

Análisis Repetidor Mafalda del Globo Betty III

Néstor Escala - LU3DUH

Introducción

El 23 de noviembre de 2013 AMSAT-LU producirá el lanzamiento de un globo estratosférico con nombre coloquial Betty III y cuya carga útil posee dos repetidoras para radioaficionados: el repetidor Mafalda, con recepción (uplink) en la banda de 10 m y transmisión (downlink) en la banda de 2 m. El segundo repetidor operará con un uplink en 432 Mhz y un downlink en 144 Mhz.

Ya se han realizado experiencias con globos anteriores -Betty I y Betty II- utilizando las repetidoras UHF/VHF, por lo que resulta una novedad el uso del repetidor 28 Mhz / 144 Mhz. Por este motivo, en este trabajo se realizarán cálculos para estimar las posibilidades de cobertura del Repetidor Mafalda.

La descripción general de los equipos y la operación se realizan en los documentos de AMSAT-LU mencionados en las referencias [1] y [2] de la bibliografía, por lo que se evitarán las descripciones generales y se procederá directamente a realizar las estimaciones de enlace. Como se desconocen algunos datos del repetidor Mafalda, se realizarán estimaciones y se detallará el porque de los valores adoptados.

El presente trabajo, mas que un cálculo exacto adopta el esquema de estimación y se supone que tendrá un valor pedagógico para que los radioaficionados conozcan los problemas involucrados en la realización práctica de estos enlaces de radio, lo cual además resalta el mérito técnico y organizacional de AMSAT-LU al desarrollar estas experiencias y equipamiento, que sin lugar a dudas la ubican en un puesto top de la tecnología wireless.

Si bien se trató de realizar las explicaciones de un modo simple, son necesarios conocimientos técnicos especializados, pero gran parte de la terminología utilizada se puede encontrar con suficiente aproximación explicada en Wikipedia.

Dada la necesidad de hacer conocer este paper antes del vuelo del globo se pide se disculpen los errores que pueda tener, de los cuales es totalmente responsable el autor, desligando cualquier responsabilidad de los mismos a AMSAT-LU.

Trayectoria de vuelo del globo

A efectos de calcular las líneas de vista radioeléctricas entre los puntos de activación del repetidor Mafalda y las de recepción, es necesario estimar las rutas de vuelo.

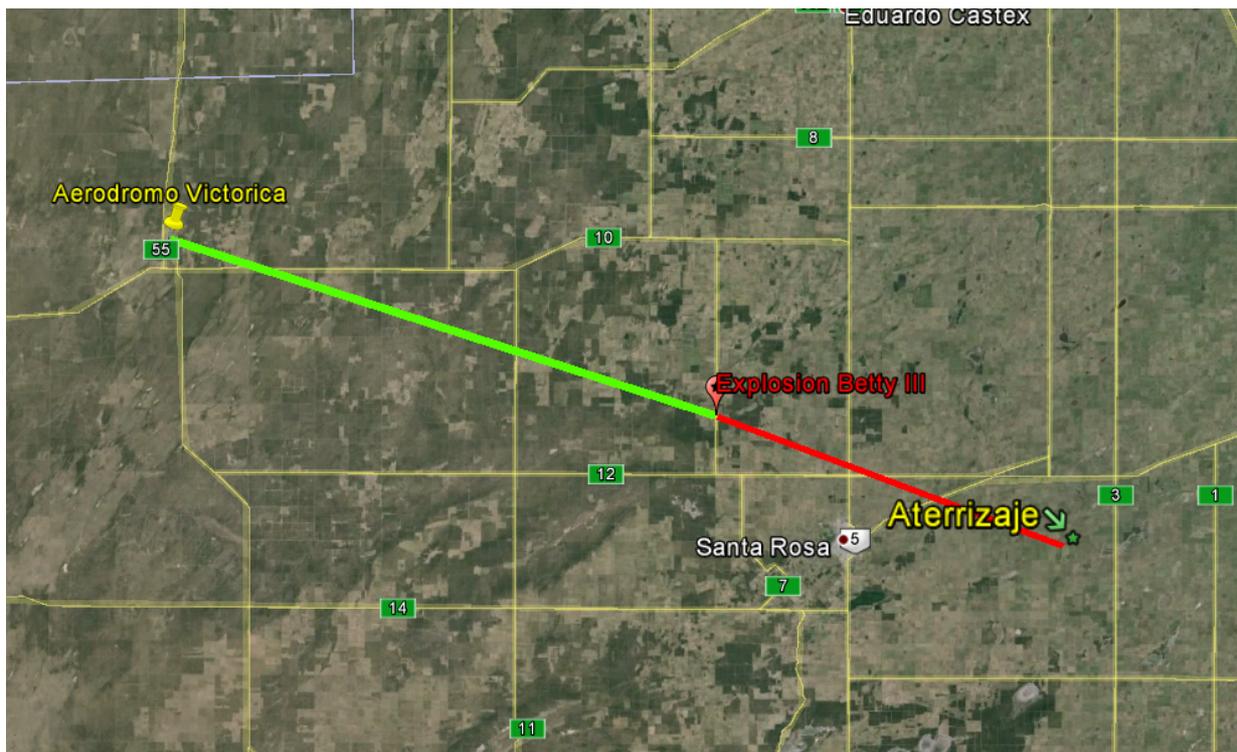
AMSAT-LU informó el 18 de noviembre tres trayectorias estimadas del globo Betty III. Para realizar los cálculos de enlace es necesario estimar las posiciones, por lo que se elige la siguiente trayectoria, por simplicidad.



Fuente: <http://www.amsat.org.ar/131118.jpg> , consultada 18-nov-2013

FIGURA 1

En este trabajo, esta trayectoria se modela en forma totalmente recta, estableciéndose la siguiente ruta:



Fuente: elaboración propia en base a estimaciones AMSAT-LU

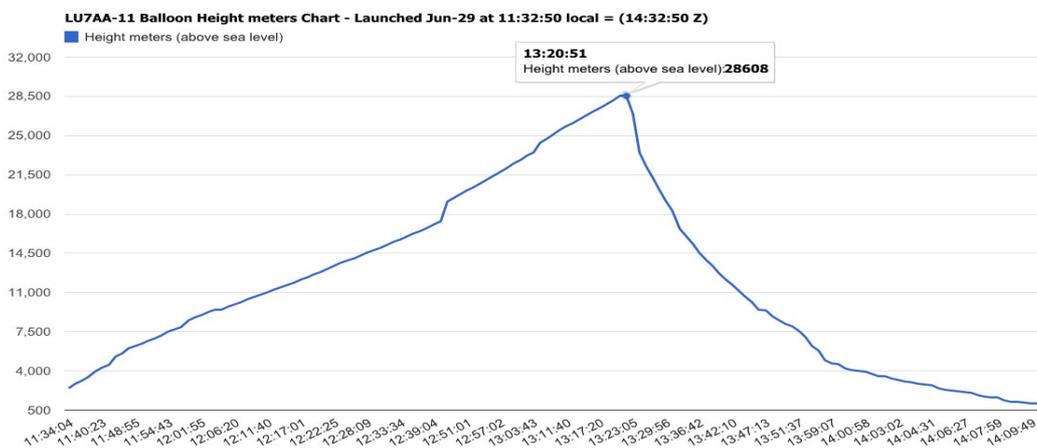
FIGURA 2

El globo comienza a ascender desde el Aeródromo Victorica, llevado por los vientos en la trayectoria verde y alcanzando su mayor altura en el punto denominado “Explosión Betty III”, en este punto comienza la caída libre de la carga útil hasta que se abre el paracaídas tocando tierra en el punto denominado “Aterrizaje”. La trayectoria de descenso es la marcada en rojo.

La mayor altitud se encuentra en el punto “Explosión” que corresponde a 28.000 m sobre el nivel

del mar. Para estos cálculos, se estima que el punto de máxima altura se alcanzará en las coordenadas geográficas: Latitud 36°27' 8.55"S y Longitud 064°30' 6.31"O. La loxodromia (ruta proyectada sobre la superficie terrestre que corta a todos los meridianos con el mismo ángulo) de ascenso hasta el punto de mayor altitud es de unos 86 km (línea verde) con un Rumbo Geográfico de ~ 109° y la loxodromia de descenso es de unos 56 km, con un Rumbo Geográfico de ~ 110°.

A falta de mejores estimaciones, se toma como perfil vertical del vuelo el mismo perfil que acusó el globo Betty II:



Fuente: <http://www.amsat.org.ar/images/130629-altm.jpg> , consultada 18-nov-2013

FIGURA 3

El perfil vertical de vuelo se utilizará para estimar alturas intermedias del globo de modo de calcular los enlaces.

Geometría del radioenlace para el Uplink (28 MHz)

Se eligió iniciar los cálculos con el QTH del autor ubicado en el grid locator GF05RM82WL60 (Martínez, San Isidro, Provincia de Buenos Aires).

La geometría del enlace se observa en el perfil topográfico. Desde el grid locator especificado el acimut hacia el globo en su máxima altura está en unos 246° y el ángulo de elevación del haz es de apenas 0,049°, con una antena instalada a 10 m de altura del piso, lo cual significa que no es necesario el ajuste de elevación de las antenas en un punto activador ubicado a unos 560 km al Este del punto de máxima altitud del globo y con antenas instaladas a alturas típicas de radioaficionados de entre 6 y 20 m. Se hace notar que los ángulos de elevación deben ser calculados con trigonometría esférica, pues para distancias mayores a 100 km la curvatura de la tierra influye mucho en la geometría del sistema.

A pesar que por la escala del perfil topográfico no se observa plenamente, para el enlace de uplink en 28 Mhz se producirá una atenuación por obstrucción del elipsoide de Fresnel. Este elipsoide quedará despejado en un 60% recién a unos 11,6 km del punto TX, produciéndose entonces una atenuación del enlace de 7,7 dB por tierra esférica lisa. Si entre el punto TX y los 11,6 km hay

edificaciones de altura y arboledas la atenuación de la señal será algo mayor.

Este mismo efecto se producirá en estaciones ubicadas en la zona de Vicente López, el barrio de Caballito de Buenos Aires y Lomas de Zamora, todos sitios con cotas del terreno sobre el nivel del mar de aproximadamente 28 m (27,5 m es la cota en LU3DUH).

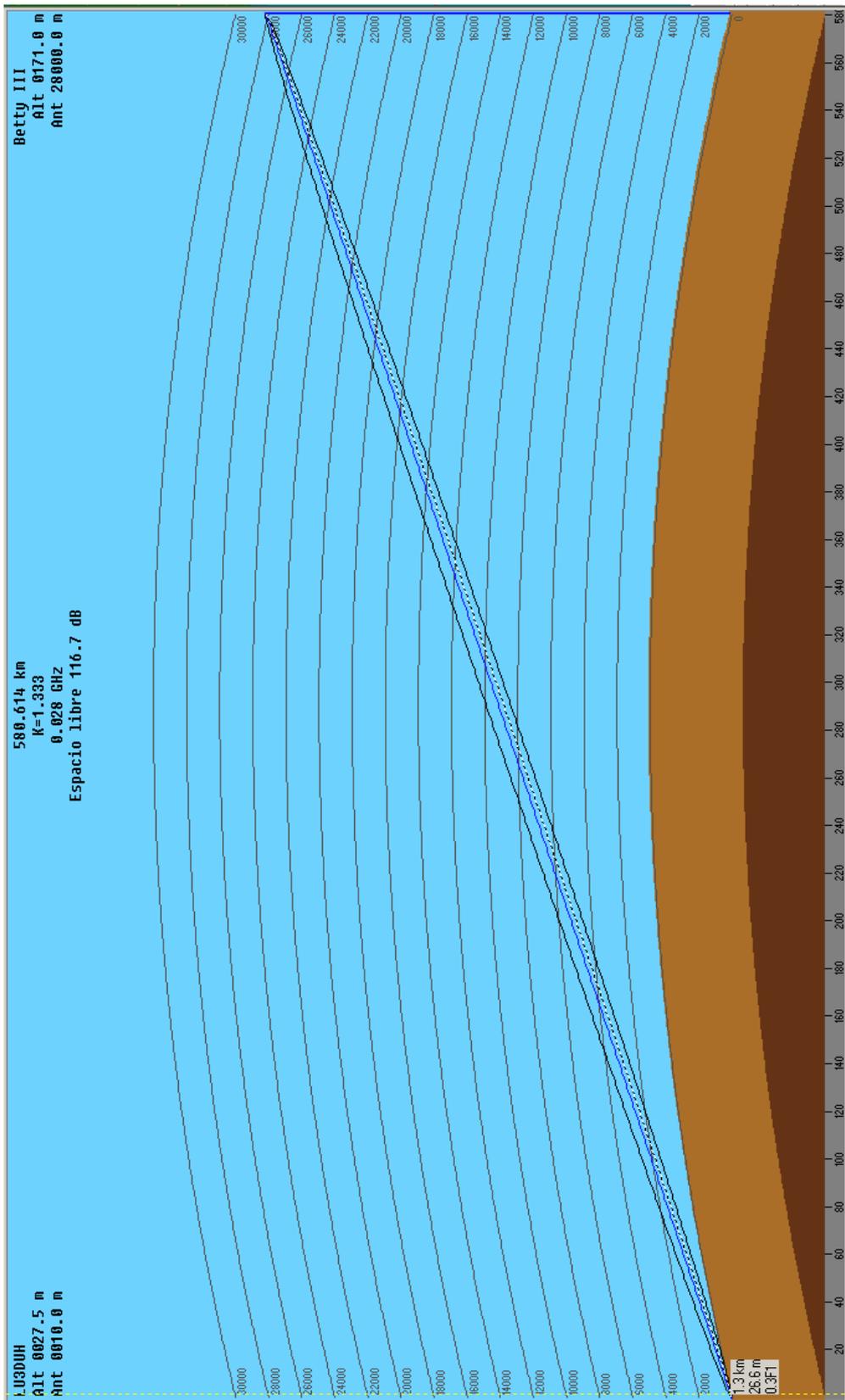
Los cálculos de balance de potencia para obtener las señales de uplink y downlink serán válidas para puntos ubicados en la circunferencia del mapa, variando solamente los valores de atenuación por obstrucción del elipsoide de Fresnel.

Como referencia, en la siguiente tabla se calculan atenuaciones por obstrucción de Fresnel para tierra esférica lisa en varias ciudades:

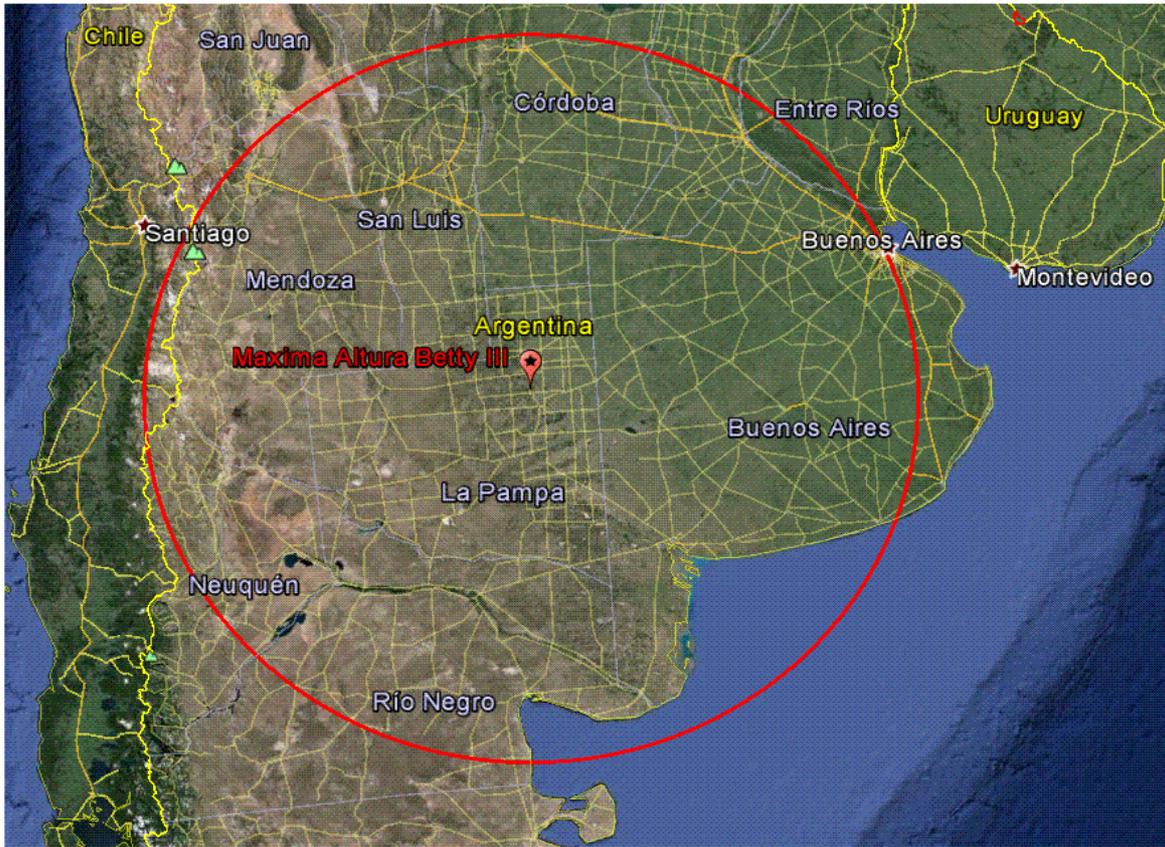
Valores de Atenuación en el uplink 28 Mhz

Ciudad	Distancia km	Atenuación por tierra esférica lisa dB
Dolores	614	9,7
Balcarce	584	8,1
Mar del Plata	646	12,5
Tres Arroyos	435	2
Bahia Blanca	323	0
San Antonio Oeste	478	4,8
Neuquen	420	1,3
Mendoza	556	5,9
San Juan	648	9,7
Cordoba	560	11,1
San Francisco	599	8,6
Santa Fe	635	9,5
Rosario	518	6
Colonia Uruguay	537	6,3
Montevideo Centro	769	18

Tabla 1



Perfil Topográfico entre LU3DUH y Repetidor Mafalda a 28.000 m en banda de 28 Mhz
FIGURA 4



Mapa de distancia 585 km desde máxima altitud (28.000 m) de Betty III
FIGURA 5

Geometría del radioenlace en el downlink (144 Mhz)

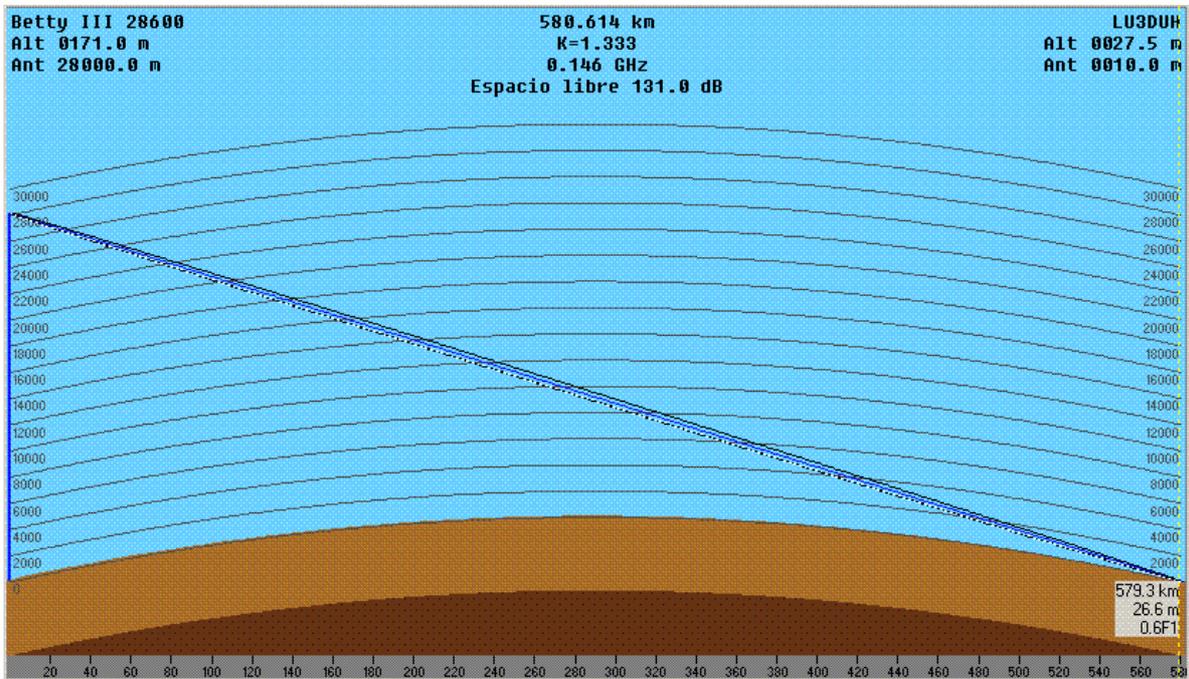


FIGURA 6

En el downlink en 145,900 Mhz, con la antena instalada a 10 m de altura se puede esperar una atenuación por tierra esférica lisa de aproximadamente 1,1 dB para la zona de AMBA. En esta banda las atenuaciones serán sensiblemente mayores si en la trayectoria del haz descendente hay obstáculos como colinas, edificios o arboledas, por lo que habrá que realizar cálculos puntuales.

Como referencia, también se calculan las atenuaciones por tierra esférica lisa para diversas ciudades.

Valores de Atenuación en el downlink 145,9 Mhz

Ciudad	Distancia km	Atenuación por tierra esférica lisa dB
Dolores	614	4,9
Balcarce	584	1,9
Mar del Plata	646	41,6
Tres Arroyos	435	0
Bahia Blanca	323	1,2
San Antonio Oeste	478	0
Neuquen	420	0
Mendoza	556	0
San Juan	648	5,1
Cordoba	560	8,1
San Francisco	599	2,8
Santa Fe	635	4,6
Rosario	518	0
Colonia Uruguay	537	0
Montevideo Centro	769	19,6

Tabla 2

Nótese que en Mar del Plata el terreno produce una atenuación de 41,6 dB, lo cual implica que se deberá utilizar un array de antenas de alrededor de 18 dB de ganancia, impracticable en la banda de 2 m. Esta atenuación se produce por los cerros de Sierra de los Padres y Balcarce. Para evitarlos, habrá que correrse bastante al Sur del centro o hacia el Norte. Quienes tengan QTH en zona céntrica en un edificio, con altura de antena de mas de 36 m sobre la cota podrán enlazar con línea de vista al repetidor Mafalda sin inconvenientes.

Si el Globo alcanza 31.000 m de altura el enlace será practicable con 10 m de altura de antena en Mar del Plata.

Se reitera que especialmente en el caso de Mar del Plata habrá que analizar cada QTH en particular en vista de la topografía obstructora.

Balance de Potencia para el Uplink en 28 Mhz

Para calcular el valor de la señal que llega al repetidor habrá que considerar la:

Potencia de TX

Atenuación de coaxiales y conectores

Ganancia de antenas
Sensibilidad del receptor

En la FIGURA 7 se muestran los componentes del enlace, en el cual se deberá cuantificar potencias, ganancias y atenuaciones.

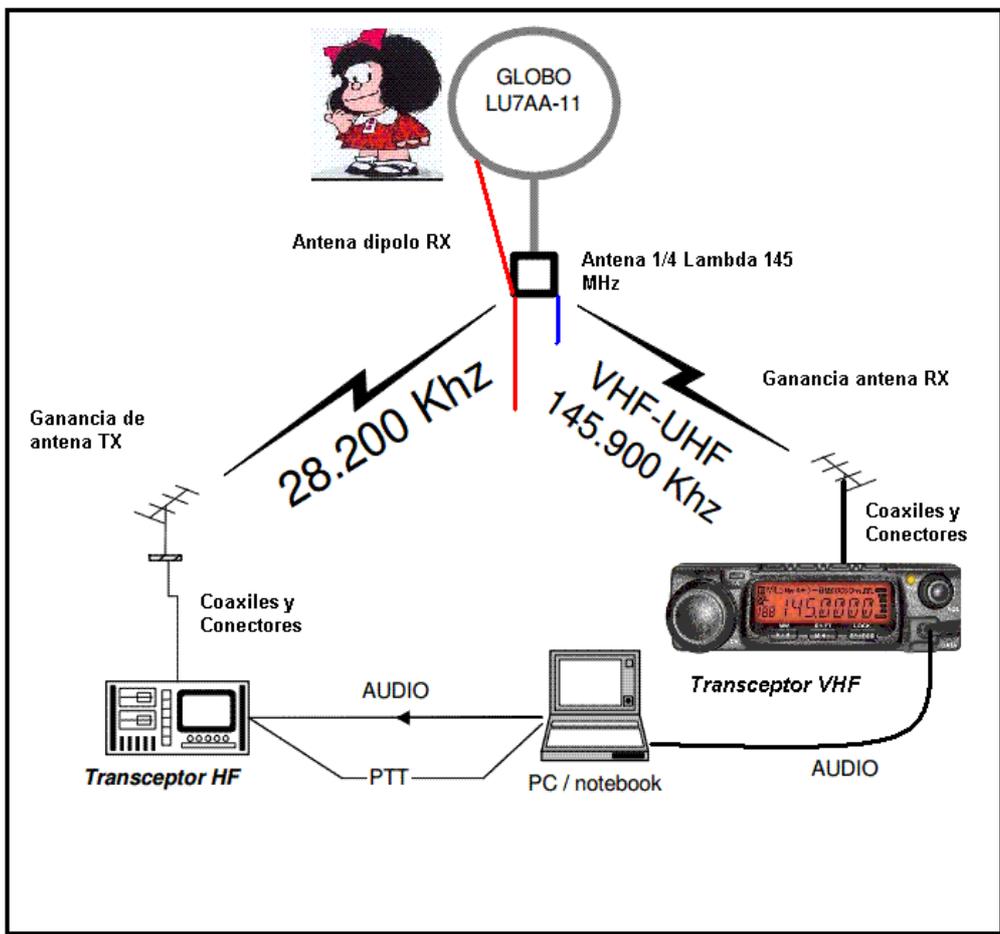


FIGURA 7

Antena Dipolo de Recepción Mafalda

En Parra, Juan Carlos -LU9DO- (2013) pag. 2 se describe la antena del repetidor Mafalda. En base a esa descripción se modeló la antena con un software MiniNec para obtener la ganancia a diversos ángulos.

En la FIGURA 8 se muestra el diagrama de radiación de la antena tal como surge del modelo. Como la rama superior del dipolo posee un ángulo que la separa de la vertical, el diagrama posee una inclinación hacia abajo coincidente con esa inclinación, según la posición que adopte el globo y la posición de la estación que transmite, la onda de 28 Mhz podrá recibirse en el lóbulo que apunta hacia abajo o en el que apunta hacia arriba.

La inclinación de los lóbulos de la antena es de 18° respecto a la horizontal. Este valor puede cambiar sensiblemente la ganancia de la antena según el ángulo de ingreso de la señal.

La ganancia máxima de la antena es de 2,04 dBi, algo inferior a la ganancia de un dipolo perfectamente vertical y además por tener en cuenta el rendimiento eléctrico (por la resistencia óhmica del conductor de la antena) a una ROE de $\sim 1,5$. La resistencia de radiación es de $68,5 \Omega$.

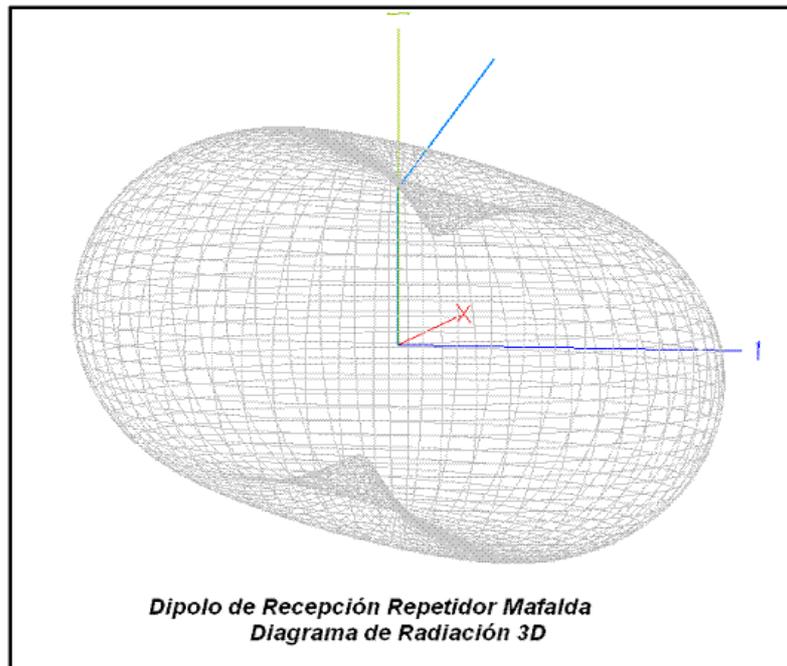


FIGURA 8

Dependiendo de la distancia de la estación que accede al repetidor respecto a la vertical del punto de máxima altura del globo, la ganancia de antena receptora de Mafalda será:

Ganancia de Antena 28 Mhz Mafalda según el ángulo de llegada de señal

Distancia km	Angulo Llegada respecto a la horizontal (aproximado)	Ángulo en el lóbulo inferior	Ganancia Antena dBi	Ángulo en el lóbulo superior	Ganancia Antena dBi
590	-5	13	1,8	23	1,1
300	-6,5	11,5	1,8	24,5	1,0
190	-9	9	1,9	27	0,8
115	-14,5	3,5	2,0	32,5	0,3
55	-27,8	-9,8	1,9	45,8	-1,4
5,8	-78,6	-60,6	-4	96,6	-8,9

TABLA 3

En todo cálculo de enlace se prefiere ser conservador. Como el globo probablemente se mueva con el viento, presentando en distintos momentos uno u otro lóbulo de antena, para distancias mayores a 200 km se adoptara 1,0 dBi de ganancia de antena y para distancias menores -1,0 dBi.

No hay gran problema en que la ganancia de antena sea 0 o menor para ubicaciones cercanas al globo pues precisamente por la cercanía, la atenuación de espacio libre es menor.

Mínima Señal Discernible para el Receptor Mafalda en 28 Mhz.

Cuando se trabaja con señales débiles debe prestarse especial atención a los ruidos, tanto externos como internos al receptor.

AMSAT-LU (Referencia [2]) especifica que el receptor Mafalda posee una sensibilidad útil de 2 μV , entendemos que este valor fue medido y siguiendo la definición de sensibilidad se puede suponer que la medición se realizó para 17°C de temperatura (290 K es la correspondiente temperatura absoluta) y para una relación SINAD (relación señal a ruido mas distorsión del receptor) de 10 dB.

A partir de estos datos vamos a estimar la Mínima Señal Discernible (MSD) para activar el receptor Mafalda en 28 MHz y poder retransmitir en 145 MHz de modo que puedan decodificarse la señal nuevamente en tierra, tanto en PSK31 o CW (u otro modo digital).

Se trata de un cálculo muy interesante y que tendrá en cuenta la relación Señal a Ruido (S/N) a la que deberá trabajar el vínculo de radio.

El repetidor Mafalda estará sometido a dos tipos de ruido: el ruido de Johnson-Nyquist o de agitación térmica en los conductores del equipo y el ruido externo que ingresará por antena.

De acuerdo a la Recomendación ITU-R P.372-10 *Ruido Radioeléctrico* vigente actualmente, el ruido disponible en bornes de una antena sin pérdidas puede ser especificado como:

$$P_n = F_a + B + N_0 \quad (1)$$

En donde:

P_n : potencia de ruido disponible [dBW]

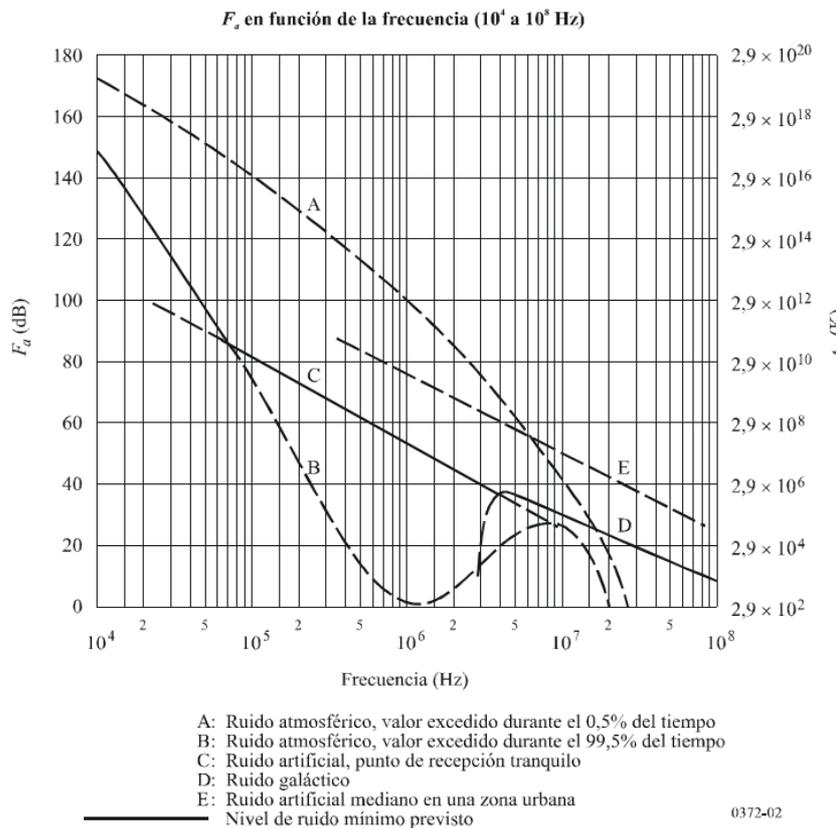
F_a : factor de ruido externo [dB]

B : ancho de banda expresado en dB en relación a 1Hz = $10 \log b$ (2)
en donde b ; ancho de banda del receptor [Hz]

N_0 : densidad espectral de ruido = $10 \log k t_0$ (3)

en donde k : constante de Boltzman
 t_0 : temperatura del sistema [Kelvin]

El factor de ruido externo puede ser obtenido de la FIGURA 9:



Fuente: recomendación ITU-R P.372-10 Ruido Radioeléctrico
FIGURA 9

Según este gráfico, podemos considerar que a 28,2 MHz el ruido atmosférico es 0, teniendo solo significación las curvas D (ruido galáctico) y E (ruido artificial mediano en una zona urbana). Supondremos que a 28.000 m de la superficie terrestre el aporte de ruido artificial es prácticamente nulo (se puede comprobar aplicando la fórmula (1) y sustrayendo la atenuación de espacio libre para esa frecuencia, alrededor de 94 dB, que existe entre la ciudad de Santa Rosa y el globo a su máxima altura. Seguramente habrá aporte de ruidos de otras ciudades, pero así y todo mantendremos la hipótesis de ruido artificial nulo.

A 28.000 m de altura la temperatura de una atmósfera standard es de -50°C (223K) y como suponemos que el conjunto del globo está en equilibrio térmico, se puede adoptar ese valor como temperatura externa de la antena. Por lo tanto $N_0 = -205,12$ dBW/Hz

El ancho de banda del receptor está especificado como 6 kHz, por lo que $B = 37,80$ dB/Hz

El aporte de Ruido Galáctico, según la curva ITU es de 20 dB para 28 MHz.

Resolviendo (1) obtenemos $-147,39$ dBW. Por comodidad trabajaremos con dBm, es decir $-117,39$ dBm.

Para estimar el ruido en bornes del receptor despreciaremos el aporte de ruido de la resistencia del conductor de la antena y la del cable coaxil hasta el receptor. Como toda resistencia, estas aportan ruido, pero vamos a suponerlas nulas.

El aporte de ruido de la electrónica del receptor Mafalda

El aporte de ruido de un receptor se tiene en cuenta en un número clave, la Figura de Ruido, expresada en dB. De acuerdo a lo establecido por Harald Friis en 1944 y que ya es standard en telecomunicaciones, la Figura de Ruido (NF) de un receptor se puede definir a partir de “F”, el Factor de Ruido.

$$F = \text{SNR}_{\text{input}} / \text{SNR}_{\text{output}} \quad (4)$$

En donde: $\text{SNR}_{\text{input}}$: relación de señal de entrada a ruido de entrada
 $\text{SNR}_{\text{output}}$: relación de señal de salida del receptor a ruido a la salida

Como el receptor genera ruido en sus componentes, $F > 1$, dado que la SNR a la salida será menor que la SNR a la entrada del receptor.

Por comodidad esa relación se expresa en dB, por lo tanto “F” expresado en dB con relación a una unidad de potencia, normalmente W o mW, se denomina “Figura de Ruido” (NF).

$$\text{NF} = 10.\log (\text{SNR}_{\text{input}}) - 10.\log (\text{SNR}_{\text{output}}) \quad (5)$$

Por la definición de Sensibilidad de un receptor sabemos que $10.\log (\text{SNR}_{\text{output}}) = 10 \text{ dB}$.

Como conocemos la Sensibilidad medida ($2 \mu\text{V}$) debemos calcular el ruido a la entrada para la medición, podemos suponer sin error que este es el producido en el resistor de 50Ω de la impedancia interna del generador de prueba, a la temperatura ambiente de medición 290 K .

La fórmula (5) puede ser escrita como:

$$\text{NF} = 10\log (S_{\text{input}}) - 10.\log (N_{\text{input}}) - 10.\log (\text{SNR}_{\text{output}}) \quad (6)$$

El ruido a la entrada es $10.\log (N_{\text{input}})$ y es el producido en el resistor de 50Ω de la impedancia interna del generador de prueba, a la temperatura ambiente de medición 290 K . Este ruido se calcula con la suma de (2) + (3), obteniéndose $-204 \text{ dBW/Hz} + 37,8 \text{ dB.Hz} = -166,20 \text{ dBW}$, expresado en dBm es $-136,20 \text{ dBm}$.

La potencia a la entrada del receptor es S_{input} que es la potencia que desarrollan los $2 \mu\text{V}$ sobre la impedancia de entrada de 50Ω , que, expresada en dBm, es igual a -101 .

Ahora estamos en condiciones de calcular NF

$$\text{NF} = -101 \text{ dBm} - (-136,20 \text{ dBm}) - 10 \text{ dB} = \underline{\underline{25,2 \text{ dB}}}$$

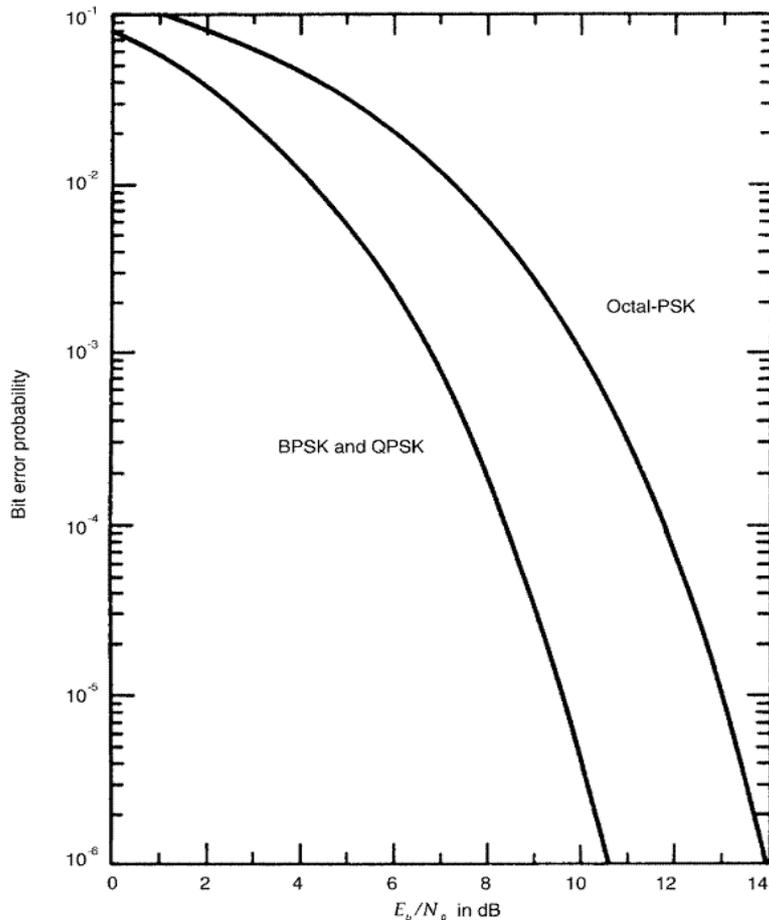
Como referencia, Rick Campbel, KK7B, en un trabajo ya clásico sobre receptores de conversión directa de alta performance [3] indica valores de Figura de Ruido en 40 m de 20 dB, por lo que 25 dB estimativamente es correcto para 28 MHz.

Ahora debemos estimar la mínima relación SNR para que una modulación digital como PSK31 sea retransmitido en 145 Mhz y pueda ser decodificado en tierra.

Este valor de relación señal-ruido depende de los errores que son tolerables para decodificar una señal de modulación digital.

En PSK31, con modulaciones BPSK y QPSK, las relaciones S/N se pueden obtener de la curva de FIGURA 10, extraída de un manual clásico. Hay muchas formas de realizar el calculo de S/N para una señal digital para diversas configuraciones de ruido de canal, pero adoptamos esta formulación clásica y simple para una estimación como la que estamos realizando.

Para los comunicados cortos que se deberán realizar con el Mafalda será necesario tener una baja tasa de error de bits para evitar ocupación excesiva del canal para un mismo QSO. Podemos adoptar un Bit Error Rate (tasa de error de bits) de 10^{-6} , es decir, un bit errado cada 1.000.000 bits transmitidos, esto permitirá que no haya retransmisiones y se puedan decodificar sin ninguna dificultad las señales de audio enviadas por el transmisor Mafalda de 145 MHz. Hay que considerar que por distorsión y ruido aportado por el proceso de modulación en FM del transmisor, la tasa de bits será degradada, por eso se deben desear una buena relación S/N a la salida de audio del receptor Mafalda.



Bit error probability (BER) versus E_b/N_0 performance for BPSK/QPSK and 8-ary PSK (octal)

Fuente: Roger Freeman, Fundamentals of Telecommunications, John Wiley & Sons, NY, 1999. p. 207

FIGURA 10

Para la tasa de error adoptada la relación S/N será de 10,5 dB. Por supuesto, relaciones S/N mas altas mejoraran el link, pero esto implica mayor potencia recibida por el receptor. Como referencia, la ARRL recomienda 10 dB para la SNR en PSK31 (<http://www.arrl.org/news/10-tips-for-the-psk31-digital-mode>)

Con la relación S/N en el puerto de ingreso al TX de Mafalda, se podrá calcular entonces la potencia necesaria en el borne de antena del receptor Mafalda, que es la MSD (Mínima Señal Discernible).

Arreglando la ecuación (6) para calcular $10.\log (S_{input}) = MSD$, tenemos:

$$MSD = NF + 10.\log (N_{input}) + 10.\log (SNR_{output})$$

Reemplazando por los valores calculados:

$$MSD = 25 \text{ dB} - 117,39 \text{ dBm} + 10,5 \text{ dB} = -81,90 \text{ dBm}$$

Sobre una impedancia de 50Ω esta potencia equivale a $18,0 \mu V$.

En primera instancia parece alta, pero esta señal asegura el enlace pues se obtiene la relación S/N necesaria para que el audio sea transmitido por el TX de FM.

Si la transmisión hacia Mafalda se realiza en CW, la relación S/N puede ser mucho mas baja, incluso tendiendo a cero pues los buenos telegrafistas son capaces de decodificar en medio de gran ruido pues tienen un filtro perfectamente entrenado y continuamente adaptable: la combinación oído-cerebro.

Balance de Potencia

Para realizar el balance de potencia es necesario conocer algunos otros datos que también serán estimados.

Se supondrá que la conexión entre el dipolo de 28 MHz de Mafalda y el receptor se realiza con un cable coaxil del tipo RG-174, que posee poco peso y utiliza conectores pequeños. Igualmente se considera el mismo cable para la línea de alimentación de la antena de $\frac{1}{4} \lambda$ del TX Mafalda en 144 MHz, ambos de longitud 1 m.

Para la estación que activa el repetidor Mafalda, se supone una configuración clásica de 20 m de cable coaxil RG-213 de mediana calidad tanto para 28 MHz como para 144 MHz.

Hay que hacer también algunas consideraciones acerca de la mejor antena a utilizar para activar el Mafalda.

Por simplicidad, un dipolo vertical a baja altura puede ser utilizado. El problema que solo seria útil a distancias cortas al globo. A unos 580 km de la vertical del globo, el “ángulo de disparo” debe ser del orden de $0,1^\circ$. En la siguiente figura se muestra el diagrama de un dipolo vertical instalado a 5 m del piso.

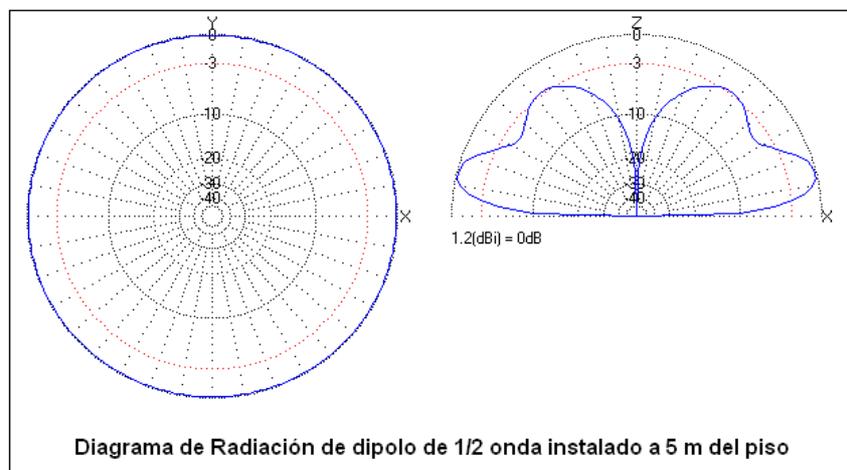


FIGURA 11

Se observa que solo es útil para ángulos de unos 13° , lo que implica una distancia al Mafalda de unos 120 km cuando el globo esta a 28.000 m de altura.

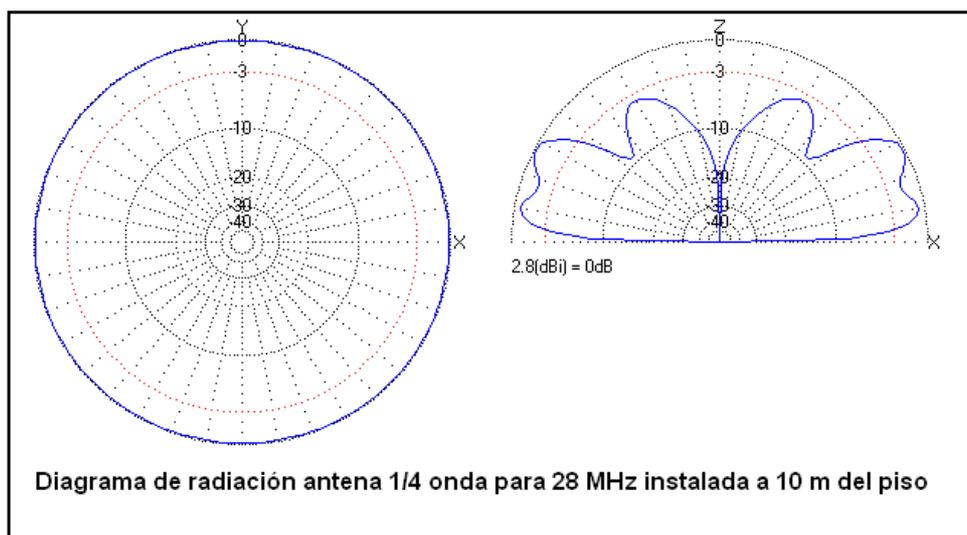


FIGURA 12

Con una vertical de $\frac{1}{4}$ onda tampoco se aprovecha mucho el disparo a bajos ángulos, teniendo un ángulo de aproximadamente 8° y otro principal a 28°

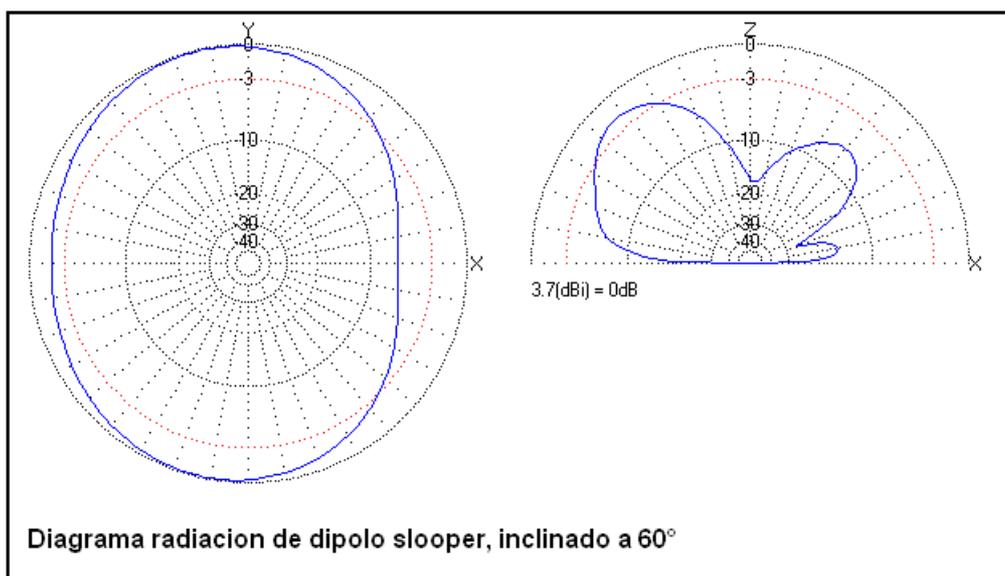


FIGURA 13

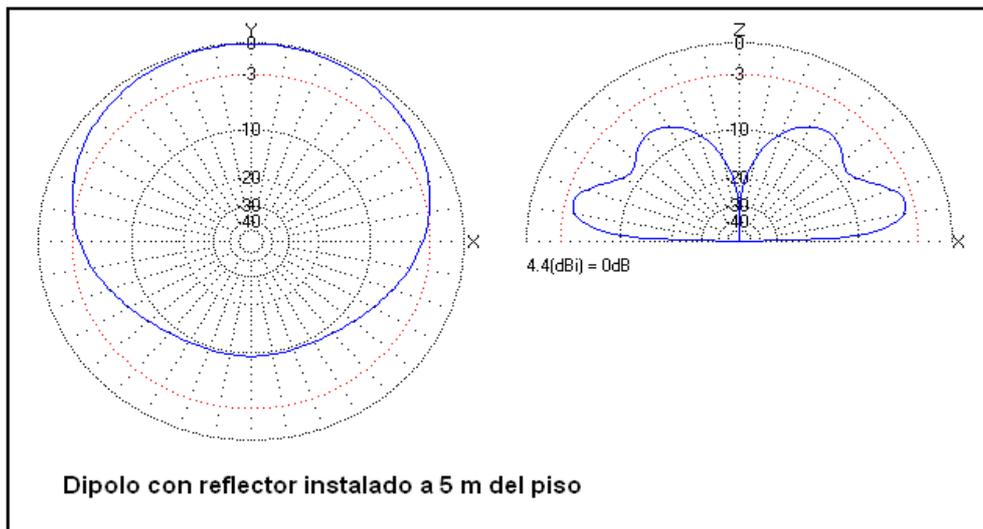


FIGURA 14

Vistos estos diagramas, la mejor opción parece ser una slooper a un ángulo de unos 60° respecto a la vertical. Pero para estaciones ubicadas a unos 400/500 km del globo, habrá que considerar que la ganancia de antena es cero o incluso negativa.

Considerando el problema, incluso podrá utilizarse un dipolo horizontal, que por diferencia de polarización poseerá unos 30 dB de atenuación.

Para la recepción en 145 MHz valen las mismas consideraciones, sugiriéndose entonces por simplicidad una antena de $\frac{1}{4}$ onda vertical.

Habiéndose establecido entonces las posibilidades de antenas, solo basta realizar el balance de potencia. En las siguientes tablas se realizan los balances de potencia de Uplink y downlink.

CALCULO DE ENLACE ASCENDENTE Globo Betty III

	SITIO 1	SITIO 2	
ENLACE:	TX	RX – Globo	
DISTANCIA TOTAL	580,614	KM	
FRECUENCIA	28,2	MHz	
MODULACIÓN	PSK31		
SITIO 1		LU3DUH	
	W	INGRESAR VALOR	CALCULOS
POTENCIA TRANSMISION	50	46,99 dBm	46,99 dBm
ATENUACION BRANCHING TX		0 dBm	0,00 dBm
TIPO FEEDER		RG8	
ATENUACION POR METRO FEEDER		0,0292 dB/m	
LONGITUD FEEDER		20 m	
ATENUACION FEEDER			-0,58 dB
TIPO CABLE JUMPER		RG8	
LONGITUD JUMPER		0,5 m	
ATENUACION POR METRO		0,0292 dB/m	
ATENUACION JUMPER			-0,01 dB
ATENUACION POR CONECTORES		0,2 dB	-0,20 dB
ATENUACION TOTAL		-0,7986 dB	
TIPO ANTENA		Dipolo Vertical	
GANANCIA ANTENA		-3 dB	-3,00 dB
PIRE			dBm
PERDIDA ESPACIO LIBRE			-116,68 dB
ATENUACION POR OBSTACULO		7,7 dB	-7,70 dB
PERDIDA APUNTAMIENTO		1 dB	-1,00 dB
POTENCIA ANTES DE ANTENA RECEPTORA			-82,19 dBm
SITIO 2		Globo Betty III	
TIPO ANTENA		Dipolo Vertical	
GANANCIA ANTENA		1 dB	1,00 dB
TIPO FEEDER		RG174	
ATENUACION POR METRO FEEDER		0,1700 dB/m	
LONGITUD FEEDER		1 m	
ATENUACION TOTAL FEEDER			-0,17 dB
ATENUACION POR CONECTORES		0,2 dB	-0,20 dB
ATENUACION BRANCHING RX		0 dB	0,00 dBm
POTENCIA EN CONECTOR RECEPTOR			-81,56 dBm
UMBRAL DE RECEPCION	uV 18,00	-81,88 dBm	-81,88 dBm
MARGEN DE FADING			0,32 dB

CALCULO DE ENLACE DESCENDENTE Globo Betty III

	SITIO 1	SITIO 2	
ENLACE:	TX	RX	
DISTANCIA TOTAL	580,614	KM	
FRECUENCIA	145,850	MHz	
Relacion S/N	10	dB	
SITIO 1		Betty III	
	W	INGRESAR VALOR	CALCULOS
POTENCIA TRANSMISION	1	30,00 dBm	30,00 dBm
TIPO FEEDER		RG174	
ATENUACION POR METRO FEEDER		0,3500 dB/m	
LONGITUD FEEDER		1 m	
ATENUACION FEEDER			-0,35 dB
ATENUACION POR CONECTORES		0,2 dB	-0,20 dB
ATENUACION TOTAL		-0,5500 dB	
TIPO ANTENA		¼ onda	
GANANCIA ANTENA		2 dB	2,00 dB
PIRE			dBm
PERDIDA ESPACIO LIBRE			-130,96 dB
ATENUACION POR OBSTACULO		1,1 dB	-1,10 dB
PERDIDA APUNTAMIENTO		1 dB	-1,00 dB
POTENCIA ANTES DE ANTENA RECEPTORA			-101,61 dBm
SITIO 2		LU3DUH	
TIPO ANTENA		Dipolo Vertical	
GANANCIA ANTENA		-3 dB	-3,00 dB
TIPO FEEDER		RG8	
ATENUACION POR METRO FEEDER		0,0918 dB/m	
LONGITUD FEEDER		20 m	
ATENUACION TOTAL FEEDER			-1,84 dB
TIPO CABLE JUMPER		RG8	
LONGITUD JUMPER		0,5 m	
ATENUACION POR METRO		0,0918 dB/m	
ATENUACION JUMPER			-0,05 dB
ATENUACION POR CONECTORES		0,4 dB	-0,40 dB
ATENUACION TOTAL		-2,2820 dB	
POTENCIA EN CONECTOR RECEPTOR			-106,89 dBm
UMBRAL DE RECEPCION	uV	0,25	-119,03 dBm
MARGEN DE FADING			12,14 dB

Comentarios sobre los cálculos.

Para la estación específica LU3DUH en el uplink se deberá transmitir con una potencia relativamente alta para el uplink. Esta situación se produce por tres motivos principales:

- i) se supone que el receptor Mafalda en su máxima altura tendrá un muy fuerte ruido a la entrada producido por la insolación y el ruido galáctico
- ii) por la distancia y el bajo ángulo con el que se mirara al globo implican que habrá atenuación por obstrucción del elipsoide de Fresnel
- iii) también por el bajo ángulo, la antena a utilizar pierde ganancia e incluso atenúa la potencia de TX, por lo que hay que compensar con potencia de transmisión.

En la realidad podrían encontrarse mejores situaciones que permitan usar potencias mas bajas, por ejemplo, que el ruido a la entrada del Mafalda sea bastante menor o que haya reflexiones constructivas de la señal que aumenten el nivel de señal a la entrada del RX Mafalda. En algunas simulaciones rápidas realizadas se encontró hasta 3 o 4 dB de aumento de señal por reflexiones.

La potencia de calculo se ajustó para un margen de fading casi cero. Para estaciones mas cercanas al globo, en donde el ángulo de ataque de la señal sea mayor a 3° se debe esperar una mejor calidad de fading, dado que en la troposfera (hasta 10 km de altura) con ángulos $> 3^\circ$ de ataque de la señal a las diversas capas de aire estratificado que se forman, las variaciones de densidad producen menor refracción, disminuyendo el llamado fading por multipath en las diversas capas de aire. Es decir que a distancias de la vertical del globo en su máxima altura menores a unos 320 km la estabilidad de la señal será mejor en razón del ángulo de ataque del rayo radioeléctrico a las capas de la atmósfera. Esto también es válido para el downlink en 145 MHz.

Utilizando el modelo de propagación Longley-Rice por medio del software Radio Mobile se realizó un mapa de cobertura para el downlink en 145 MHz. Se deberá tener en cuenta que este modelo de cobertura se recomienda para alturas de antena menores a 3000 m, por lo que para la máxima altura del globo se deben esperar errores.

En la base de datos para el uso del modelo utilizado para el downlink se tiene en cuenta la topografía del terreno y las arboledas importantes y se lo ajustó con el modelo de dos rayos para línea de vista, que tiene en cuenta las reflexiones, sean constructivas o destructivas de la señal de recepción.

