una $L_f = 1$

$\int_{\text{TIERRA}} G(\Omega) \cdot d\Omega \approx 0$, la temperatura de ruido medida sera:

$$T_{med} = \frac{1}{4\pi} \int_{\text{ESPACIO}} T_b(\Omega) d\Omega \approx T_b(\Omega_0)$$

donde Ω_0 es la dirección del haz principal de la antena, así:

$$T_{med} = \left(1 - \frac{1}{L_r(\Omega)} \right) T_r(\Omega)$$

la misma que puede ser reescrita como:

$$A(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{T_r}{T_r - T_{med}} \right)$$

donde A es la atenuación $L_r(\Omega)$ expresada en decibelios.

Como la salida del radiómetro usado es lineal con la temperatura

ra de ruido de la antena y que las temperaturas de calibración producida por la carga fria (cold load) y por la carga caliente (hot load) son conocidas, así como sus respectivas salidas en el recorder es posible determinar la temperatura de ruido de antena que corresponde a cualquier nivel de salida del sistema mediante relaciones de interpolación o extrapolación. Haciendo:

$$L = \frac{T_H - T_C}{X_H - X_C}$$

Donde:

L = Factor de escala del sistema (Kelvins por unidad de salida)

T_H = Temperatura a la carga caliente (°K)

T_C = Temperatura de la carga fria (80°K)

X_H = Nivel de salida del sistema (divisiones en la carga o voltios) para la carga caliente

X_C = Nivel de salida del sistema para la carga fria (divisiones en la carga o voltios)

se obtiene:

$$T = T_H - L(X_H - X)$$

donde:

T = Temperatura de antena que corresponde a nivel X de salida del sistema.

La linealidad del sistema puede ser chequeado a través de los

niveles de calibración del diodo de ruido. El incremento de la temperatura de ruido adicionada por el diodo de ruido será proporcional al incremento del sistema de salida , esto es:

$$T_{ND} = L \Delta X$$

ΔT_{ND} = Incremento de temperatura adicionada por el diodo de ruido (°K)

ΔX = Incremento en la salida del sistema cuando el diodo de ruido es accionado.

las salidas típicas son:

$$T_{REF} = 343 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_{ND} = 106 \text{ } ^\circ\text{K}$$

La temperatura de ruido detectada por el radiómetro es una temperatura de ruido espacial aparente, T_A , debido a que ésta incluye fuentes de ruido adicionales al verdadero ruido espacial detectado por la antena. Estas otras fuentes de ruido, incluyen a los producidos por el alimentador de guía de onda, el switch, ruido de la tierra, detectada a través de los lóbulos laterales de la antena, para las antenas de pequeño tamaño, tales como las 1.80 metros usados en el experimento, que operan a un ángulo de elevación relativamente alta, (manteniendo su primer lóbulo lateral fuera de la tierra) la contribu-

ción de ruido a través de los lóbulos laterales es despreciable. De igual manera los ruidos producidos por el alimentador de guía de onda, dicke switch, se consideran despreciables, si T_n , es el ruido generado por el alimentador y el dicke existe una relación de $T_n = 0,064 T_{amb}$.

Así, el valor de T_n variará sólo alrededor de $3^\circ K$ cuando la temperatura de ambiente varié entre $35^\circ K$. Por consiguiente el posible error en que se incurre al ignorar las variaciones diarias de la T_{amb} es despreciable.

3.2.3 Análisis de la atenuación por diversidad de espacio

Mediante un enlace VHF se obtiene la data del lugar remoto (Indiana) en el recorder de la estación principal en el papel graficador aparece las curvas de ruido del cielo tanto de Iquitos como de Indiana simultaneamente tal como muestra fig. 2.11. Para hacer el análisis se ha considerado la menor atenuación minuto a minuto empleando ambas curvas. La formulas empleadas para convertir los desplazamientos del graficador en atenuación son las mismas que se utilizan para Iquitos e Indiana.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LA PRECIPITACION PLUVIAL

Según lo explicado en el punto 3.2.1 el procedimiento para la distribución estadística de la duración de las lluvias que exceden umbrales preestablecidos, se ha elaborado los cuadros y las curvas respectivas del experimento.

En el transcurso del análisis se ha observado, que las precipitaciones pluviales están retrazados con respecto a la temperatura de ruido. Esto significa que la lluvia ingresa al haz de la antena antes de llegar al pluviómetro, sin embargo, si el nivel de la precipitación es baja es posible que el incremento de la temperatura de ruido coincida con el evento.

Nuestro estudio se basa en el análisis de los 5 meses consecutivos más críticos del año 1984.

Los meses escogidos son Julio hasta Noviembre meses del año que se presentaron precipitaciones de mayor intensidad. Se observa en los gráficos que las precipitaciones fueron más intensas en la estación remoto comparadas con la estación principal durante el tiempo de observación. Esto se muestra en la figura 4.3.

4.1.1 Distribución estadística de la precipitación pluvial para la estación principal - IQUITOS

La distribución estadística de la duración de las precipitaciones pluviales en la ciudad de Iquitos, se ha realizado desde el mes de Julio hasta Noviembre de 1984.

En el cuadro 4.1 se muestra los valores estadísticos del pluviometro, en el cuadro 4.2 se muestra el total del tiempo en minutos durante los cuales la lluvia excedió un nivel de precipitación dada,

En la figura 4.1 se muestra la distribución acumulativa de la precipitación pluvial, de esta curva el nivel esperado de precipitación que sera excedida durante el 0.01% del tiempo es igual a 104 mm/hr, según el CCIR de la figura 3.1 para este mismo porcentaje de tiempo es de 110 mm/hr lo cual demuestra que nuestros cálculos cumplen con las recomendaciones del CCIR. Esto demuestra claramente que Iquitos se encuentra dentro de una zona ecuatorial con fuertes precipitaciones pluviales.

CUADRO 4.1

ESTADISTICA PLUVIOMETRICA IQUITOS (ESTACION PRINCIPAL)

JULIO - NOVIEMBRE 1984

Intérvalo de Clase (mm/hr)	Marca de Clase (mm/hr)	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
2.54 - 7.62	5.08	308	184	863	322	357
7.62 - 22.86	15.24	87	62	105	138	108
22.86 - 38.10	30.48	23	19	36	23	22
38.10 - 53.34	45.75	27	11	21	20	21
53.34 - 68.58	60.96	11	4	17	18	17
68.58 - 83.82	76.20	1	2	9	11	16
83.82 - 99.06	-1.44	2	6	4	6	3
99.06 - 114.30	106.68	1	3	4	1	1
114.30 - 129.54	121.42		5	2	1	
Tiempo de Observación		218,888 minutos				

CUADRO 4.2

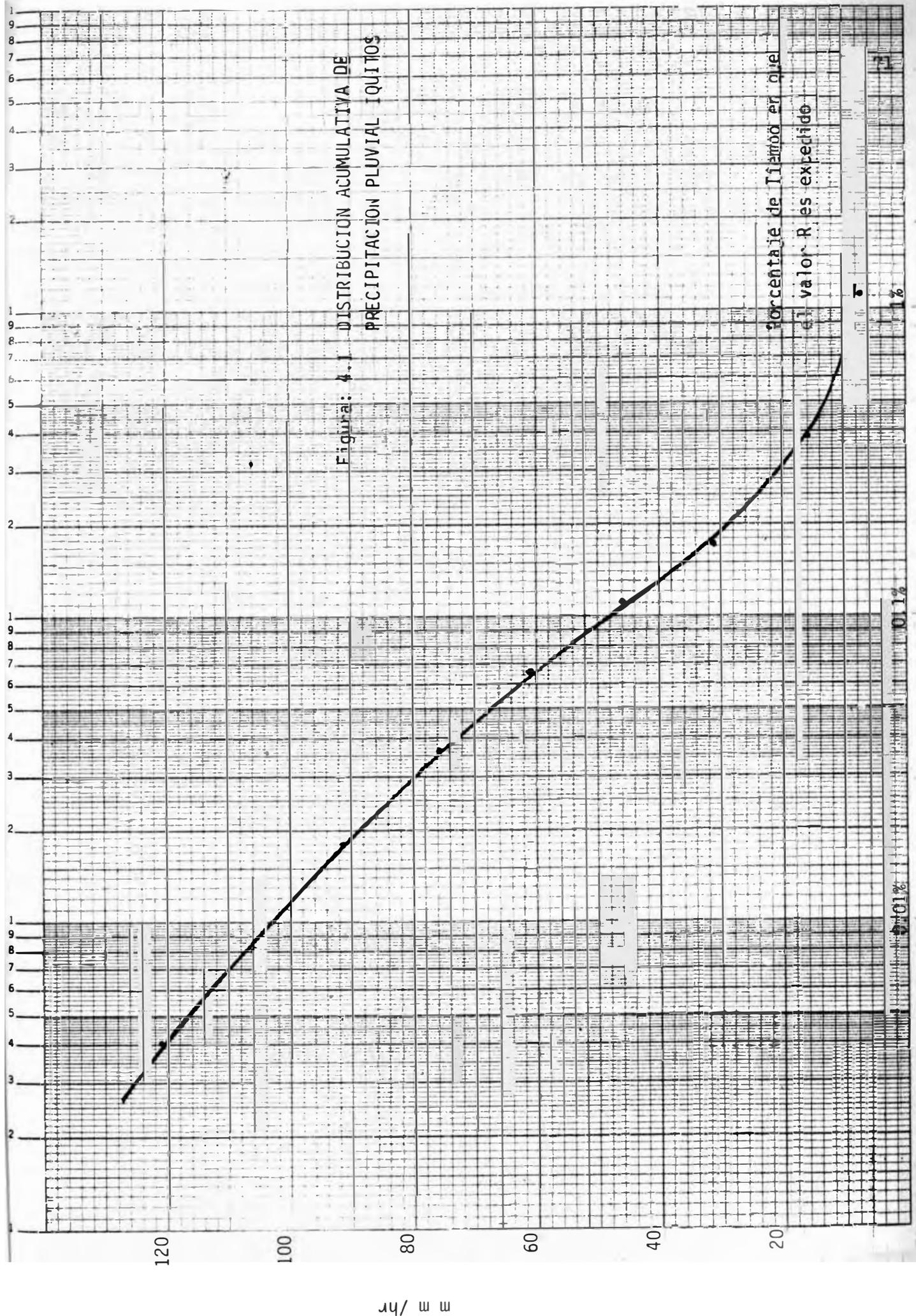
**TIEMPOS TOTALES EN MINUTOS DE PRECIPITACIONES QUE EXCEDEN LOS VALORES INDICADOS
IQUITOS (ESTACION PRINCIPAL)**

JULIO - NOVIEMBRE 1984

Marca de Clase (mm/hr)	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Total Acumulado	% Acumulado
5.08	460	296	461	540	545	2302	1.052
15.24	152	112	198	218	188	868	0.397
30.48	65	50	93	80	80	368	0.168
45.75	42	31	57	57	58	237	0.108
60.96	15	20	36	37	37	145	0.066
76.20	4	16	19	19	20	78	0.036
91.44	3	14	10	8	4	39	0.018
106.68	1	8	6	2	1	18	0.008
121.92		5	2	1		8	0.004

Tiempo de Observación 218,888 minutos

Figura: 4.1 DISTRIBUCION ACUMULATIVA DE PRECIPITACION PLUVIAL IQUITOS



4.1.2 Distribución estadística de la precipitación pluvial -- para la estación remoto - INDIANA

Teniendo como tiempo de observación desde el mes de Julio a -
Noviembre de 1984, se muestra los valores estadísticos del
pluviometro en el cuadro 4.3, mientras que el cuadro 4,4 se -
muestra el total del tiempo en minutos durante los cuales la
lluvia excedió un nivel de precipitación dada. En la figura -
4.2 se muestra la distribución acumulativa de la precipitación
pluvial, de esta curva el nivel de precipitación que será
excedida durante el 0.01% del tiempo es igual 108 mm/hr para
este mismo porcentaje de tiempo según el CCIR es de 110 mm/hr,
a igual que en la ciudad de Iquitos también cumple con esta -
recomendación.

CUADRO 4.4

**TIEMPOS TOTALES EN MINUTOS DE PRECIPITACION QUE EXCEDEN LOS VALORES INDICADOS
INDIANA (ESTACION REMOTO)
JULIO - NOVIEMBRE 1984**

Marca de Clase	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Total Acumulado	% Acumulado
5.08	1075	365	888	852	931	4111	1.878
15.24	470	193	396	302	391	1752	0.800
30.48	203	102	148	150	169	772	0.353
45.75	125	53	99	64	110	451	0.206
60.96	73	17	62	22	56	230	0.105
76.20	28	2	32	10	44	116	0.053
91.44	18		17	4	24	63	0.0287
106.68	10		5	2	9	26	0.0118
121.42	5		1	1	4	11	0.005

Tiempo de Observación 218,888 minutos

4.2 DISTRIBUCION ESTADISTICA DE LOS NIVELES DE ATENUACION

En el punto 3.2.2 se explicó los procedimientos para el cálculo de la atenuación a partir de la temperatura de ruido del cielo. Los resultados incluyen el efecto producido por las nubes. Cabe mencionar que durante el análisis de la data existió un margen de atenuación de 1.2 dB (67.8°K), presentes en condición, de cielo despejado, que es producido principalmente por las moléculas de oxígeno y vapor de agua y efectos atenuantes diferentes de la lluvia. Este valor se restó para la presentación de los cuadros y gráficos correspondientes a la distribución estadística de los niveles de atenuación, en cada valor preestablecido, razón por la cual, se inició de 0.8 hasta 8.8 dB incrementándose en 1 dB entre un nivel y otro. Se ha considerado como tiempo de observación cinco meses consecutivos desde Julio a Noviembre para nuestros propósitos trazados.

4.2.1 Distribución de los niveles de atenuación para 11.6 GHz - en la estación principal Iquitos.

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente se elabora los respectivos cuadros de presentación de resultados.

En el cuadro 4.5 se muestra el total de minutos que la atenuación está presente dentro de los valores indicados.

En el cuadro 4.6, se presenta el total de minutos en que la atenuación excede los valores indicados. En la fig. 4.4 se muestra gráficamente la distribución acumulativa de la atenuación (dB) sobre el cielo despejado, también se muestra la curva de la predicción teórica de la atenuación producida por la lluvia,

CUADRO 4.5.

TIEMPO EN MINUTOS QUE LA ATENUACION ESTA PRESENTE DENTRO LOS VALORES INDICADOS
 ESTACION PRINCIPAL - IQUITOS
 JULIO - NOVIEMBRE 1984

Ok	d B	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
105.9	0.8	324	371	1398	463	1083
143.2	1.8	151	118	272	263	367
172.7	2.8	54	22	69	151	143
196.2	3.8	30	25	36	61	119
214.9	4.8	17	19	30	37	36
229.7	5.8	13	28	12	24	35
241.5	6.8	13	9	9	24	28
250.9	7.8	30	14	33	17	17
259.3	8.8		10	60	24	50

Tiempo de Observación 218,888 minutos

CUADRO 4.6

TOTAL DE MINUTOS DE ATENUACION (dB) A 11.6 GHZ SOBRE EL CIELO DESPEJADO
Y DE LA TEMPERATURA DE RUIDO QUE EXCEDEN LOS VALORES INDICADOS

ESTACION PRINCIPAL IQUITOS

C °K	dB	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL ACUMULADA	PORCENTAJE (%)
105,9	0,8	632	616	1919	1064	1878	6109	2,791
143,2	1,8	308	245	521	601	795	2470	1,128
172,7	2,8	157	127	249	338	428	1299	0,593
196,2	3,8	103	105	180	187	285	860	0,392
214,9	4,8	73	80	144	126	166	589	0,269
229,7	5,8	56	61	114	89	130	450	0,203
241,5	6,8	43	33	102	65	95	338	0,154
250,9	7,8	30	24	93	41	67	255	0,116
259,3	8,8		10	60	24	50	144	0,066

Tiempo de Observación 218,888 minutos

según lo estipulado por el CCIR. Observamos que nuestros cálculos cumplen satisfactoriamente con lo recomendado por el comité consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

4.2.2 Distribución de los niveles de atenuación para 11.6 GHz en la estación remoto - INDIANA.

En el cuadro 4.7 se presentan el total de minutos de atenuación que están presentes dentro de un valor determinado. En el cuadro 4.8 se presentan el total de minutos de atenuación que exceden los valores indicados.

En la fig. 4.5 se muestra la distribución acumulativa (dB) - sobre el cielo despejado de igual manera la curva de la predicción teórica de la atenuación producida por la lluvia según lo estipulado por el CCIR. Observamos que los valores encontrados experimentalmente cumplen con lo establecido por el CCIR.

En el apéndice 1 y 2 se presentan, los datos obtenidos de atenuación, en las localidades de Iquitos e Indiana; durante el tiempo de observación.

CUADRO 4.7

TIEMPO EN MINUTOS QUE LA ATENUACION ESTA PRESENTE DENTRO LOS VALORES INDICADOS

ESTACION REMOTO INDIANA

°K	dB	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
105.9	0,8	1250	447	839	1083	422
143.2	1,8	129	187	269	288	323
172.7	2,8	112	147	154	111	146
196.2	3,8	117	31	91	89	82
214.9	4,8	63	7	53	43	57
229.7	5,8	71	4	63	69	33
241.9	6,8	48	2	33	34	15
250.9	7,8	39		23	29	17
259.3	8,8	34		123	11	167

Tiempo de Observación 218,888 minutos

CUADRO 4.8

TOTAL DE MINUTOS DE ATENUACION (dB) A 11.6 GHZ SOBRE EL CIELO DESPEJADO
QUE EXCEDEN LOS VALORES INDICADOS - ESTACION REMOTO INDIANA

°K	dB	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL	PORCENTAJE (%)
105.9	0.8	1863	825	1648	1757	1262	7355	3.360
143.2	1.8	613	378	809	674	840	3314	1.514
172.7	2.8	484	191	540	386	517	2118	0.967
196.2	3.8	372	44	386	275	371	1448	0.661
214.9	4.8	255	13	295	186	289	1038	0.474
229.7	5.8	192	6	242	143	232	815	0.342
241.5	6.8	121	2	179	74	199	575	0.263
250.9	7.8	73		146	40	184	443	0.203
259.3	8.8	34		123	11	167	335	0.153

Tiempo de Observación 218,888 minutos

4.3 DISTRIBUCION DE LOS NIVELES DE ATENUACION POR DIVERSIDAD DE ESPACIO.

En el punto 3.2.3 se ha explicado los procedimientos para el cálculo, de la atenuación por diversidad de espacio, teniendo en consideración lo expuesto, se ha elaborado nuestros cuadros y la respectiva figura, de la distribución acumulativa de la atenuación (dB), sobre el nivel del cielo despejado por diversidad de espacio, también se muestra la curva de la predicción teórica del CCIR. Observamos claramente que nuestro proposito experimental cumple ampliamente lo estipulado, esto se debe a un minucioso análisis de los datos de las dos estaciones tanto principal como remoto, para luego proceder al análisis por diversidad de espacio. Los cuadros 4.9 y 4.10 presentan valores de atenuaciones obtenidos, la fig. 4.6 muestra la distribución acumulativa (dB).

En el apéndice 3 se presentan, los datos de atenuación; empleando diversidad de espacio, durante el tiempo de observación.

CUADRO 4.9

TIEMPO EN MINUTOS QUE LA ATENUACION ESTA PRESENTE DENTRO LOS VALORES INDICADOS
EMPLEANDO DIVERSIDAD DE ESPACIO

dB	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
0,8	178	211	401	215	449
1,8	62	32	96	128	172
2,8	15	4	13	34	62

85
Tiempo de Observación 218,888 minutos

CUADRO 4.10

TOTAL DE MINUTOS DE ATENUACION (dB) A 11.6 GHZ SOBRE CIELO DESPEJADO QUE

EXCEDEN LOS VALORES INDICADOS POR DIVERSIDAD DE ESPACIO

dB	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL ACUMULADO	(%) PORCENTAJE
0.8	255	247	510	377	683	20,72	0,946
1.8	77	36	109	162	234	618	0,263
2.8	15	4	13	34	62	128	0,059

ΣTiempo de Observación 218,888 minutos

4.4 COMENTARIO DE LAS DISTRIBUCIONES DE NIVELES DE ATENUACION - IQUITOS E INDIANA Y POR DIVERSIDAD DE ESPACIO,

Podemos apreciar en la fig. 4.7, la atenuación causada por la lluvia en cada estación de estudio, y la mejora que se obtiene empleando la técnica por diversidad de espacio entre las localidades de Iquitos e Indiana. Estos resultados pueden generalizarse para los territorios, que están dentro de la zona ecuatorial, debido a las mismas características que presentan. Cabe señalar que estos resultados son un aporte no solamente para nuestro país, también es de interés mundial, - siendo el primero de esta naturaleza, que proporciona el nivel de absorción por la lluvia, y la mejora que se obtiene empleando diversidad de espacio, en la zona ecuatorial lluviosa. Este conocimiento trae consigo un gran aporte a las comunicaciones por satélite, ya que con ello se incrementará los conocimientos para diseñar los futuros sistemas de satélite, con apropiadas características para sobrepasarse a este fenómeno, y dar así mayor confiabilidad a las comunicaciones.

De los resultados experimentales se puede concluir que en los climas ecuatoriales, tomando como ejemplo las localidades en estudio Iquitos e Indiana, para las frecuencias mayores de 10 GHz empleando enlaces tierra - espacio, sufrirían interrupciones, perjudicando gravemente la confiabilidad del sistema, lo cual repercute también en lo económico,

La ciudad de Iquitos y otras ciudades de importancia del oriente peruano que cada día su desarrollo se incrementa acelera

damente y teniendo como único medio de comunicación la vía satélite para los servicios de telefonía, televisión, telex, - datos, etc., por lo expuesto ENTEL PERU S.A. conciente de esta necesidad con el auspicio de INTELSAT, ha implementado en la zona del oriente la investigación de la absorción por la lluvia y la mejora que se obtendría al emplear diversidad de espacio, estos resultados se cristalizan en el presente trabajo.

Con los valores obtenidos se recomienda el empleo de diversidad de espacio en la zona del Oriente Peruano tales como Iquitos - Indiana, Tarapoto - Bellavista, Tocache - Juanjui, etc., el empleo de esta técnica garantiza la confiabilidad del sistema, además su costo puede ser garantizado por la alta demanda de los servicios que presta ENTEL PERU S.A. en la zona del Oriente Peruano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La lluvia se comporta como un medio atenuante, en un enlace por satélite, para la frecuencia de 11.6 GHz en nuestra zona de estudio (Iquitos - Indiana), la presencia de este fenómeno es notorio en cada estación, tal como mostramos en las figuras 4.4 y 4.5.
 - El empleo de la técnica por diversidad de espacio entre las localidades de Iquitos e Indiana, satisfacen las expectativas cifradas, cumpliendo con las recomendaciones del CCIR; ver fig, 4.6.
 - Experimentalmente se concluye, que el uso de la técnica por diversidad de espacio, contraresta el fenómeno de atenuación por lluvia, para frecuencias mayores de 10 GHz, en un sistema de comunicación por satélite. Se recomienda la implementación de esta técnica en la zona del Oriente Peruano y en aquellos territorios dentro de la zona ecuatorial que tengan similares características, garantizando la confiabilidad del sistema para estas frecuencias.
 - La técnica empleada a sido satisfactoria, debido a que no se presentaron precipitaciones de igual o similar intensidad en ambas estaciones simultaneamente siempre existia diferencia. Esto es debido a las células de lluvias intensas, que causan gran atenuación; tenían dimensiones no superiores a unos pocos kilómetros.
- En el transcurso de la investigación se ha observado que las precipitaciones pluviales están retrazadas con respecto a la temperatura de ruido.

- Durante la investigación se pudo comprobar que la atenuación está estrechamente ligada en forma exponencial con las precipitaciones pluviales, esto podemos observar en la fig. 4.3 que durante el tiempo de estudio las precipitaciones fueron más intensas en Indiana que Iquitos, nos trasladamos a la fig. 4.7 y observamos que la localidad de Indiana tiene valores que están por encima de los valores de atenuación de Iquitos.

BIBLIOGRAFIA

1. Y. Hosoya, K. Satch y T. Nagatsu, " Site Diversity Effect " Review of the Electrical Commucation Laboratories Vol. 28 N° 7 - 8 Pag. 596 - 601.
2. P. G. Davies: Diversity Measurement of Attenuation at 37 GHz With Sun - Tracking Radiometers en a 3 site Network proc IEE, 123, 8, -- P 765, 1976.
3. H. J. Bergmann: Satellite Site Diversity: Results of a Radiometer - Experimente at 13 y 18 GHz IEE Trans, Atenas & Propag AP - 25, 4, - P. 483, 1977.
4. K. Morita ad I. Hikutl. Statistical Studies on Rain attenuation and site Diversity Effectos on Earth to Satellite links in Microwave and Millimeter Wavebands, Trans, IECE E 61, 6, P. 425, -- 1978.
5. V. Rogers y G. Hyde " Statisties of 11.6 GHz Atmosphric Attenuation and Rainrate Observed in Diverse Climate Comsat Technical Memorandum CL - 22 - 78 My 31, 1978.
6. D. Hogg y T. Chu, " The Role of Rain in satellite communications " Proc. IEE, Vol 63, pag. 1008 - 1331 Sept 1975.
CCIR, recomendaciones e Informes, Vol. 5, 1982
Inf. 563 - 2 " Datos Radiomateologicos " pag. 109 - 121
Inf. 719 - 1 " Atenuación producido por los gases Afmosfericos " pag. 138 - 141
Inf. 721 - 1 " Atenuación producida por Hidrometeoros en particular en forma de lluvia y por otras partículas Atmosfericas " pag. 167 - 175
Inf. 564 - 2 " Datos de propagación requeridas para los Sistemas de Telecomunicaciones especiales " pag. 233 - 343.
7. C. Polo P. Estudio e Investigación de la Absorción por lluvia a las frecuencias 11.6 y 20/30 GHz en un clima ecuatorial lluvioso empleando Radiometros pasivos.
8. D. Frang, J. Harris, " Propagation Phenomeno at 11/14 GHz " COMSAT Technical Memorandum CL - 39 - 75, Set. 1975.
9. J. H. Van Vleck, " The Absorption of Microwaves by Oxigen " Physical Review, Vol. 71, N° 7, pag. 413 - 424, Ab 1947.

10. J. H. Van Vleck, " The Absorption of Microwaves by Uncondensed Water Vapor ", Physical Review, Vol. 71, N° 7 pag. 425 - 433, Ab - 1947.
11. G. Jenkinson, " Tropical Rain Attenuation at 11 GHz on Earth Space Paths - Radiometric Measurements in Australia ", Proc. IEEE, Vol 65 N° 3, pag. 480 - 481, Marzo 1977.
12. R. Crane, " Prediction of the Effects of Rain on Satellite Communication Systems ", Proc. IEEE, Vol. 65, N° 3 pag. 456 - 473 - Marzo 1977.