

# RE-USO DE FRECUENCIAS EN UNA AEROPLATAFORMA DE BAJA ALTITUD LAPs EN UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIÓN DIGITAL PARA REDES IP IEEE 802.11x

## VICENTE MONTECINOS GAETE

Ingeniero Electrónico, Universidad Tecnológica Metropolitana  
Integrante del Centro de investigación de Radiocomunicación Digital UTEM  
Ingeniero Radio del proyecto FONDEF Do31-1034  
“Aeroplataformas Globo-Antena como base de un sistema de Radiocomunicación digital en banda ancha para redes IP”  
Sus áreas de investigación principales son la Sectorización Celular y el Re-uso de frecuencias en Aeroplataformas  
e-mail: vmontecinos@utem.cl

## FERNANDO ULLOA VÁSQUEZ

Ingeniero Electrónico, Universidad Tecnológica Metropolitana  
PhD. Ing Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Cataluña  
Profesor Titular en el Departamento de Electricidad, UTEM  
Investiga el tema del canal aeronáutico y aplicaciones para sistemas de radiocomunicación digital terrestre en banda ancha basados en plataformas Estratosféricas HAPS  
e-mail: fulloa@utem.cl

## RESUMEN

Este artículo propone un modelo de re-uso de frecuencias para la banda ISM en 2.4 GHz sobre la norma IEEE 802.11x aplicada en Aeroplataformas de Baja Altitud (LAPs). El modelo propuesto se implementa de forma que se minimicen los efectos de los lóbulos laterales sobre la Relación Portadora Interferencia (CIR). Finalmente se exponen algunos resultados experimentales de dicho modelo.

*Palabras Clave: Aeroplataformas, Radiocomunicación Digital, HAPS, MAPS, LAPS y Redes IP.*

## ABSTRACT

The following paper proposes a model of frequency re-use for the 2.4 GHz ISM band, under the 802.11x standard applied in Low Altitude Platforms (LAPs). The proposed scheme is implemented in order to counteract the harmful effects of the antenna gain sidelobes profile over the Carrier to Interference Ratio (CIR). Finally, some worksite results are shown for its assessment.

*Keywords: Aerial platforms, Digital Radio Communications, HAPS, MAPS, LAPS and IP networks.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de re-utilización celular en general re-usan la misma banda de frecuencia en diferentes ubicaciones o “celdas” con el fin de incrementar la capacidad del sistema, la movilidad y el número de usuarios [1]. Las celdas que utilizan la misma banda de frecuencia se encuentran separadas por distancias lo suficientemente largas con el fin de prevenir la interferencia co-canal [2].

En los sistemas terrestres las distancias de re-uso son relativamente cortas ya que las pérdidas se asumen proporcionales a  $1/r^4$  [3], donde  $r$  es la distancia entre antenas. En cambio en sistemas no terrestres (Aeroplataformas) se pueden utilizar distancias de re-uso mayores ya que se asumen pérdidas de espacio libre proporcionales a  $1/r^2$ . En el caso de las Aeroplataformas, la sectorización se podría presentar como un caso ideal geométrico (ver fig. 1), a diferencia de la sectorización terrestre que depende del tipo de terreno (urbano, suburbano y rural).

La sectorización está a su vez condicionada por el tipo de antena a utilizar [4][5], en este caso se usaron antenas del tipo helicoidal con 9.8 dBi de ganancia [6][7]. Para el experimento inserto dentro proyecto FONDEF Do31-1034 se realizaron pruebas con 3 celdas a bordo de una Aeroplataforma del tipo *Zeppelin* obteniendo los primeros resultados experimentales los que se presentarán comentados al final de este artículo.

## 2 MODELO DE RE-USO PROPUESTO

De acuerdo a la norma IEEE 802.11b/g [8] debe existir a lo menos una separación 25 MHz entre las frecuencias centrales de los canales para que no exista solapamiento. Por esto se propone el re-uso de los canales 1,6 y 11 de acuerdo al patrón geométrico de la figura 2.

No obstante cabe considerar que los resultados expuestos al final de este trabajo se obtuvieron usando solo un trébol de tres celdas.

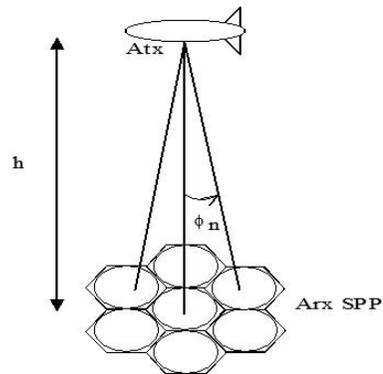


Figura 1.- Caso ideal geométrico propuesto para una Aeroplataforma.

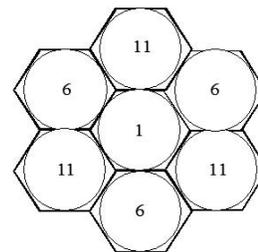


Figura 2.- Patrón geométrico y de re-uso de frecuencias propuesto.

## 3 PERFIL DE LAS ANTENAS

Se consideraron los siguientes parámetros para la elección de las antenas:

- Capacidad para operar en la banda de 2400 a 2483 MHz dentro de la banda ISM.
- Polarización circular, para permitir independencia de polarización en los equipos de los usuarios.
- Una marcada relación delante-atrás para evitar los efectos de los lóbulos espurios.
- Una relación de lóbulos principales a lóbulos secundarios superior a 25 dB.
- Ser de bajo peso debido a las limitaciones en la capacidad de carga de la Aeroplataforma.

La antena escogida para cumplir con los requerimientos es de tipo helicoidal, la cual presenta una polarización de tipo circular. El sentido de la polarización derecha o izquierda es definido por el sentido de giro del elemento conductor, mientras que el tipo de elemento reflector aporta, de acuerdo a la teoría, la seguridad de contar con una marcada relación delante-atrás tal como fue señalado anteriormente.

Este tipo de antena ha sido profusamente utilizado por los radio-aficionados [6] presenta la ventaja de que es fácil de fabricar a muy bajo costo y, además, en base a este diseño es relativamente fácil fabricar antenas con ganancias diferentes. Se aumenta la ganancia simplemente aumentando el número de espiras [9]. Por otra parte, la polarización circular, propia de esta antena, tiene la ventaja de ser poco sensible a los fenómenos atmosféricos. Además no es necesario preocuparse de la orientación angular de la antena con respecto a la fuente de señal ya que todas las orientaciones angulares son equivalentes, lo que es ideal para nuestro caso, tanto desde el punto de vista de un globo que se desplaza o está simplemente en movimiento alrededor de un punto de anclaje como desde el punto de vista de usuarios con equipos portátiles a quienes no se les puede pedir “enfocar” la antena hacia la plataforma de acceso.

De acuerdo a teoría descrita en [7]-[9] se especifican las características de las antenas propuestas para el arreglo. Dichas características se confirmaron mediante la medición y pruebas de laboratorio normalizadas [10]. Para dicha medición se utilizó un analizador de líneas y antenas ANRITSU S251A, tiene la capacidad de medir SWR perdidas por retorno, ganancia y perdidas por inserción. Además de servir de generador de RF en el rango de 650 a 2500 MHz.

La elección de la antena se basó también en disminuir al mínimo los efectos de los lóbulos laterales [4][5] sobre la CIR.

Rango de frecuencia	2400-2483	Mhz
Número de espiras	3	-
Diámetro de la espira	4	cm
Distancia entre las espiras	3	cm
Diámetro mínimo del reflector	10	cm
Ganancia	9.8	dBi
Ancho de haz a -3 dB	58.5	°
Relación delante-atrás	<41	dB
SWR a frecuencia central	< 1.12	-

Tabla 1.- Parámetros de la antena seleccionada.

Los efectos de los lóbulos laterales sobre la CIR tienen directa relación con su cantidad y magnitud, por esto se seleccionó una antena helicoidal de tres espiras, pues posee un mínimo de lóbulos laterales y separados por lo menos 25 dB del lóbulo principal. En la figura 3 muestra la comparación entre una antena helicoidal de 3, 6 y 12 espiras, también se distingue claramente que la cantidad de espiras es inversamente proporcional al ancho de banda de potencia media (HPBW).

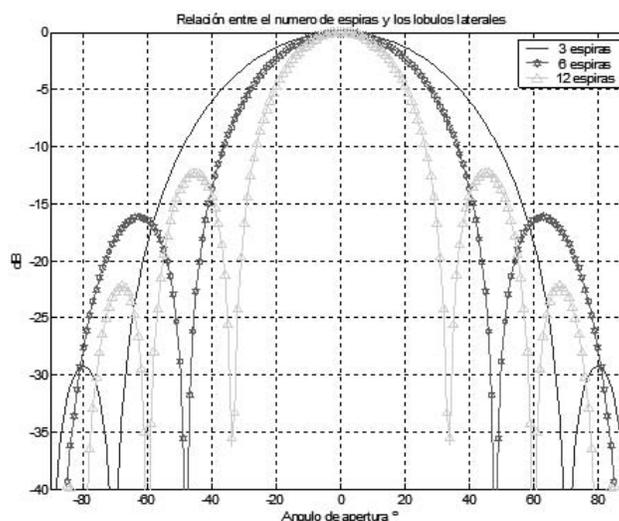


Figura 3.- Comparación entre la cantidad de espiras, los lóbulos laterales y el HPBW.

#### 4 ESCENARIO PROPUESTO

Un número determinado de antenas puede ser colocado en la plataforma, produciendo un enlace descendente a tierra con spot-beams. Estos haces de las antenas están espaciados angularmente con  $\alpha$  y un cierto ángulo de offset relativo al (SPP) punto sub-plataforma conocido como  $\phi_n$  donde ( $\phi_n = n\alpha$ ) (figura 4). Los haces adyacentes usaran frecuencias diferentes determinando así el modelo de re-uso. En tierra los receptores recibirán la señal y la interferencia, pero con la interferencia resultante un LAPS podrá decidir en uso de una frecuencia o alguna otra [11].

Teniendo definido  $\phi_n$  para la interferencia transmitido por una antena, se podrá calcular el EIRP, definido como el producto de la ganancia y la potencia transmitida en la antena y a esos ángulos en la dirección del terminal en tierra. El EIRP de la antena interferente es entonces sumado a la combinación de la potencia interferente total.

#### 5 CONFIGURACIÓN DE CELDAS

La figura 4 muestra las celdas con sus centros radiales espaciados por una distancia  $d_n$ , donde  $d_n = h \tan(n\alpha)$ , para  $n = \{1, 2, 3, \dots\}$  hasta el número máximo de celdas. Asumiremos el uso de antenas simétricas circulares centrados en la celda en el SPP.

Además, se define el ángulo de desplazamiento  $\delta$  como:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{h}\right) \quad \text{ec.1}$$

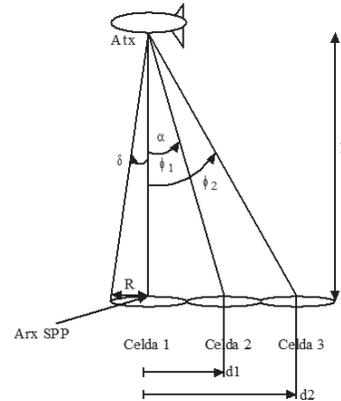


Figura 4.- Escenario propuesto, donde  $d_n$  es la distancia desde el SPP al centro de cada celda,  $\delta$  es el desplazamiento angular con respecto  $\phi_n$  y  $R$  el radio de la celda.

Usando el valor de  $d_n$  se puede determinar el espaciamiento coordinado entre los centros de cada celda en tierra, donde:

$i = \{6, 12, 32, \dots, 6n\}$  es el número de celdas en cada anillo y  $n$  es el índice del anillo  $i$ -ésimo.

$$y_{i,n} = \sin\left(\frac{360^\circ}{i} n\right) d_n \quad x_{i,n} = \cos\left(\frac{360^\circ}{i} n\right) d_n \quad \text{ec.2}$$

#### 6 RAZÓN POTENCIA SEÑAL PORTADORA A INTERFERENCIA.

Se desea calcular la CIR en el SPP. La señal recibida es una función de la potencia transmitida  $P_{TX}$ , la respectiva ganancia de la antena transmisora  $G_{TX}$ , la ganancia de la antena receptora  $G_{RX}$  y los caminos o path donde experimenta pérdidas  $L$ . La ganancia en la antena receptora se asumirá igual a la transmisora para un punto ubicado en el SPP. Por lo tanto la potencia total de la portadora recibida en el SPP estará dada por:

$$PC_{RX} = \frac{P_{TX} G_{RX} G_{TX}(\phi_o)}{L} \quad \text{ec.3}$$

Para determinar la fuerza de la señal Interferente, la ganancia  $G_{TX}$  de la antena transmisora es calculada para ángulos de offset  $\phi_n$ . El efecto combinado de la interferencia de las antenas es entonces agregado para producir el total de potencia interferente en el SPP. El total de esta potencia interferente esta dado por:

$$PI_{RX} = \sum_{n=2}^N \left( \frac{P_{TX_{n,n=1}} G_{RX} G_{TX}(\phi_{n,n=1})}{L_{n,n=1}} \right) \quad \text{ec.4}$$

Se asume además, que la potencia transmitida  $P_{TX}$  es la misma para todas las celdas, y que todas las señales son recibidas en la antena receptora  $G_{RX}$ . Para lo que la razón señal a interferencia será:

$$\frac{C}{I} = \frac{PC_{RX}}{PI_{RX}} = \frac{G_{TX}(\phi_0)}{\sum_{n=2}^N G_{TX}(\phi_{n-1})} \quad \text{ec.5}$$

## 7 RESULTADOS

Para la obtención de los primeros resultados se hizo uso de un arreglo de tres antenas helicoidales (Figura 5) con un  $\phi_n = 40^\circ$  (Figura 6) montado en un dirigible no rígido (Blimp) con una capacidad de helio de 26 mts<sup>3</sup> a 70 mts de altura. Dicho arreglo se conectó a tres Access Linksys WRT54G bajo norma IEEE 802.11b usando el modelo de re-uso de frecuencias de la sección 2.

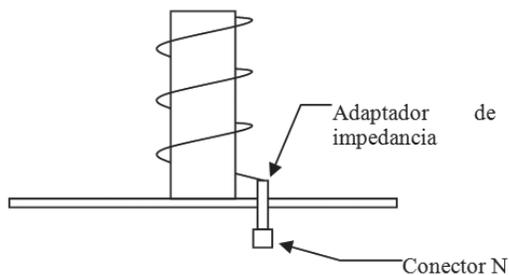


Figura 5.- Esquema general de la antena helicoidal.

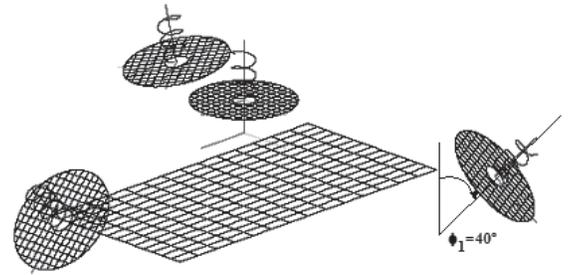


Figura 6.- Disposición geométrica tridimensional del arreglo utilizado.

En la figura N° 7, se muestran las medidas de densidad espectral de potencia por canal de los Access Point utilizados en el experimento.

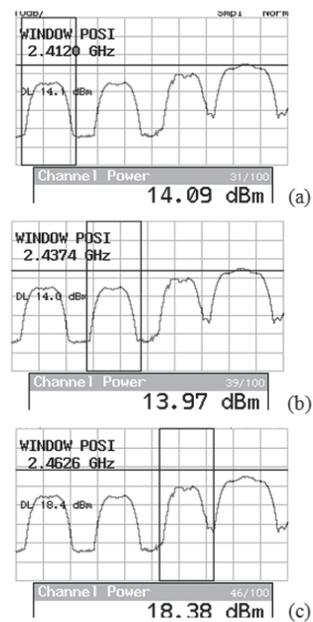


Figura 7: Densidad espectral de potencia por canal obtenida mediante la integración del área bajo la curva sobre el ancho de banda para obtener las potencias en dBm ; a) canal 1, b) canal 6, c) canal 11

Para la medición de potencia de los radio canales de los Access Point se dispuso de los equipos como muestra la figura 8. Se seleccionó en el Analizador como frecuencia central 2450 MHz con un SPAN de 100 MHz, con el fin de cubrir la banda de canales descrita en [8], a continuación se conectó mediante un Pigtail la salida de RF del AP a la entrada del analizador.

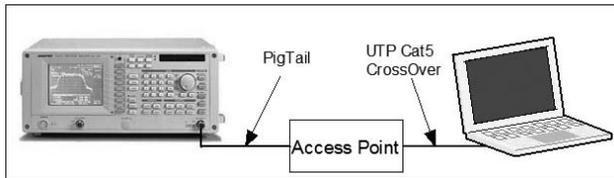


Figura 8.- Disposición de los equipos para la medición de los AP

Para modificar los parámetros de configuración, de los canales AP, se hizo uso de software de configuración propietario del fabricante Micronet instalado en el laptop, el cual se conecta mediante un cable UTP Cat5 CrossOver, por considerar el AP como un DCE.

Por tratarse de equipos que utilizan esquemas de modulación digital con saltos en frecuencia, se debe hacer uso de la función Max Hold en el menú Trace del Analizador, la cual almacena los valores máximos, los muestra en pantalla y los almacena para su posterior análisis. Para la medición de potencia se hizo uso de la función Channel Power del menú Power Measure, con una ventana de medición de 22 MHz correspondiente al ancho de banda del canal.

Para las medidas experimentales de las tres celdas se organizó una campaña de medidas utilizando una PDA con un NIC 802.11b con antena interna incorporada de 1 dBi.

Las medidas de cobertura se observan en la figura 9.

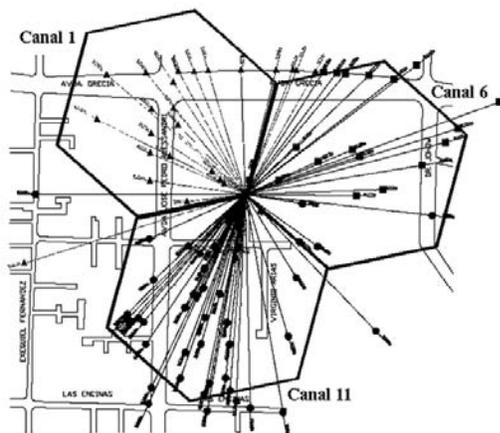


Figura 9.- Representación de las medidas obtenidas y las celdas teóricas.

## 8 CONCLUSIONES

Se ha analizado un modelo de re-uso de frecuencias para Aeroplataformas de baja altitud, en el cual se consideró, dentro del diseño de las antenas la influencia de los lóbulos laterales sobre la CIR. En figura 9, se nota una cierta asimetría entre las tres celdas debido en parte a las variaciones en el lóbulo de radiación de las antenas provocadas principalmente por el tipo de adaptador de impedancia utilizado.

Por otra parte, existen puntos que según el análisis teórico no corresponden, éstos aparecen con los movimientos de la Aeroplataforma, ya que para el análisis se asume una plataforma estacionaria, dicha relación: movimientos (yaw, pitch y roll) de la Aeroplataforma y su influencia sobre las celdas se plantea como una línea de investigación futura.

Número	Tasa (mbps)	Señal (dBm)	Ruido (dBm)	S/N (dB)	Radio R (mts)	Altura h (mts)	&(°)	Celda
1	11	-66	-98	37	0	70	0.00	6
2	11	-62	-99	34	58	70	39.64	6
3	11	-65	-99	34	67	70	43.75	11
4	11	-68	-99	31	65	70	42.88	11
5	11	-65	-98	36	35	70	26.57	1
6	11	-82	-98	16	92	70	52.73	1
7	11	-80	-99	20	177	70	68.42	6
8	11	-72	-100	27	127	70	61.14	6
9	-	-	-	-	277	70	75.82	-
10	1	-77	-98	21	142	70	63.76	1
11	6	-80	-99	17	238	70	73.61	1
12	1	-92	-98	6	354	70	78.81	1
13	6	-78	-98	21	342	70	78.43	1
14	6	-79	-97	18	369	70	79.23	1
15	1	-95	-100	5	288	70	76.34	6
16	1	-89	-99	8	169	70	67.50	1
17	-	-	-	-	304	70	77.03	-
18	2	78	-99	21	335	70	78.20	1
19	-	-	-	-	362	70	79.06	-
20	2	-77	-99	22	292	70	76.52	11
21	2	-77	-99	21	250	70	74.36	11
22	1	-77	-99	21	223	70	72.57	11
23	-	-	-	-	200	70	70.71	-
24	1	-83	-100	17	250	70	74.36	6
25	1	-86	-100	14	300	70	76.87	6
26	2	-84	-99	15	185	70	69.27	6
27	2	-70	-99	28	154	70	65.56	11
28	2	-76	-99	23	202	70	70.89	11
29	11	-74	-99	25	96	70	53.90	1
30	6	-80	-98	18	115	70	58.67	1
31	11	-73	-98	21	156	70	65.83	1
32	1	-83	-99	12	302	70	76.95	1
33	2	-88	-100	11	219	70	72.27	6
34	6	-75	-100	25	110	70	57.53	6
35	11	-76	-97	28	123	70	60.36	1
36	1	-95	-99	5	369	70	79.26	11
37	6	-83	-96	17	265	70	75.20	6
38	6	-77	-98	22	165	70	67.01	11
39	1	-92	-99	7	213	70	71.81	11
40	11	-72	-100	27	94	70	53.33	11
41	6	-65	-99	34	85	70	50.53	1
42	6	-78	-99	19	352	70	78.75	1
43	6	-82	-99	17	315	70	77.47	1
44	11	-80	-99	19	327	70	77.92	1
45	11	-83	-99	16	331	70	78.06	1
46	11	-80	-98	18	344	70	78.50	1
47	11	-80	-99	19	312	70	77.35	1
48	11	-81	-99	16	308	70	77.20	1
49	6	-78	-99	21	296	70	76.69	1
50	11	-81	-99	18	262	70	75.04	1

Número	Tasa (mbps)	Señal (dBm)	Ruido (dBm)	S/N (dB)	Radio R (mts)	Altura h (mts)	&(°)	Celda
51	11	-79	-98	18	262	70	75.04	1
52	11	-75	-98	20	273	70	75.62	1
53	2	-85	-98	12	275	70	75.72	1
54	6	-85	-99	6	269	70	75.41	1
55	11	-81	-99	16	200	70	70.71	1
56	11	-75	-99	29	173	70	67.97	(1-11)
57	6	-79	-99	21	181	70	68.86	1
58	6	-76	-99	23	165	70	67.01	1
59	11	-77	-99	20	165	70	67.01	1
60	6	-76	-99	22	135	70	62.59	1
61	11	-71	-99	27	119	70	59.53	1
62	1	-80	-99	18	250	70	74.36	1
63	2	-80	-99	20	242	70	73.87	1
64	-	-	-	-	237	70	73.55	-
65	11	-76	-99	21	271	70	75.52	1
66	11	-76	-99	23	208	70	71.40	1
67	2	-79	-99	20	206	70	71.23	1
68	6	-73	-99	24	208	70	71.40	1
69	-	-	-	-	231	70	73.14	-
70	-	-	-	-	267	70	75.31	-
71	-	-	-	-	39	70	79.93	-
72	11	-71	-98	27	135	70	62.59	11
73	6	-75	-99	24	154	70	65.56	11
74	11	-64	-99	36	38	70	28.50	11
75	6	-74	-99	25	38	70	28.50	1
76	11	-68	-100	34	23	70	18.19	6
77	11	-68	-99	31	46	70	33.31	11
78	11	-77	-98	21	192	70	69.97	6
79	1	-79	-100	20	285	70	76.20	6
80	-	-	-	-	269	70	75.41	(6-1)
81	-	-	-	-	275	70	75.72	(1-6)
82	1	-97	-99	2	300	70	76.87	1
83	1	-90	-10	9	329	70	77.99	6
84	2	-87	-99	10	354	70	78.81	6
85	2	-90	-99	10	431	70	80.77	6
86	1	-82	-100	15	342	70	78.43	6
87	6	-74	-99	24	273	70	75.62	6
88	2	-88	-100	10	242	70	73.87	6
89	2	-85	-100	15	231	70	73.14	6
90	2	-84	-100	15	225	70	72.72	11
91	2	-92	-98	6	212	70	71.73	11
92	6	-83	-99	16	204	70	71.06	11
93	1	-95	-99	4	198	70	70.53	11
94	1	-85	-99	14	206	70	71.23	11
95	6	-75	-99	24	212	70	71.73	11
96	2	-84	-99	16	212	70	71.73	11
97	11	-73	-99	25	179	70	68.64	11
98	1	-97	-100	2	246	70	74.12	(11-1)
99	1	-97	-100	2	265	70	75.20	(11-1)
100	2	82	-98	15	179	70	68.64	11

Tabla 2.- Datos de cobertura obtenidos

---

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Said M. Elnoubi, "3-Dimensional Cellular Systems for Aeronautical Mobile Radio Communications", pp. 956-959, IEEE 1992.
2. W. C. Y. Lee, "Spectrum Efficiency in Cellular", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 38, N<sup>o</sup> 2, pp. 69-75, Mayo 1989
3. Goran M. Djuknic y John Freidenfelds, "Establishing Wireless Communications Service via High-Altitude Aeronautical Platforms: A Concept Whose Time Has Come?", IEEE Communication Magazine pp. 128-135, Septiembre de 1997.
4. John Thornton y David Grace, "Effect of Antenna Aperture Field on Co-Channel Interference, Capacity, and Payload mass in High Altitude Platform Communications", ETRI Journal, Volumen 26, numero 5, pp 467-474, Octubre 2004.
5. John Thornton, "A Low Sidelobe Asymmetric Beam Antenna for High Altitude Platform Communications", IEEE Microwave and Wireless Component Letters, vol. 14, N<sup>o</sup> 2, Febrero 2004.
6. The ARRL Handbook 2003 for Radio Amateurs. The American Radio Relay League, Newington, U.S.A., 2003.
7. John D. Kraus y Daniel A. Fleish, "Electromagnetismo con Aplicaciones", Ed. Mc Graw-Hill Interamericana, 1999.
8. IEEE Std. 802.11b, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band", Septiembre 1999.
9. T.E. Tice and J.D. Kraus, "The Influence of Conductor Size on the Properties of Helical Beam Antennas", Proc. IRE, 37, 1296, November 1949.
10. IEEE Standard, "Test Procedures for Antennas", ANSI/IEEE Std. 149-1979, section 12. Rev.1980.
11. N. E. Daly, D. Grace, T. C. Tozer et al, "Prediction of Frequency Reuse Behaviour for High Altitude Platforms", 3rd International Airship Convention and Exhibition, 2000.