

Análisis, Diseño, Construcción y Medición de Antenas Helicoidales para 2.4 GHz sobre Aeroplataforma de Comunicaciones Globo-Antena (HAPS).

Hugo Durney W.¹ Jean-Yves Gautier C.² Fernando Ulloa V.¹

¹ Universidad Tecnológica Metropolitana, Departamento de Electricidad.

Av. José Pedro Alessandri 1242, Edif. Fac. de Ingeniería of. N°19, Santiago, Chile.

Fono : 56-2-7877071 ; Fax: 56-2-7877119; E-mail: hurney@utem.cl ; cesar.castro.g@gmail.com

² Centro de Estudios Espaciales (CEE), Universidad de Chile

Tupper 2007, 6° piso, Edif. Ingeniería Eléctrica

Fono : 6981702, E-mail : jyves@ing.uchile.cl

Resumen

El presente artículo resume aspectos relevantes del diseño e implementación de antenas helicoidales para la banda de 2.4 GHz y los enlaces inalámbricos definidos para el modelo de cobertura del proyecto HAPS¹. Se presentan y aplican los elementos teóricos para el diseño de las antenas y se contrastan los resultados obtenidos a través de modelos de simulación numérica con aquellos obtenidos experimentalmente a través de los procedimientos de medición y calibración aplicados en este desarrollo.

Abstract

This paper summarizes some remarkable aspects regarding the design and implementation of Helical antennas developed in order to fulfill the HAPS Project¹ coverage requirements in the 2.4 GHz ISM band. The basic theoretical topics for the antenna design are provided as well as numerical modeling applications. Finally, the simulation results are contrasted to those corresponding to the calibration and measurement procedures experimentally carried out.

1.- Introducción

La presente comunicación se enmarca dentro de las actividades llevadas a cabo para el proyecto FONDEF D03i-1034 "Aeroplataforma Globo-Antena, como base de un sistema de radiocomunicación digital para redes inalámbricas IP". Este proyecto a su vez se sitúa en la temática de investigación y desarrollo de plataformas de gran altitud (HAPS) para radiocomunicaciones, las que actualmente reciben una especial atención a nivel internacional, existiendo de hecho diversos proyectos comerciales para el desarrollo de prototipos de alta calidad que van desde aviones robot telecomandados hasta aeronaves LTA (lighter than air) de grandes dimensiones, fabricadas con materiales que permiten su operación incluso en alturas estratosféricas (>20 Km). Entre los requerimientos planteados para la construcción y puesta en marcha de un prototipo LAPS (Low Altitude Platform) se busca desarrollar e integrar un modelo de antena común para el funcionamiento de radioenlaces en la banda de 2.4 GHz asignada para las aplicaciones tipo Wi-Fi bajo las normas 802.11b/g.. Frente a las características del problema planteado se justifica la elección del tipo de antena, lo cual es detallado más adelante en la sección 2, donde se consideran factores críticos de operación radioeléctrica así como factores mecánicos propios de la aeronavegación.

1.1 Modelo general del sistema proyectado

El modelo general del sistema y escenario de cobertura en que estas antenas habrían de cumplir su rol se muestra en la figura 1, donde se establecen las condiciones generales del esquema de radiocomunicación que el proyecto pretende implementar. Se aprecian 3 zonas de cobertura para acceso de usuarios dispuestas como celdas en 120° y limitadas cada una de ellas por un nivel típico de sensibilidad establecido como -80dBm (10 pW) para las interfaces inalámbricas más comunes de tipo 802.11b que se supone tendrán los usuarios en tierra. En este modelo de aplicación, la aeronave cuenta con un compartimento de carga especialmente diseñado para llevar los equipos de radiotransmisión capaces de establecer la cobertura y enlace de las tres zonas de usuarios. Así el enlace principal, que consiste en un enlace direccional en base a un reflector parabólico centrado (en color rojo) conecta al switch (SW) nodal en la aeroplataforma con un acceso a Internet de banda ancha en tierra. Para ello se utilizarán equipos de norma 802.11g cuya velocidad nominal máxima es de 54 Mbps. A su vez, en el globo, el switch alimentará a tres access point (AP) que generan respectivamente las zonas de cobertura (definidas en azul) para brindar un servicio con compatibilidad de norma 802.11b, cuya velocidad nominal máxima es de 11 Mbps. Es importante señalar que lo observado en la figura 1 no constituye el único esquema de aplicación de esta infraestructura. De hecho, prescindiendo del enlace principal también tendría sentido el establecer una red local que permitiese enlazar equipos y usuarios ubicados ya sea dentro de la misma celda de cobertura o bien entre diferentes celdas, generando así una red inalámbrica de cobertura ampliada (wireless WAN) bajo el globo. De esta manera, se distinguen dos enlaces que deben coexistir y operar simultáneamente para servicios que, aunque utilizan básicamente el mismo soporte de radiocomunicaciones, operan para distintos objetivos. Por ello es fundamental lograr minimizar la interferencia que pueda naturalmente surgir entre los distintos enlaces, ya sea interferencia por lóbulo principal-secundario o interferencia entre antenas a través de sus lóbulos secundarios. Existirá un grado inevitable de interferencia al estar todas las antenas situadas en un entorno relativamente pequeño determinado por la estructura de soporte en el globo. Las estrategias básicas para mitigar dicha interferencia apuntan a lo siguiente:

- a) El enlace principal consta de una antena helicoidal dispuesta como alimentador en un reflector parabólico. Debido a la expectativa de manejo óptimo del ancho de banda disponible, este enlace requiere mayor directividad y ganancia que los enlaces dedicados a ofrecer cobertura a los usuarios, los cuales deben ser menos directivos y administrar menores velocidades.

¹ Proyecto FONDEF D03i-1034 "Aeroplataforma Globo-Antena, como base de un sistema de radiocomunicación digital para redes inalámbricas IP."

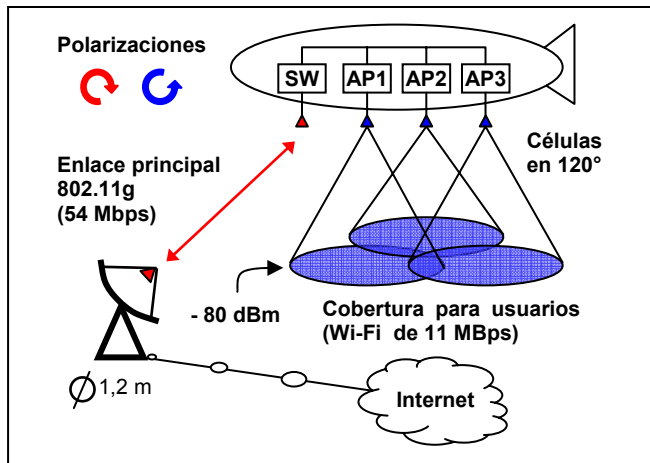


Figura 1: Esquema general del sistema de cobertura experimental.

- Utilizar antenas con una marcada relación delante-atrás de manera que exista una barrera importante de ganancia, tal que la zona trasera del patrón de irradiación tenga una muy baja ganancia en relación a la dirección frontal. Lo anterior con el objetivo de minimizar las interferencias entre antenas y sobre los equipos de l compartimento de carga.
- Situar las antenas en el globo como un arreglo que considere la mayor distancia posible y una inclinación que, dada la fuerte relación delante-atrás, minimice la influencia de las emisiones provenientes desde y hacia las otras antenas.
- Asignar adecuadamente los canales Wi-Fi a cada enlace para disminuir la interferencia de canal adyacente (canales 1, 6 y 11).
- Utilizar polarizaciones contrapuestas para el enlace principal y los enlaces secundarios. Esto está oportunamente representado en la figura 1.

Existiría un tercer tipo de enlace que sería el enlace dedicado de control, encargado de la telemetría y telecomando de la nave. Sin embargo, debido a su importancia en cuanto a la seguridad, y la necesidad de operar independientemente de lo que es transmisión de información para usuarios, este enlace sería atendido en una primera etapa por otros equipos y antenas ad-hoc cuya integración al sistema no se encuentra contemplado en el presente trabajo.

1.2 Requerimientos del proyecto

Los siguientes son los requerimientos y condiciones técnicas deseables que establecen un marco básico de desarrollo para el sistema de antenas:

- Rango de frecuencias 2400 MHz – 2483 MHz asignada para los canales standard de acceso inalámbrico con tecnología Wi-Fi.
- Óptimas condiciones de razón de onda estacionaria, esto es: $ROE < 1,5 \Rightarrow$ potencia reflejada $< 4\%$.
- Ganancia adecuada a zona de cobertura y elevación del dirigible (inicialmente 300 metros).
- Directividad no excesiva para las antenas que iluminan las zonas de servicio a usuarios. Para esto se optó por una apertura a -3dB de aproximadamente 60° . El mismo criterio aplica para la antena del enlace principal que va en el globo ya que los movimientos (balanceos) de la nave no deben poner en riesgo la estabilidad y permanencia del enlace principal.

- Las antenas y su estructura de soporte deben tener el mínimo peso posible.
- Dimensiones reducidas, resistencia a las condiciones climáticas de intemperie y baja carga al viento.

2.- Solución propuesta: la antena Helicoidal

La antena escogida para cumplir con los requerimientos es de tipo helicoidal (ver figura 2), 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 es de muy común utilización en comunicaciones para el telecontrol de satelitales (TTC) y actualmente es muy difundida entre los radio-aficionados [1]. 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 ya que se aumenta la ganancia simplemente aumentando el número de espiras (aunque la relación no es lineal). Por otra parte, la polarización circular, propia de esta antena, tiene la ventaja de ser poco sensible a los fenómenos atmosféricos. Además, la polarización circular independiza bastante la calidad de los enlaces respecto de la orientación angular de las antenas ya que todas las posiciones son equivalentes. Esto resulta óptimo para el caso propuesto en la figura 1, tanto si consideramos que el globo que se desplaza o gira alrededor de un punto de anclaje como si consideramos que se pretende atender a usuarios móviles con equipos portátiles cuyo comportamiento y orientación respecto de la aeroplataforma es por naturaleza aleatorio.

Las antenas hélices mono-filares son bien conocidas, existe una gran cantidad de literatura que las describe y muestra las ecuaciones físicas que permiten calcular el diagrama de radiación y otros parámetros [2]-[5]. Existen además varios programas informáticos que permiten calcular los diferentes parámetros de una antena en función de la frecuencia y de la cantidad de espiras que se desean o de la frecuencia y de la ganancia esperada. Los diferentes programas informan del diámetro de las espiras, la distancia entre espiras, el grosor del conductor que se debe utilizar y el diámetro del reflector. Asimismo, se cuenta con programas más avanzados y complejos (p.ej. GRASP 8, utilizado más adelante en este estudio) que ayudan a la modelización numérica del comportamiento de una o varias antenas en un arreglo, y que nos permiten obtener una simulación del patrón de irradiación que se obtendría.

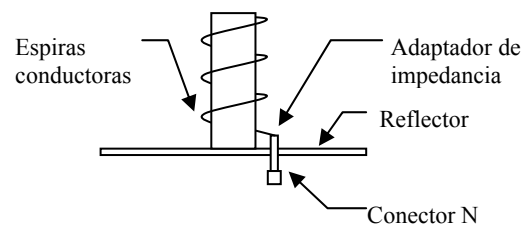


Figura 2: Esquema básico de una antena helicoidal

3.- Teoría del diseño de la antena.

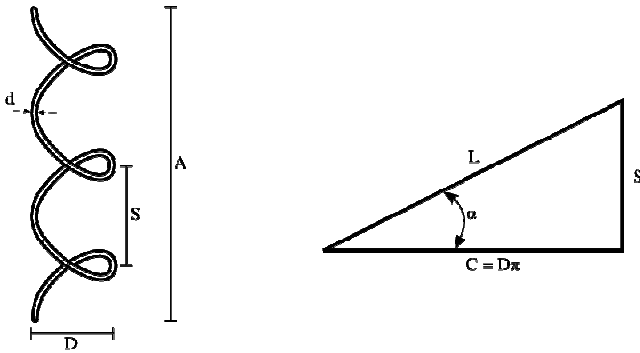


Figura 3: Parámetros dimensionales del helicoide.

La antena helicoidal tiene muchos modos de radiación, pero los más comunes son el modo axial de radiación y el modo normal de radiación. El modo normal de radiación se presenta cuando el largo de onda es mucho mayor a las dimensiones de la antena y se caracteriza por tener un campo radiado máximo en el plano perpendicular al eje y mínimo en el eje de la antena. El modo axial de radiación se presenta cuando el perímetro de la circunferencia que forma el helicoide es cercano a un largo de onda. Al contrario del modo normal se caracteriza por tener un campo radiado máximo en su eje y lóbulos menores a los lados. Las dimensiones de la antena a construir corresponden al modo axial de radiación, por lo que el análisis posterior estará enmarcado en esas condiciones. Este tipo de antenas, con ciertas condiciones dadas, poseen una polarización circular, la cual dependiendo hacia donde este definido el sentido del enrollado, puede producir polarización de mano derecha o mano izquierda (RHCP o LHCP).

3.1 Dimensiones del helicoide

El helicoide se caracteriza por las siguientes dimensiones definidas gráficamente en la figura 3:

- D = diámetro del helicoide (centro a centro del conductor)
- C = perimetro de la circunferencia del helicoide = πD
- S = espacio entre vueltas (centro a centro del conductor)
- α = ángulo de elevación = $\tan^{-1}(S / \pi D)$
- L = longitud de una vuelta
- n = número de vueltas
- A = longitud axial = nS
- d = diámetro del conductor del helicoide

John D. Kraus, profesor de la Ohio State University, estudió este tipo de antenas y llegó a las siguientes condiciones de estas variables para que la antena presente una polarización circular:

$$3/4 < C / \lambda < 4/3$$

$$S \cong \lambda / 4$$

$$12^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$$

Junto con las condiciones anteriores, la teoría establece que la antena debe utilizar un plano de tierra que al menos sea de medio largo de onda a fin de establecer una radiación principal en una sola dirección con una buena relación delante-atrás.

3.2 Patrón de irradiación teórico

La obtención del diagrama de radiación teórico está basada en el análisis de una sola espira, aproximando dicha espira como 4 antenas lineales dentro de un cuadrado de la misma área de la circunferencia del helicoide. Obtenido el diagrama para una vuelta se utiliza el llamado factor de red o de arreglo, que permite unir el efecto de un arreglo de antenas, en este caso une el efecto de cada vuelta en la espira, considerando el desfase que hay entre estas. Kraus observó que el factor de arreglo era parecido al diagrama de radiación, con lo que aproximó el efecto del campo del arreglo de espiras como

$$E_{Antena} = \left(\sin \frac{\pi}{2n} \right) \frac{\sin(n\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \cos \phi \quad (1)$$

Donde $\psi = 2\pi \left[\frac{S}{\lambda} (1 - \cos \phi) + \frac{1}{2n} \right]$.

La impedancia de esta antena es puramente resistiva y empíricamente se determinó que es $Z = 140(C / \lambda)$ Ohms. Otro valor característico es el ancho de lóbulo a media potencia (Half Power Beamwidth) que se obtiene como

$$HPBW = \frac{52\lambda^{3/2}}{C\sqrt{nS}} \text{ grados.}$$

El diagrama teórico de radiación para una antena con 3 vueltas y un paso entre vueltas de un cuarto de onda se muestra en la figura 4 junto a una medición experimental de una antena fabricada.

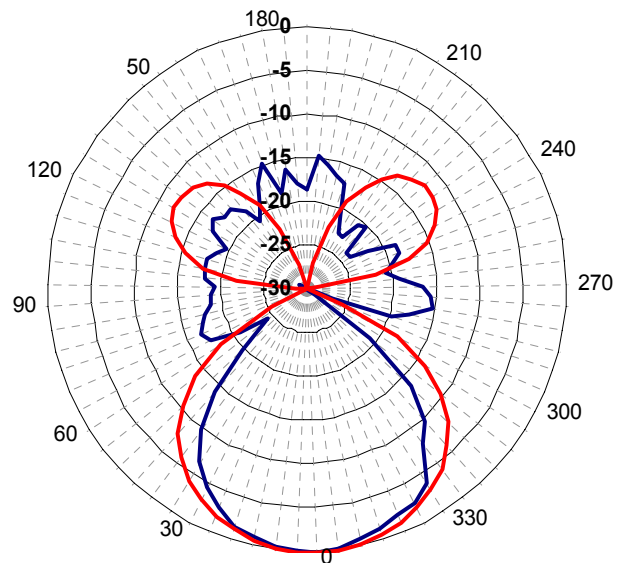


Figura 4: Diagrama de radiación teórico (rojo) y experimental (azul) para una antena helicoidal de 3 espiras a 2450 MHz.

4.- Modelos numéricos y simulación

La modelización numérica previa a la fabricación de las antenas nos permitió verificar el comportamiento de una o varias antenas en el caso ideal y predecir los efectos de modificar ciertos parámetros, esto permite prever el comportamiento frente a ciertos errores de fabricación que se pueden producir, como por ejemplo si las espiras quedan más separadas que lo estipulado, verificar el diagrama de radiación a diferentes frecuencias, etc. Luego de evaluadas las condiciones y requerimientos se procedió a utilizar un software que, en base a los lineamientos teóricos de diseño de este tipo de antena, permite tener una perspectiva relativamente completa de las características que se obtendrían dado un rango de frecuencias específico y teniendo como variable principal el número de espiras de la antena. De este modo se logró definir las características constructivas y parámetros funcionales teóricos de las antenas hélice que pueden ser utilizadas tanto en el alimentador de la parábola del enlace principal como en los enlaces de servicio. El límite acordado en la cantidad de espiras (3 espiras) tiene que ver con el espacio y peso reducidos, pero además obedece al requerimiento de baja direccionalidad anteriormente señalado y a la ventaja de que con tres espiras los lóbulos secundarios se presentan muy bajos (buena condición para evitar interferencias entre antenas).

4.1 Modelización de diagrama de irradiación

Los siguientes parámetros fueron definidos para la simulación:

Frecuencia de trabajo	: 2450 MHz
Diámetro de la espira	: 4 cm
Distancia entre las espiras	: 3 cm
Diámetro del reflector	: 18 cm
Diámetro del conductor	: 1,5 mm
Distancia entre la 1ª espira y el reflector:	1,5 cm

La figura 5 muestra el resultado obtenido para la frecuencia promedio de 2450 MHz. utilizando 3 espiras. En dicha figura observamos que la ganancia máxima obtenida es ligeramente superior a 10 dBi y que el ancho del lóbulo a 3 dB del máximo es semejante a lo previsto por la teoría (60°).

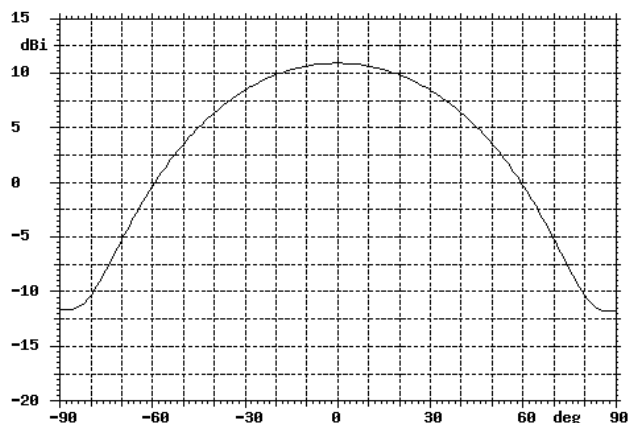


Figura 5: Diagrama de radiación modelado para 3 espiras.

4.2 Modelización de cobertura

Sobre el compartimiento de carga se deben instalar 4 antenas. Tres antenas sirven para las comunicaciones con los usuarios y la cuarta es utilizada para el enlace troncal con la estación terrena. La ubicación de las antenas de usuarios y troncal corresponden a requerimientos diferentes. La antena troncal debe ser vista desde el suelo estando el dirigible en cualquier orientación, esto con el fin de que el enlace funcione en forma ininterrumpida. Las antenas dedicadas a los usuarios son solamente tres, luego deben ser ubicadas en un arreglo de 120° de manera de cubrir sobre el terreno una zona de 360° alrededor del punto situado bajo el dirigible. Igualmente deben ser orientadas de manera de cubrir un área máxima en el sentido radial a partir de la vertical que se subtiende desde el dirigible hasta el terreno. La figura 6 muestra una simulación de posicionamiento de las antenas en el compartimiento de carga. La placa rectangular representa el vientre del compartimiento. Las tres antenas de servicio están posicionadas en los vértices de un triángulo equilátero. Los lados de dicho triángulo miden 80 cm., distancia que permite disminuir la interferencia y no definir una estructura excesivamente difícil de soportar en el módulo. La antena troncal, por su parte, está situada en el centro del triángulo, en posición normal al plano inferior del compartimiento de carga. A partir del modelo de arreglo de la figura 6, el cálculo vía software de simulación entrega en la figura 7 una previsión de las áreas de cobertura que definen las 3 zonas de servicio.

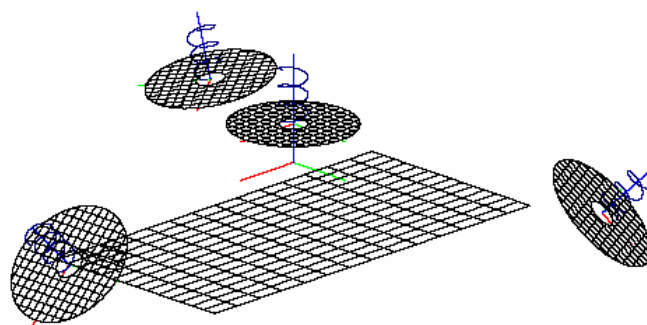


Figura 6: Disposición de las antenas en el módulo de carga.

El análisis simulado de cobertura de las antenas sobre un terreno idealmente plano fue evaluado para dos alturas diferentes del dirigible: 200m y 300m. Se buscó optimizar la cobertura dedicada a los usuarios en función de la orientación de las antenas (ángulo de inclinación con respecto a la dirección normal al plano inferior del compartimiento de carga). El análisis de cobertura fue realizado utilizando para cada antena el diagrama de radiación anteriormente visto en la figura 6. La figura 7 muestra la cobertura obtenida considerando que el dirigible está situado a 300 m de altura y las antenas tienen una orientación de 45° con respecto a la vertical. Se supone que el centro de referencia de las antenas se encuentra en proyección sobre las coordenadas (0,0). La figura representa un cuadrado de 1000 metros por lado. En éste se ha representado el campo eléctrico irradiado por las antenas dedicadas a los usuarios. Por cada zona de cobertura se representa el punto de máxima radiación y los óvalos correspondientes a -3 dB y -6 dB de dicho máximo. La figura 7 muestra que la zona cubierta podría ser aproximada a un triángulo equilátero cuyos lados miden 900m, esto significa un área total de cobertura de aproximadamente 0.35 Km cuadrados.

Se observa claramente que el máximo de radiación no se produce en la dirección del eje de la antenna (300 m del centro de referencia), sino que se produce antes (150 m del centro de referencia). Esto es fácilmente demostrable utilizando las ecuaciones que permiten calcular el campo eléctrico a una cierta distancia de la fuente. Además es comprensible si se considera que existe un compromiso entre la distancia al terreno versus la ganancia direccional asociada a la antenna.

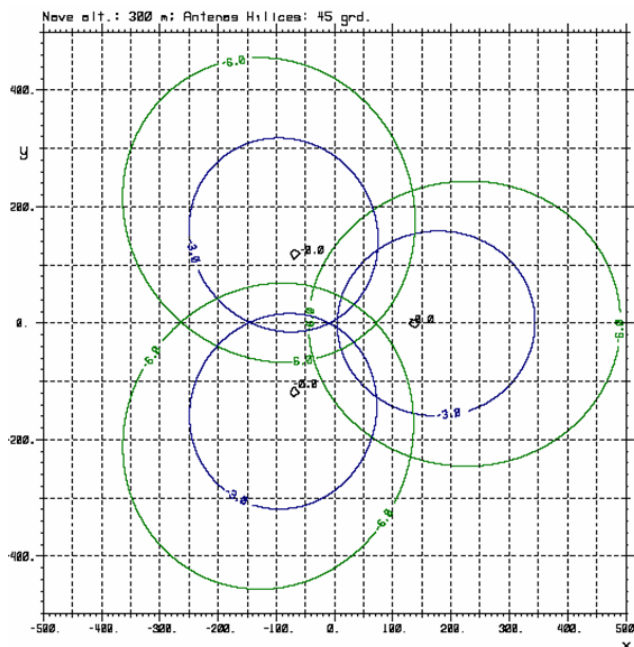


Figura 7 : zonas de cobertura para 300 metros de altura.

5.- Aspectos sobre la construcción de las antenas

Los puntos críticos en que se centraron los esfuerzos por mejorar las características de las antenas fabricadas en las 3 generaciones sucesivas dicen relación con:

- o Lograr una robusta y versátil adaptación de impedancia.
- o Minimizar el peso de cada antenna.
- o Robustecer físicamente las antenas y su dispositivo de sujeción.

La primera generación de antenas, con reflector de aluminio de 2,5 mm de espesor y 18 cm de diámetro dio como resultado un peso aproximado de 230 gramos por unidad. Las antenas presentadas en última instancia no superan los 130 gr. Existió una generación en que se utilizó para la construcción del disco reflector un material más liviano que el aluminio. Específicamente se utilizó placa de resina sintética con film de cobre normalmente utilizada en la construcción de placas circuitales electrónicas. El mal resultado de este material obligó a retomar el aluminio, esta vez con un espesor de 1 mm que resultó suficientemente rígido y de buena respuesta eléctrica para reflectores de 18 cm. de diámetro.

Los materiales utilizados para la última generación de antenas fueron los siguientes:

- Tubo en PVC de 4 cm de diámetro.
- Alambre de cobre esmaltado de 1,5 mm.
- Discos de aluminio de 18 cm de diámetro y 1 mm de espesor.
- Conectores tipo N hembra para montaje en panel (30 gr c/u).

Las modificaciones que se incorporaron a partir del modelo clásico dicen relación principalmente con el método constructivo y materiales y con el diseño de un adaptador de impedancia basado en una placa triangular de bronce de 0.1 mm de espesor, con hipotenusa de $\lambda/4$ que regulado como un plano diagonal al reflector entre la primera espira y el conector tipo N adecúa esta antenna, cuya impedancia teórica natural es cercana a los 140 ohms, a la conexión con una línea coaxial normal de 50 ohms, utilizada por los equipos que se dispondrán en el cabezal radio. La teoría de líneas de transmisión [7] indica que la expresión matemática que gobierna la relación entre una carga desadaptada (la antenna en este caso), la línea de transmisión y el adaptador de impedancias necesario, es la siguiente:

$$Z_{ADAPT} = \sqrt{Z_{ANT} \cdot Z_{LIN}}$$

Donde Z_{ANT} es la impedancia de la antenna, Z_{LIN} es la impedancia de la línea de transmisión y Z_{ADAPT} es la impedancia del adaptador adecuado.

6.- Mediciones

En este apartado se presenta un resumen de algunas de las medidas más relevantes obtenidas tanto en laboratorio como en campañas de medición que por su naturaleza debieron ser efectuadas en terreno. Para la evaluación real de las antenas construidas se contó con un instrumental digital capaz de entregar la medida de la razón de onda estacionaria ROE sobre el rango de frecuencias de interés para nuestra aplicación. Para las mediciones de patrón de irradiación se realizaron medidas en campo abierto, utilizando una fuente de radiofrecuencia estable y un analizador de espectros capaz de promediar medidas de potencia de recepción.

6.1 Método para medición de ganancia máxima

Para medir la ganancia de las antenas, se realizó el montaje simbolizado en la figura 8. Allí se utilizó el método de las tres antenas descrito en la referencia [9] para tres frecuencias diferentes, representativas de la banda de interés. El procedimiento de medida se basa en la conocida relación para el cálculo de enlace:

$$P_{RX} = P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

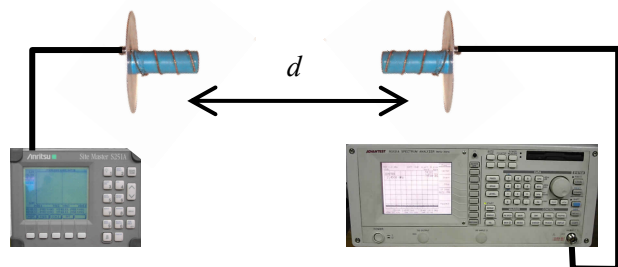
Donde,

- P_{RX} = Potencia a la salida de la antenna receptora
- P_{TX} = Potencia efectivamente irradiada por la antenna transmisora
- G_{TX} = Ganancia de la antenna transmisora [dBi]
- G_{RX} = Ganancia de la antenna receptora [dBi]
- d = Distancia entre antenas [m]
- λ = Longitud de onda

La relación (2) también es conocida como fórmula de Friis ya que considera básicamente la atenuación por propagación en el espacio libre de una onda radiada isotrópicamente, a lo cual se le agrega la ganancia direccional de las antenas transmisora y receptora. La fórmula de Friis también puede ser escrita en forma logarítmica, asumiéndose las ganancias y demás valores en decibelios tal como sigue:

$$(G_{TX})dBi + (G_{RX})dBi = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) - 10 \log \left(\frac{P_{TX}}{P_{RX}} \right) \quad (3)$$

La resolución del sistema de tres ecuaciones que resulta del método, considerando las pérdidas en los cables y conectores, además de las pérdidas promedio por reflexión de potencia (dadas por la ROE) permiten establecer las ganancias independientes de cada antena en dBi, individualizándolas adecuadamente. El resultado general obtenido en promedio luego de diversas campañas de medida sobre grupos de tres antenas indica una ganancia promedio para tres espiras muy próxima a lo indicado por la teoría, esto es: **9.8 dBi**.



TRANSMISOR
Portadora de
frecuencia fija
Pot. 3 dBm aprox.

RECEPTOR
Analizador de
Espectro, promedia
la pot. recibida

Figura 8 : Esquema de montaje para la medición de ganancia.

Finalmente, en la figura 8 se presentan las mediciones reales de la

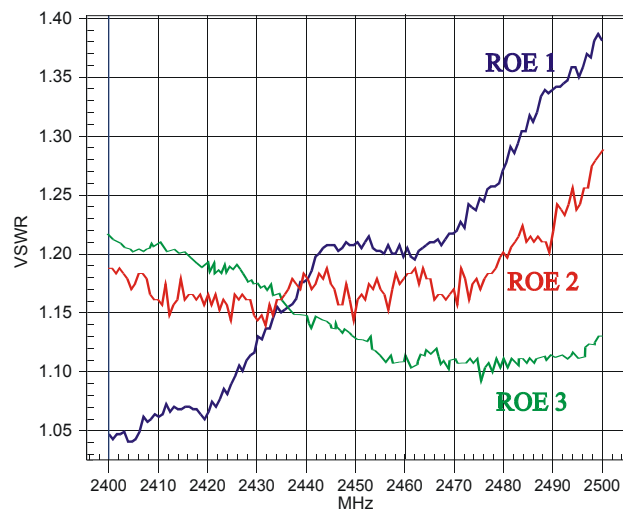


Figura 9 : Mediciones de ROE dentro de la banda de interés.

razón de ondas estacionarias logradas para cada una de las tres antenas tras la correcta calibración de sus adaptadores de impedancia. Las medidas arrojan buenos resultados de acuerdo a los requerimientos originales planteados en la sección 1.2 ($ROE < 1.5$). Similares medidas efectuadas sobre antenas comerciales tipo parche en el laboratorio no superan las prestaciones y flexibilidad de calibración logradas con este modelo.

7.- Conclusiones y trabajo futuro

El trabajo futuro que resulta necesario plantear a la luz de los resultados obtenidos deberá contemplar la medición de interferencias entre antenas (compatibilidad electromagnética), optimización de los materiales y diseño para disminuir el peso y aumentar la resistencia mecánica, construcción de coberturas

adecuadas para la intemperie, experimentación con otros modelos de adaptador de impedancia y efectuar campañas de medición de ganancias y cobertura en distintas condiciones para determinar los valores promediados con mayor estabilidad.

Agradecimientos

El presente trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto FONDEF D03i-1034 "Aeroplataforma Globo-Antena, como base de un sistema de radiocomunicación digital para redes inalámbricas IP." Financiado por CONICYT. Las campañas de medición fueron desarrolladas tanto en el Laboratorio de Radiocomunicación Digital del campus Macul, UTEM y también en el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile en Peldehue, Región Metropolitana.

Referencias

- [1] The ARRL Handbook 2003 for Radio Amateurs. The American Radio Relay League, Newington, U.S.A., 2003.
- [2] J.D. Kraus, "Antennas", Ed. McGraw-Hill, New York, 1950.
- [3] J.D. Kraus y D.A. Fleish, "Electromagnetismo con Aplicaciones", Ed. McGraw-Hill Interamericana, 1999.
- [4] J.D. Kraus, "Helical Beam Antenna", Electronics, Vol. 20, pp. 109-111, April 1947. Ants. Prop., AP-25, 913, November 1977.
- [5] J.D. Kraus, "Helical Beam Antennas for wide-band applications", Proc. IRE, Vol. 36, pp. 1236-1242, October 1948.
- [6] J.D. Kraus, "A 50-ohm Input Impedance for Helical Beam Antennas", IEEE Trans. Ants. Prop., AP-25, 913, November 1977.
- [7] 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.
- [8] Angel Cardama A., "Antenas", Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Impreso por Alfaomega Grupo Editor, S.A., Mexico, 2000.
- [9] IEEE Standard, "Test Procedures for Antennas", ANSI/IEEE Std. 149-1979, section 12. Rev. 1980.

Reseña biográfica

H. Durney W. es académico del Departamento de Electricidad de la Universidad Tecnológica Metropolitana (Chile), donde el año 1999 obtuvo su titulación en el área de Ingeniería Electrónica y entre los años 2000-2004, completó sus estudios de Doctorado en Teoría de la Señal y Comunicaciones en la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Sus áreas de interés principal son el procesamiento digital de señales y la electrónica de radiocomunicaciones.

J.Y. Gautier C. se desempeña actualmente como especialista en telecomunicaciones en el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile. Se graduó en París Francia en la universidad Pierre et Marie Curie en el año 1987 en la especialidad de Sistemas automáticos y microondas. Entre los años 1998 – 2000, trabajó en Alcatel Space Industries como responsable de los análisis de Compatibilidad Electromagnética RF.

Fernando Ulloa V. recibe el diploma de Ingeniero Electrónico en la Universidad Tecnológica Metropolitana (1992) y el grado de PhD. Ing. Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Cataluña (2003). Profesor Asociado 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.