

Mecanismo de posicionamiento en Azimut y Elevación para la optimización de radioenlaces punto a punto basado en algoritmos de búsqueda espectral y técnicas de muestreo

Ricardo A. Cajo, Steve R. Zuñiga, Víctor M. Huilcapi

Grupo de Investigación en Sistemas de Telecomunicaciones (GISTEL), Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana, Chambers 227 y 5 de Junio, Guayaquil, Ecuador.

Autor para correspondencia: rcajo@ups.edu.ec

Fecha de recepción: 21 de septiembre 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre 2014

RESUMEN

En este trabajo se presenta un algoritmo de búsqueda espectral en Azimut y Elevación para la óptima recepción de señal RF en radioenlaces punto a punto, el cual se describe. Para ello, se ha construido un mecanismo experimental que permite adquirir la intensidad de radiación en Azimut y Elevación para diversas posiciones angulares basado en técnicas de muestreo y medición en campo lejano. Estas técnicas proporcionan un método rápido y simple para la adquisición de datos; se ha desarrollado un software para ejecutar este procedimiento de medición y búsqueda espectral, el cual permite la eficiente determinación y posicionamiento espacial en el punto óptimo localizado. Se propone un ejemplo de un radioenlace entre edificios con antenas patch alineadas con el mecanismo propuesto, luego se evalúa su desempeño a través de un presupuesto energético con modelos de propagación teóricos muy conocidos.

Palabras clave: Radioenlaces, optimización, modelo de propagación, presupuesto energético, campo lejano, técnicas de muestreo, antena patch.

ABSTRACT

In this paper an algorithm of spectral search in Azimuth and Elevation to obtain an optimal reception of RF signals in point-to-point radio links is described. An experimental mechanism that allows acquiring the radiation intensity in Azimuth and Elevation for various angular positions based on field sampling and measuring techniques, was built. These techniques provide a fast and simple method for acquiring data; software was developed to execute this measuring and spectral search procedure, which allows an efficient determination and space positioning in the located optimal point. An example of a radio link between two buildings with patch antennas aligned with the proposed mechanism was used, and the performance evaluated through the energy budget with theoretical well known models of propagation.

Keywords: Radio links, optimization, propagation model, energy budget, far field, sampling techniques, patch antenna.

1. INTRODUCCIÓN

El buen diseño y dimensionamiento de los radioenlaces dependen de cuan certero sea el presupuesto energético y el alineamiento de los equipos de transmisión y recepción. He aquí la principal importancia de estas consideraciones que están relacionadas directamente con la eficiencia y la calidad de servicio de la información. La calidad de la señal que se recibe depende de la dirección óptima de las dos estaciones. Si las dos antenas son direccionales y están apuntando uno hacia el otro de manera óptima, la concentración más alta de la señal será recibida a través del lóbulo principal y habrá una

degradación o atenuación mínima (Goldsmith, 2005; Alain, 2003), siendo este tema de gran interés en investigaciones sobre algoritmos de optimización y búsqueda con el objetivo de minimizar el tiempo de alineamiento en los enlaces, por esto, se busca diseñar sistemas automáticos para alineamientos de antenas como se indica en (Hassan, 2011).

En la actualidad el ajuste y comprobación del alineamiento entre antenas de los sistemas de radiocomunicaciones se lo realiza a través de métodos desarrollados por los técnicos instaladores y técnicas clásicas de alineamiento (Grace, 2000), en las cuales se utiliza herramientas como brújulas, GPS, acelerómetros, radio transmisores y equipos de seguridad, en el caso de radioenlaces a larga distancia en donde no se puede observar el extremo transmisor o receptor se utiliza software de cálculo de enlaces como ICS Telecom, Radio Mobile, entre otros.

Bajo este contexto es que en los sistemas de radiocomunicación existen problemáticas tales como pérdida de información, uso innecesario de equipos, recurrentes desvanecimientos, mayores atenuaciones y mala calidad en el servicio al usuario final (Goldsmith, 2005). Para lo cual se recurre a personal humano para mantenimientos y calibraciones continuos, lo que implica pérdida de tiempo y recursos económicos. En base a estos problemas se propone un mecanismo de posicionamiento en Azimut y Elevación basado en algoritmo de búsqueda espectral y técnicas de muestreo, para optimizar el tipo de enlace punto a punto, donde se efectúan consideraciones de efectos de entornos según los estándares de recomendación (ITU-R REC P.1411-4, 2007; ITU-R REC P.525-2, 1994).

Concluida la etapa de muestreos en Azimut y Elevación se aplica técnicas estadísticas para verificar la confiabilidad y exactitud de los datos adquiridos, continuando con la aplicación del algoritmo de búsqueda espectral para localizar el punto óptimo de recepción en coordenadas esféricas en la cual la antena receptora será ubicada. Para evaluar la efectividad del algoritmo propuesto, se realiza una comparación utilizando un presupuesto energético del enlace utilizando técnica line of sight y el mecanismo planteado.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera: Sección 2, describe el escenario para el análisis energético y consideraciones para realizar las mediciones y obtener las coordenadas de apuntamiento de la antena receptora. En la Sección 3 se muestra la descripción del mecanismo en donde se analizan las variables de interés a medir, continuando con la formulación matemática y propuesta de un algoritmo para la dirección de apuntamiento, en la Sección 4 se realiza el análisis de los resultados y evaluación del desempeño del algoritmo en el mecanismo propuesto. Finalmente, las conclusiones se resumen en la Sección 5.

2. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El escenario de experimentación consiste en un par de antenas ubicadas en dos edificios de diferentes alturas h_1 y h_2 , separados a una distancia d , el uno con respecto al otro; ambas desplegadas dentro de un área geográfica limitada y sin obstáculos. Cada antena opera en la misma banda de frecuencias y se ubican a diferentes alturas sobre cada edificio h_{Rx} , h_{Tx} receptor y transmisor respetivamente; ambas antenas se encuentran no alienadas, como se aprecia en la Fig. 1.

Cada antena está ligada a un sistema transmisor T_x y uno receptor R_x , del primero se emite una potencia P_{Tx} que es recibida en el receptor P_{Rx} . La distancia efectiva en línea recta entre antenas x es determinada por trigonometría básica, y de acuerdo al criterio de variación de fase aplicado en la mayoría de situaciones prácticas, la separación mínima está fundamentada en consideraciones de campo lejano o zona de Fraunhofer (IEEE Standard Test Procedures for Antennas, 2008) y es definida por la siguiente ecuación:

$$x > \frac{2l_{max}}{\lambda} \quad (1)$$

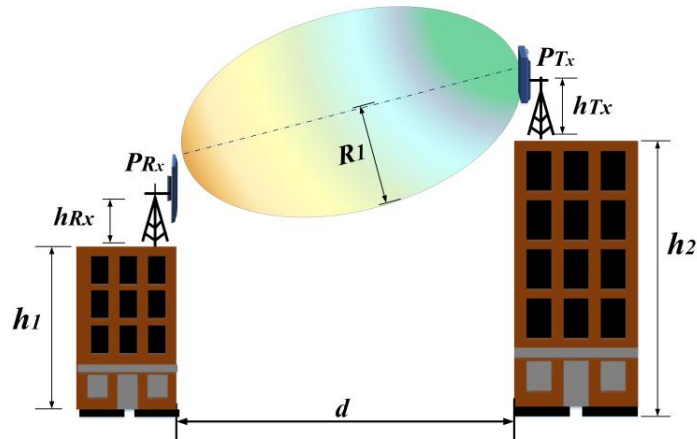


Figura 1. Escenario propuesto.

donde l_{max} es la dimensión longitudinal máxima de la antena y λ la longitud de onda de la señal. La altura de las antenas a considerar se basa en el despeje de la primera zona de Fresnel:

($R_1 = 17.32 \sqrt{\frac{x_1 \cdot x_2}{x \cdot f}}$). Sobre esa base se procede a emitir una señal con potencia P_{Tx} , que es recibida en el receptor P_{Rx} de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{CCTx} + G_{Tx} - L_{PL} + G_{Rx} - L_{CCRx} \quad (2)$$

donde L_{CCTx} y L_{CCRx} son las pérdidas en cable y los conectores en transmisor y receptor respectivamente, G_{Tx} y G_{Rx} son las ganancias de las antenas transmisora y receptora.

3. DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO

En esta sección, un mecanismo de posicionamiento en Azimut y Elevación es propuesto, en el cual el sistema transmisor T_x es fijo y el receptor R_x gira. Del primero se emite una señal con potencia P_{Tx} , esta potencia es captada por el receptor P_{Rx} . Primero inicia tomando muestras en azimut ϕ_m , partiendo en 0° hasta los 180° permitiendo tomar un total de m muestras no aleatorias por cada giro de 180° hasta un total de M giros completos, como se muestra en la Fig. 2.

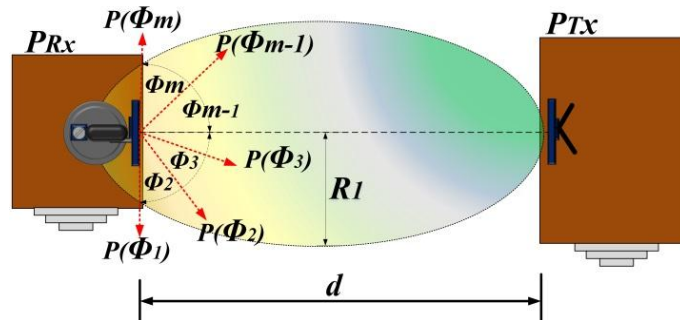


Figura 2. Mecanismo propuesto vista superior muestreo en azimut.

Luego continúa con el muestreo en elevación θ_n , iniciando en -20° hasta los 20° , permitiendo tomar un total de η muestras por cada giro de 40° hasta un total de N giros completos, como se muestra en la Fig. 3.

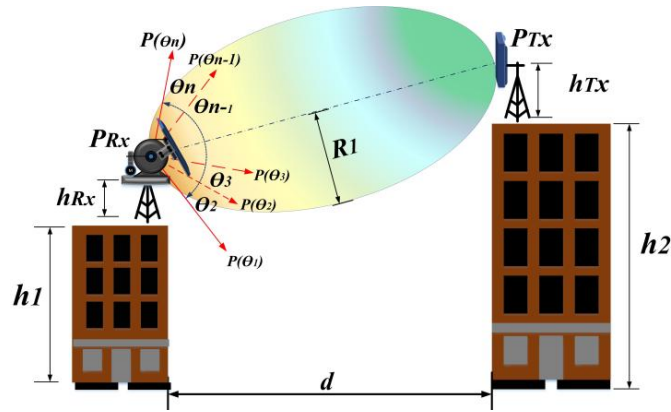


Figura 3. Mecanismo propuesto vista lateral muestreo en elevación.

3.1. Formulación matemática

Para describir el funcionamiento del mecanismo, una breve representación matemática es propuesta a continuación. El conjunto de ángulos correspondientes a cada muestra en Azimut es representado como $\phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m\}$. El conjunto de potencias para la muestra k en el giro l es dado por:

$$P_{Rx}(\theta) = \{P_{Rx\phi}(k, l) / 1 \leq k \leq m \wedge 1 \leq l \leq M\} \quad (3)$$

De la misma manera se define el conjunto de ángulos correspondientes a cada muestra en elevación $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$, así como el conjunto de potencias para la muestra i en el giro j es dado por:

$$P_{Rx}(\theta) = \{P_{Rx\theta}(i, j) / 1 \leq i \leq n \wedge 1 \leq j \leq N\} \quad (4)$$

El nivel de potencia promedio recibido en Azimut (5) y Elevación (6) para cada muestra luego de M y N giros respectivamente es dado por:

$$\bar{P}_{Rx}(k) = \frac{\sum_{l=1}^M P_{Rx\phi}(k, l)}{M} ; 1 \leq k \leq m \quad (5)$$

$$\bar{P}_{Rx}(i) = \frac{\sum_{j=1}^N P_{Rx\theta}(i, j)}{N} ; 1 \leq i \leq n \quad (6)$$

Así también la desviación estandar en cada punto de muestra dados M y N giros es

$$\sigma^2(k) = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M (P_{Rx\phi}(k, l) - \bar{P}_{Rx}(k))^2 \quad (7)$$

$$\sigma^2(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{Rx\theta}(i, j) - \bar{P}_{Rx}(i))^2 \quad (8)$$

3.2. Descripción del algoritmo

El algoritmo se ejecuta localmente en un equipo electrónico programable y se basa en técnicas de muestreo no aleatorio. El objetivo del algoritmo es controlar la posición actual del receptor a través de los valores de potencia máxima en Azimut y elevación; el pseudocódigo se describe a continuación:

Datos: Máxima potencia recibida en el receptor en cada posición angular.

Resultados: Gráficos en Azimut y elevación en plano cartesiano de los valores de potencia vs ángulo

1. Inicialización de variables: $\theta \leftarrow 20^0$, $P_{Rxmax} \leftarrow 0$, $\theta[4000] \leftarrow 0$
2. $P_{Rx\theta}[4000,4000] \leftarrow (0,0)$, $P_{Rx\phi}[2000,2000] \leftarrow (0,0)$, $\bar{P}_{Rx}[i] \leftarrow 0$
3. $i \leftarrow 0$, $l \leftarrow 0$, $m \leftarrow 2000$, $n \leftarrow 4000$, $M \leftarrow 4000$, $M \leftarrow 0$, $N \leftarrow 0$, $umbral$
4. Ingrese el valor de M , N y $umbral$
 Donde M , N son el número de giros en Azimut y elevación respectivamente, $umbral$ valor de potencia mínima de recepción.
5. **while** $máximo < umbral$; Consulta valor de potencia actual
6. **while** $k \leq m$; Consulta muestra actual en Azimut
7. $\phi = \phi + 0.18^0$; Incrementar y posicionar en Azimut
8. $k = k + 1$; Contador de muestra
9. $\phi[k] = \phi$;
10. $P_{Rx\max} = máxima_potencia$; Guardar ángulo de potencia máxima medida
11. $P_{Rx\phi}[k,l] = P_{Rx\max}$; Guardar valor de potencia máxima de la muestra y giro actual
12. **end_while**
13. $\bar{P}_{Rx}[k]$; Calcular el nivel de potencia promedio en Azimut
14. $[máximo, \phi] = \text{Buscar_Maximo}(\bar{P}_{Rx}[k])$; Retorna la potencia máxima y su posición
15. **if** $máximo < umbral$ **then**
16. Incrementar_decremantar_elevacion
17. $k = 0$;
18. **end_if**
19. **end_while**
20. **for** $l = 1$ **to** M **con incremento** $+1$
21. Realiza varios muestreos en Azimut según los giros indicados en M en la posición θ actual, obtiene la media y búsqueda de máxima potencia con su ubicación ϕ
22. **end_for**
23. Gráfico $\bar{P}_{Rx}[k]$ vs $\phi[k]$, posicionamiento en Azimut, ϕ
24. **for** $j=1$ **to** N **con incremento** $+1$
25. **while** $i \leq n$; Consulta muestra actual en elevación
26. $\theta = \theta - 0.01^0$; Decrementar y posicionar en elevación
27. $i = i + 1$; Contador de muestra
28. $\theta[i] = \theta$;
29. $P_{Rx\max} = máxima_potencia$; Guardar ángulo de potencia máxima medida
30. $P_{Rx\theta}[l,j] = P_{Rx\max}$; Guardar valor de potencia máxima la muestra y giro actual
31. **end_while**
32. $i = 0$;
33. **end_for**
34. $\bar{P}_{Rx}[i]$; Calcular el nivel de potencia promedio en elevación
35. $\theta = \text{Buscar_Maximo}(\bar{P}_{Rx}[i])$; Posicionamiento en elevación
36. Gráfico $\bar{P}_{Rx}[i]$ vs $\theta[i]$

Figura 4. Pseudocódigo del algoritmo.

El algoritmo se desarrolla en forma secuencial y funciona de la siguiente manera: Primero, se inicializan las variables (líneas: 1, 2 y 3) seguido se ingresa las cantidades de muestras en Azimut,

elevación y *umbral* (línea: 4), luego se efectúa una búsqueda iterativa en Azimut para la potencia mayor al *umbral* (línea: 5). Dentro de cada giro l se realizan 2000 muestras, para ello se aplica una condicionante que se ejecuta k veces hasta completar las m muestras (líneas: 6) permitiendo tomar una muestra cada $0,18^\circ$ hasta completar las 2000 por cada giro de 360° (línea: 7). Seguido se crea un arreglo $\theta[k]$, en donde se guarda el ángulo θ en el que se toma la muestra k (líneas: 8 y 9). Cabe indicar que en cada muestra se busca el valor máximo de potencia recibida $P_{Rx\ max}$ y se lo almacena en un arreglo de potencia instantánea $P_{Rx}[k,l]$ (líneas: 10 y 11), con estos valores se calcula la media (línea: 13), seguido se busca la máxima potencia y ubicación que se midió (línea: 14), según este valor de potencia se verifica si cumple con la condición de *umbral* sino se varía en elevación y se vuelve a repetir el proceso (líneas: 15 -18). Una vez que se cumple la condición del umbral se realiza el muestreo en Azimut dependiendo del valor M , el proceso se repetirá iterativamente; una vez realizados los giros se calcula la potencia promedio recibida en cada muestra a través de la expresión (5) (líneas: 20 y 21). Con los valores de la media se busca la máxima potencia y se posiciona en Azimut según el ángulo en donde se localizó este valor, luego se realiza la gráfica con los datos obtenidos (línea: 23). Seguido se efectúa el muestreo en elevación cuyo proceso es similar al anterior, una vez terminado esto, se calcula la media de las potencias recibidas (línea: 34) y se busca la potencia máxima, se posiciona en elevación en el ángulo que se encontró este valor (línea: 35) y por último se realiza la gráfica con los datos obtenidos (línea: 36).

4. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

4.1. Parámetros de la experimentación

Se toma como referencia el escenario de la Fig.1 para evaluar el desempeño del algoritmo y mecanismo propuesto. A continuación los parámetros a considerar se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de enlace

Elementos	Valor
Frecuencia, f	5,32 GHz
Longitud de onda, λ	0,056 m
Distancia de enlace, x	180 m
Potencia del transmisor, P_{Tx}	25 dBm
Pérdidas en cables y conectores T_x, L_{CCTx}	-0,5 dB
Ganancia de la antena T_x, G_{TX}	23 dBi
Pérdida de espacio libre (L_{PL})	-92.023 dBm
Ganancia de la antena Rx, G_{Rx}	23 dBi
Pérdida en cables y conectores Rx, L_{CCRx}	-54,5 dB

Estos parámetros se utilizan en un modelo de propagación teórico muy conocido como es el de espacio libre (Seybold, 2005), debido a que se ajusta a nuestro escenario planteado.

4.2. Resultados de experimentación

Las estrategias para medir la potencia en el receptor han sido evaluadas teniendo en cuenta el rango de operación de la antena patch de 4,9 GHz a 5,8 GHz, es importante la selección de un adecuado canal y potencia de transmisión para evitar posibles interferencias y reflexiones (IEEE Standard Test Procedures for Antennas, 2008), por lo tanto se realizó un análisis espectral de potencia encontrando que en el canal de 5,32 GHz existe una mínima interferencia de bandas adyacentes. Continuando con el cálculo del nivel adecuado de potencia en el receptor a través de un presupuesto de enlace del escenario propuesto en la Fig.1, donde la pérdida en espacio libre (L_{PL}) se obtuvo a través de la ecuación de Friis (Seybold, 2005), la pérdida de los cables y conectores en transmisión y recepción

respectivamente L_{CCTx} , L_{CCRx} se midió utilizando un equipo electrónico programable de National Instruments, PXI Express.

La potencia en el receptor P_{RX} óptima cuando ambas antenas se alinean correctamente se la obtuvo mediante el presupuesto de enlace formulado en la expresión (2), dando un valor de $P_{RX}(teórica_óptima) = -76.024 \text{ dBm}$.

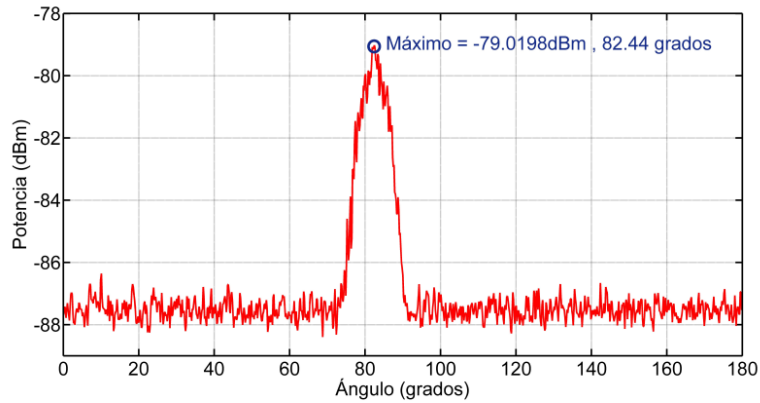


Figura 5. Representación en plano cartesiano de la potencia instantánea del barrido en Azimut.

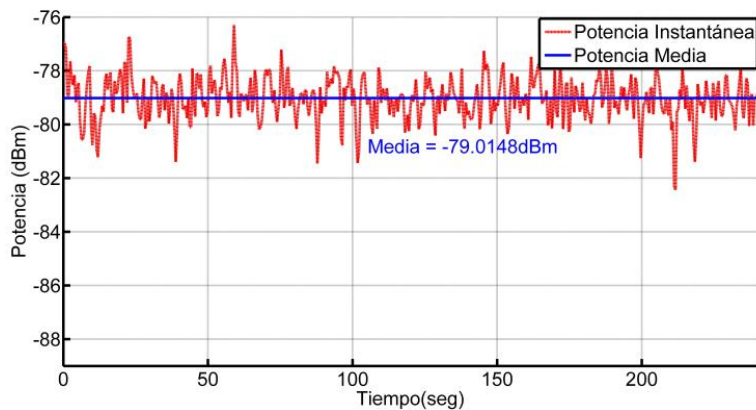


Figura 6. Representación de la Potencia Instantánea Vs Potencia Media en posición de máxima recepción en Azimut.

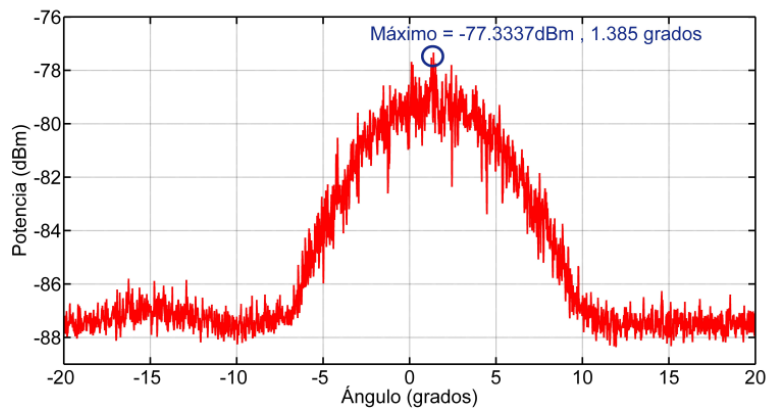


Figura 7. Representación en plano cartesiano de la potencia instantánea del barrido en Elevación

En esta sección se muestran los datos experimentales obtenidos a través del mecanismo y algoritmo propuesto. Los resultados se publican en las Figs. 5, 6, 7 y 8 para ambas mediciones tanto en

Azimut como elevación en coordenadas cartesianas. En particular el algoritmo muestra en forma gráfica y numérica los valores de potencia instantánea, máximos y medias obtenidas de los barridos en Azimut y elevación. Las Figs. 5 y 7 expresan la potencia instantánea obtenida del barrido en Azimut y elevación con su máximo respectivamente, mientras que en las Fig.6 y 8 se calcula la potencia media de la señal recibida de 1000 muestras tomadas en la posición de Azimut y elevación en donde se localizó los máximos. De la Fig.8 se obtiene que el nivel de potencia media en el receptor en la ubicación óptima encontrada en Azimut y elevación es $P_{RX}(teórica_óptima) = -76.024 \text{ dBm}$, mientras que a través de los cálculos teóricos se obtiene una $P_{RX}(medida_óptima) = -78.923 \text{ dBm}$, consiguiendo así una aproximación del 96%, lo cual muestra la viabilidad y eficiente desempeño del algoritmo y mecanismo propuesto.

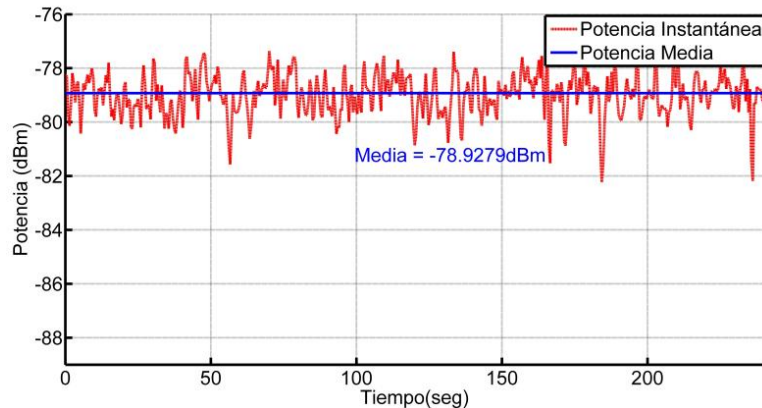


Figura 8. Representación de la Potencia Instantánea vs Potencia Media en posición de máxima recepción en Elevación.

5. CONCLUSIONES

En el presente artículo se diseñó un mecanismo y algoritmo para el óptimo posicionamiento en Azimut y elevación para antenas ,aplicable a radioenlaces punto-punto, tras la evaluación del desempeño de estos a través de medición de la potencia en recepción y con la ayuda del modelo de propagación en espacio libre, concluimos que el procedimiento y algoritmo desarrollado es viable debido al buen desempeño en el posicionamiento de la antena en el radioenlace , con lo cual se pueden desarrollar más estudios sobre esta área, brindando así la oportunidad a los grupos de investigación para el diseño y construcción de estos sistemas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil por permitir el uso de sus laboratorios. Este trabajo fue apoyado en parte por el Grupo de Investigación en Sistemas de Telecomunicaciones (GISTEL) de la UPS-Sede Guayaquil.

REFERENCIAS

- Goldsmith, A., 2005. *Wireless Communications*. Cambridge University Press, ISBN0521837162.
 Grace, M., R. Abou-Jaoude, K. Noujeim, D. Bradley, 2000. *76 GHz Radar Antenna Alignment System*. 30th European Microwave Conference, 1(4).

- Hassan, A.K., A. Hoque, A. Moldsvor, 2011. *Automated Micro-Wave (MW) antenna alignment of Base Transceiver Stations: Time optimal link alignment*. Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC) , 1(5), 9-11.
- IEEE Standard Test Procedures for Antennas, 2008. *IEEE Std. 149™-1979*, 5-9.
- ITU-R REC P.1411-4, 2007. *Propagation data and prediction methods for the planning of short range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz*. ITU, Geneva, Switzerland, 1-6.
- ITU-R REC P.525-2, 1994. *Calculation of free space attenuation*. ITU, Geneva, Switzerland.
- Seybold, J., 2005. *Introduction to RF propagation* (1^a ed.), Editorial John Wiley & Sons, New Jersey, 208-216.
- Tougas, A., S. Einhor, 2003. *MicroWorlds EX Robotics*. LEGO RCX Edition, ISBN 2-89371-536-2.