

Marco Baeza Soto

Universidad Tecnológica Metropolitana
Marco_baeza_soto@hotmail.com

Dr. Ing. Fernando Ulloa Vásquez

Universidad Tecnológica Metropolitana
fulloa@utem.cl

ESTUDIO DE TRANSFERENCIA BINARIA (Throughput binario) en función de modulaciones digitales de alta eficiencia espectral para sistemas basados en aeroplataformas móviles-cautivas de mediana altitud, tipo MAPs.

RESUMEN

Con base en la actual problemática que mantienen las diferentes entidades de telecomunicaciones, que brindan servicios de telefonía celular en relación al número de usuarios máximos por celda y la tasa binaria utilizada por cada una de ellos, se realizaron estudios de throughput binario para canales codificados y no-codificados en relación a la ganancia de código y números de usuarios erlang. Esto en función de un sistema de telefonía celular de segunda generación GSM/GPRS para la ciudad de Santiago de Chile con base en una aeroplataforma de mediana altitud tipo MAPs. Así se logran tasas binarias aproximadas de 26,5 Kbps para las tres zonas de cobertura de interés (UAC/SAC/RAC). Asimismo, se definen los ángulos de elevación del usuario para cada zona y su respectivo canal, ya sea Gaussiano/Ricean, Ricean o Rayleigh. También se realiza una comparación con una estructuración en basada en un sistema de espectro ensanchado CDMA con el objetivo de aumentar el número total de usuarios.

ABSTRACT

According to the current problematic that telecommunication entities involves based on cellular telephone systems for the total amount user per cell and maximum throughput, studies was realized based coding channels and no-coding channel according to code gain and actives users for cellular telephone system of second generation GSM/GRPS to Santiago city of Chile based Medium Altitude Platform Station MAPs, achieving about 26,5 Kbps bit rate per user for the three coverage zones (UAC/SAC/RAC), in the same way showing elevation angles per user in the coverage zones and their respective channels like a Gaussian/Rice, Rice or Rayleigh. Finally comparative is realized for CDMA system in order to increase the total number of users.

Palabras clave: **Throughput binario, Erlang, CDMA.**

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la comunicación digital inalámbrica en banda ancha, la necesidad actual de aumentar la velocidad de transmisión en una comunicación, los inconvenientes geográficos para una comunicación con LOS (Line of Sight) y la problemática del número de usuarios máximos dentro de un canal de transmisión, son los factores que motivan el desarrollo de este trabajo.

En Chile, existen variadas entidades que ofrecen servicios de comunicación inalámbrica terrestre. Sin embargo, conviven con los problemas geográficos del país, que impiden, en la mayor parte de los casos, una comunicación con LOS. Dicho inconveniente es solucionado por la tecnología MAPs (Medium Altitude Platform Station), la cual consiste en una aeroplataforma móvil-cautiva de mediana altitud o “Globo Antena”, situado a 4 mil metros de altura, permitiendo una comunicación inalámbrica digital en banda ancha con LOS, que proporciona un enlace más fluido con notables ventajas en velocidad, relación S/N (Señal/Ruido), eficiencia espectral, ayuda y cobertura en los momentos de emergencias y catástrofes.

Cabe destacar que existe una gran ventaja de los sistemas tipo MAPs, respecto a los actuales radio-enlaces terrestres con base en antenas, debido a la componente LOS presente en este canal. Esta generan una mejor recepción y asimismo una mayor velocidad de información, lo que implica un escenario de trabajo con un canal de distribución Gaussiana o, en estricto rigor, con una distribución Ricean.

1.1. Tecnología HAPS

La tecnología llamada HAPS se traduce en un globo estratosférico aerostacionario o móvil, que comprende tres fases diferenciadas, princi-

palmente, en la altitud de cada una ellas [1], [2].

- HAPs (High Altitude Platform Station): comprende una altura cercana a los 20 km. y un diámetro de cobertura que sobrepasa los 100 km. de longitud al utilizar una carga útil superior a 100 Kg en algunos casos [3].
- MAPs (Medium Altitude Platform Station): comprende una altura de 4 mil metros y un diámetro de cobertura de [40-50] km. aproximadamente.
- LAPs (Low Altitude Platform Station): trabaja a una altura cercana a los 400 metros y mantiene un radio de cobertura aproximado a los 300 metros.

A medida que aumentamos la altura de trabajo, el viento comienza a ser un factor de importancia considerable para cualquier aeroplataforma móvil-cautiva. La fuerza que ésta ejerce sobre la aeroplataforma es crítica, dentro de ciertos rangos de elevación.

La figura 1 ilustra la variación de la velocidad del viento respecto a la altura de trabajo. En ésta se aprecia que existe un rango que no es viable para este tipo de aeroplataformas [3].

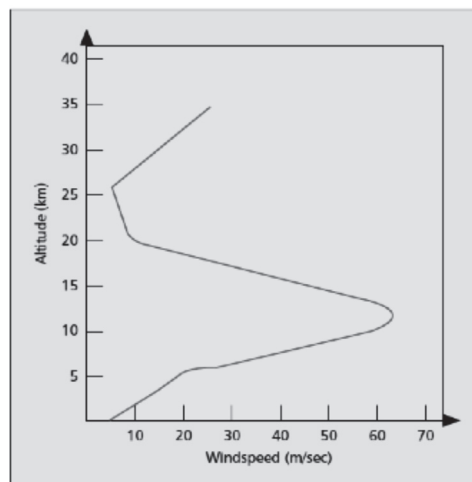


FIGURA 1 VELOCIDAD DEL VIENTO
VERSUS ALTURA DE TRABAJO [6].

Asimismo, la ITU-R (International Telecommunication Union) [1], [2] definió tres zonas de coberturas en base a la distancia hacia la aeroplataforma y el ángulo de elevación del usuario, como se puede apreciar en la figura

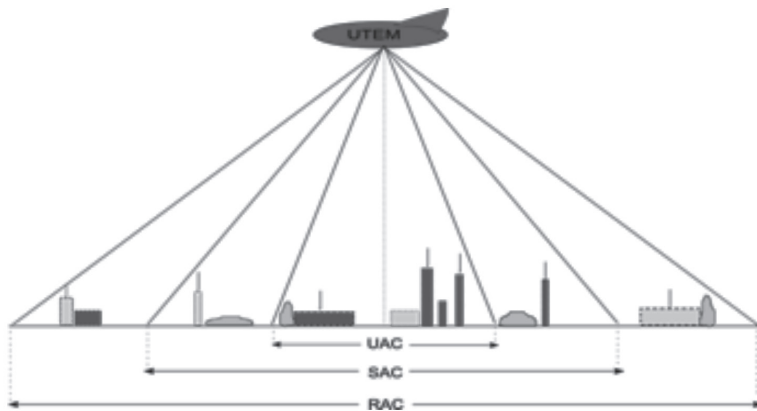


FIGURA 2 ZONAS DE COBERTURA PARA TECNOLOGÍA MAPS [39].

Donde:

- UAC: $[90^\circ - 30^\circ] - [0 - 6,9]$ km
- SAC: $[30^\circ - 15^\circ] - [6,9 - 14,9]$ km
- UAC: $[15^\circ - 11,3^\circ] - [14,9 - 20]$ km.

2. MODELO DE CANAL

El medio físico por el cual la señal es transportada genera diferentes tipos de perturbaciones o desvanecimientos que resultarán en una baja relación señal a ruido S/N o en recepción, disminución de la tasa binaria, o en su defecto, una tasa de error irreducible. Por lo tanto, se hace necesario realizar un profundo estudio del comportamiento del canal, ya sea en banda ancha o banda estrecha.

2.1. Caracterización en banda ancha

En este escenario, el receptor recibirá una sumatoria de señales desfasadas y de amplitud con comportamiento estocástico debido a los

multicaminos generados por el canal y por los efectos de reflexión [6], difracción, dispersión, etc. En relación a la dispersión no correlada de sentido amplio WSSUS impuesta por P. Bello en 1969, esta contempla la no correlación de las señales multicaminos y su comportamiento estacionario dentro del canal, implicando una dispersión temporal como se aprecia en la siguiente expresión:

$$r(t) = \sum_n \alpha_n(t)S[t - \tau_n(t)] \quad (1)$$

Donde τ_n es el desfase de una señal multicamino y α_n la amplitud de comportamiento estocástico.

2.2 Caracterización en banda estrecha

El constante movimiento de los elementos pertenecientes al canal produce una variabilidad temporal del medio perturbador o canal, generando un proceso multiplicativo de desvanecimientos a la señal transmitida [6]. Asimismo, un ruido blanco aditivo gaussiano AWGN asumido en recepción, como se aprecia en la siguiente expresión.

$$r(t) = [s(t) * f(t)] + n(t) \quad (2)$$

Donde $r(t)$ es la señal recibida luego de su viaje por el canal, $s(t)$ señal transmitida, $f(t)$ desvanecimientos generados por el canal y finalmente $n(t)$ constituye el AWGN asumido en recepción.

No obstante, el brusco cambio espacial entre transmisor y receptor, genera profundas pérdidas de la energía en el bit., y en su peor de los casos, tasas de error irreducibles en base a desvanecimientos de tipo rápido o, en el mejor de los casos, de tipo lento como se aprecia en figuras 3 y 4.

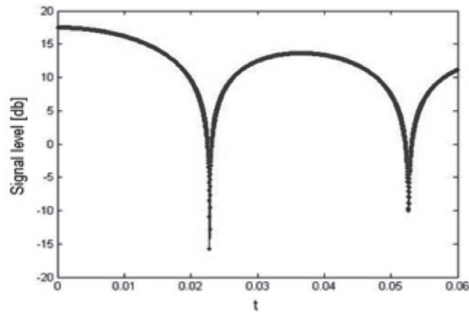


FIGURA 3 DESVANECIMIENTOS LENTOS PARA UN MÓVIL A 20KM/H CON F=1900 MHZ..

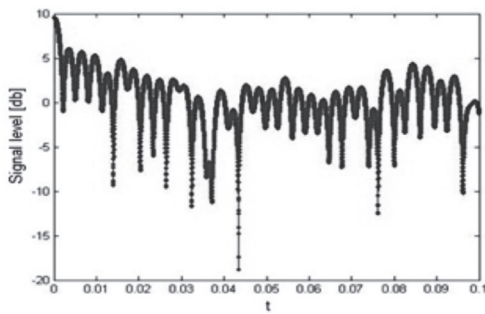


FIGURA 4 DESVANECIMIENTOS RÁPIDOS PARA UN MÓVIL A 100 KM/H CON F = 1900 MHZ.

La movilidad del usuario genera un corrimiento en frecuencia de la portadora. Por tanto, se genera una tasa de desvanecimientos con base en el efecto doppler debido a la velocidad del móvil, por el ángulo de elevación del usuario y la longitud de onda de la señal, como se aprecia en la expresión:

$$f_d = \frac{\Delta\theta}{2\pi\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta) \quad (3)$$

Se observa, entonces, que a medida que el ángulo de elevación del usuario móvil tiende a su máximo. E, es decir 90°, la tasa de fading f_d tiende a cero.

3. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN

En escenarios donde la señal en recepción no mantiene un estándar de calidad de servicio QoS

(Quality of Service), v. Vale decir, no satisface los requerimientos energéticos para mantener una velocidad de información dada, se hace necesario utilizar alguna técnica de mitigación que combata los desvanecimientos generados por el canal a fin de evitar un aumento en el probabilidad de error en el bit o, en su defecto, generar seguridad y eficiencia energética.

3.1 Codificación de canal

La codificación de canal involucra la adición de bits redundantes a la señal de información con el objeto de generar un mejor comportamiento frente a las ráfagas de error provocadas por el canal y, del mismo modo, eficiencia energética [9]. Dicha redundancia está en relación al con el número de bit de información k y el largo de la palabra de código generada n como se puede apreciar en la figura 3.

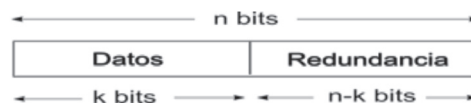


FIGURA 5 ESQUEMA PALABRA DE CÓDIGO (DATO + REDUNDANCIA) [9].

Asimismo, la figura 6 ilustra un esquema en bloques para un canal codificado, donde se aprecia claramente que el factor de redundancia se genera en la etapa del codificador y la tasa binaria está limitada a los valores que pueda tomar la redundancia n .

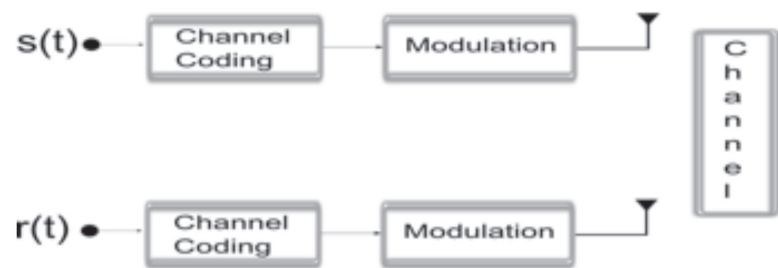


FIGURA 6 CADENA DE TRANSMISIÓN PARA UN CANAL CODIFICADO.

Por tanto, se obtiene:

$$R_s = \frac{R_c}{\log_2(M)} = \frac{n}{k} R_b \quad (4)$$

Donde R_s es la tasa de símbolo de la señal, R_c tasa de código, $\log_2(M)$ número de bit por símbolo y, finalmente, R_b el throughput binario para un canal codificado [5].

Del mismo modo, apreciamos las ventajas generadas por este tipo de canal respecto a un canal no codificado en torno a la ganancia de código y la eficiencia energética generada, como se ilustra en la figura 7.

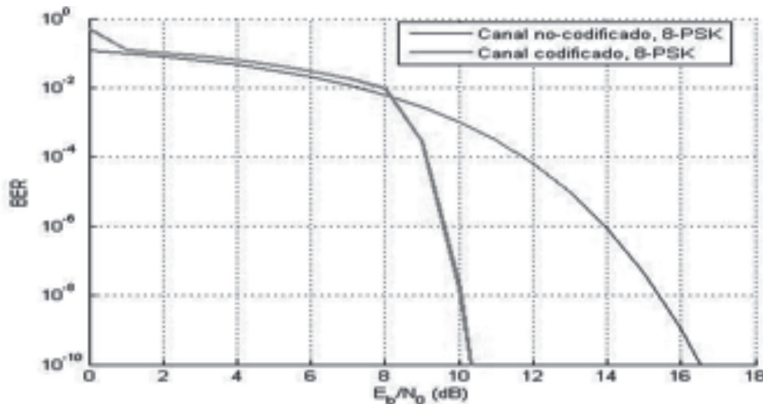


FIGURA 7 CURVA DE ERROR BER PARA UN CANAL NO-CODIFICADO Y CANAL CODIFICADO.

Apreciamos que para un canal codificado los requerimientos energéticos son menores respecto de un canal no codificado, esto en relación a la probabilidad de error en el bit, tal como lo muestra la expresión:

$$P_b \cong \frac{1}{n} \sum_{j=t+1}^n j \binom{n}{j} P_c^j (1 - P_c)^{n-j} \quad (5)$$

El factor n está en relación al largo de la palabra de código generada por el algoritmo de codificación y la variable t es el número máximo de bit corregidos, que genera dicho algoritmo [5], [6].

4. TELEFONÍA CELULAR

En la actualidad coexisten dos tipos de generaciones de telefonía celular: la segunda generación 2G y la tercera generación 3G, las cuales se diferencian, principalmente, en la evolución de velocidad de información, la cual sigue las distintas tecnologías y estándares utilizados, tal como lo indica la tabla 1.

GSM	GPRS	EDGE	UMTS
TDMA	TDMA	TDMA	CDMA
9 Kbps	150 Kbps	384 Kbps	≥ 2 Mbps
.....	HSDPA
.....	CN	CN	CN
.....	WEB	WEB	WEB

TABLA 1 EVOLUCIÓN DE TELEFONÍA CELULAR.

donde CN (Core Network), Web referente al acceso a internet, HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y TDMA/CDMA son técnicas de acceso al medio [10].

4.1. Marco teórico

La planificación celular para una zona de cobertura dada, se desarrolla en una división de plano en sectores denominados celdas, las cuales en conjuntos representan un clúster. Éste, a su vez, mantiene todo el ancho de banda del sistema [10]. Es decir, se puede generar un reuso de frecuencias para aumentar el número de usuarios simultáneos en un canal dado, como se aprecia en la figura 8.

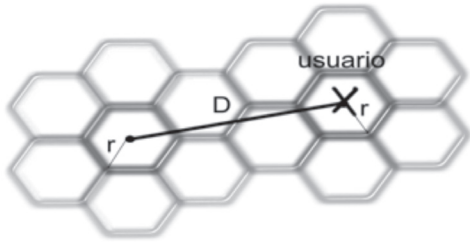


FIGURA 8 REÚSO DE FRECUENCIAS EN BASE A 2 CLÚSTER.

Aquí los usuarios podrán utilizar portadoras con las mismas frecuencias para celdas co-canal, lo que en consecuencia genera una distancia co-canal que está en el radio de la celda y el factor de reúso. Es decir, el numero de celdas con contiene 1 clúster.

$$(6) \quad D = R\sqrt{3K}$$

Sin embargo, al utilizar portadoras con las mismas frecuencias, inevitablemente se generara interferencia entre celdas co-canal, las cuales están en relación al factor CIR (Carrier Interference Rate).

$$(7) \quad CIR = \frac{S}{I} = \frac{P}{R^Y * P \sum_M \frac{1}{D_M^Y}} = \frac{1}{M} * \left[\frac{D}{R} \right]^Y$$

5. RESULTADOS

En torno a la disposición territorial de la ciudad de Santiago de Chile, escenario de trabajo para la aeroplataforma de mediana altitud MAPs, se aprecian las siguientes características:

- 37 comunas
- 40 km. de longitud de diámetro
- 500 m sobre el nivel del mar
- 6.683.652 habitantes [x]

Las tres zonas de coberturas se definieron en base a la distancia respectiva de la aeroplatafor-

ma, y en consecuencia, los respectivos canales de transmisión.

El plano de cobertura fue analizado tomando en cuenta la planificación celular en relación al número total de celdas, distancia co-canal, factor de reúso de frecuencias y, por consiguiente, el total de antenas en la bandeja de transmisión.

Factor de reúso k	7
Nº total de clúster	3
Total de celdas	21
Total de antenas	21
Potencia de transmisión	6 [w]
Distancia co-canal	22,91 [Km]
Radio de celda	5 [Km]
CIR (Caso ideal)	23,43 [db]
CIR (Peor caso)	19,15 [db]
Altura MAPs	4 [Km]
Diámetro cobertura	40 [Km]

TABLA 2 PLANIFICACIÓN CELULAR EN SANTIAGO DE CHILE.

Asimismo, se aprecia en la figura 8 la disposición territorial de cada comuna y la configuración de celdas para la zona de cobertura.

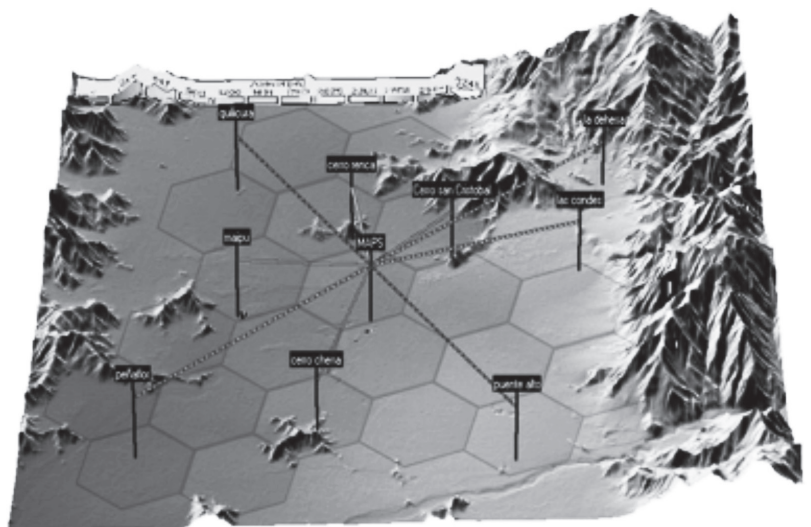


FIGURA 9 ZONA DE COBERTURA 3D PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO CON BASE EN SOFTWARE RADIO MOBILE.

5.1 Throughput binario

Para las distintas zonas de cobertura (UAC/SAC/RAC) en la ciudad de Santiago, la relación señal a ruido S/No, a medida que el usuario móvil se aleja de la aeroplataforma, decrementará generando un aumento en la probabilidad de error en el bit y, además, una limitante en el throughput binario de acuerdo al teorema de Shannon, como se expresa a continuación:

$$(8) \quad C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

donde W representa el ancho de banda, S/No la relación señal de ruido AWGN y, del mismo modo, la eficiencia espectral definida por el aumento del número de bit por símbolo M para cada modulación digital [5]. Por tanto, la capacidad binaria lograda para las tres zonas de cobertura queda expresada en la tabla 3:

Zona cobertura	Modulacion	Throughput binario [Kbps]
UAC	BPSK	BPSK
	QPSK	QPSK
	8-QAM	8-QAM
SAC	16-QAM	16-QAM
	BPSK	BPSK
	QPSK	QPSK
RAC	8-QAM	8-QAM
	16-QAM	16-QAM
	BPSK	BPSK
	QPSK	QPSK
	8-QAM	8-QAM
	16-QAM	16-QAM

TABLA 3 THROUGHPUT BINARIO POR ZONA DE COBERTURA PARA CANAL NO-CODIFICADO.

Throughput binario por zona de cobertura para canal no-codificado.

Zona	Codificación	Modulación	Tasa binaria [Kbps]
UAC	RS	BPSK	53703,17
	BCH	BPSK	39536,66
	BCH	8-QAM	23442,28
SAC	BCH	16-QAM	19275,25
	RS	BPSK	1513,56
	BCH	BPSK	1114,29
RAC	BCH	8-QAM	660,69
	BCH	16-QAM	543,25
	RS	BPSK	660,69
	BCH	BPSK	486,4
	BCH	8-QAM	288,4
	BCH	16-QAM	237,13

TABLA 4 THROUGHPUT BINARIO PARA CANAL CODIFICADO.

Se aprecia el aumento de tasa binaria para un canal codificado a consecuencia del incremento de ancho de banda por portadora para las tres zonas de cobertura, y una ganancia de código de, aproximadamente, 4 [db], implicando un incremento en eficiencia energética de 54,6 [db]. Importante detalle debido a la directa proporcionalidad que mantiene con el tiempo de servicio activo de la aeroplataforma.

Para las tres zonas de cobertura se realizaron análisis con base en el total de usuarios erlang y en la utilización de un 0,05 de carga por suscriptor, lo que implica un 5% de demanda activa por parte de un usuario y los respectivos requerimientos de ancho de banda por sector, como se aprecia en tabla 5:

Zone	Bit rate/ user [Kbps]	BW [KHz]	Erlang
UAC	26,235	429863	14329
SAC	26,553	12115,2	399
RAC	26,42	5288,5	175

TABLA 5 RESULTADOS ERLANG, TASA BINARIA POR USUARIO Y ANCHO DE BANDA PARA CADA ZONA DE COBERTURA.

Por tanto, el sistema de telefonía soporta 14.903 usuarios activos con un requerimiento de banda total de 447,26 [MHz], lo que implica un total de 298.060 abonados para la ciudad de Santiago de Chile.

5.2. Comparativa con sistema de espectro ensanchado cdma

Al utilizar técnicas de espectro ensanchado CDMA, cada usuario podrá utilizar toda la banda a disposición durante todo el tiempo, por la multiplicación de la señal transmitida por un código chips, el cual genera un decremento de la densidad espectral de potencia bajo el piso de ruido. A su vez, es menos susceptible a interferencias creadas por usuarios y celdas aledañas, a diferencia de otros tipos de técnicas de acceso al medio, asumiendo el total erlang sobre una celda.

Entonces, generamos un total de 312.963 erlang y, en relación a un factor de carga por suscriptor de 0,05, se logra un total de 6.259.260 suscriptores para la ciudad de Santiago. Esto abarcaría un 93,6% de la población total.

REFERENCIAS

Revistas:

[1] **Rec. ITU-R F.1819**. "Protection of the radio astronomy service in the 48.94-49.04 GHz band from unwanted emission from HAPs in the 47.2-47.5 GHz and 47.9-48.2 GHz bands".

[2] **ECC Report 156**. "Conditions for possible co-existence between HAPs gateway link and other services/system in the 5850-7075 MHz band". Cardiff, January 2011.

Libros:

[3] **Stylios Karapantazis, Fontini-Niovi Pavlidou**. "Broadband Communication Via High Altitude Platform: A Survey". IEEE Communications Surveys & Tutorials • First Quarter 2005, 1553-877X.

[4] **John G. Proakis**. "Digital Communication". McGraw-Hill, New York, third edition, 1995.

[5] **Bernard Sklar**. "Digital Communications: Fundamentals and Applications". Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1988.

[6] **Bernard Sklar**. "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems", Part I Characterization. IEEE Communication magazines, July 1997. 0163-6804/97, 1997 IEEE.

[7] **Bernard Sklar**. "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems", Part II Mitigation. IEEE Communication magazines, July 1997 IEEE. 0163-6804.

[8] **Goran M. Djuknic, John Freidenfelds**. "Establishing Wireless Communications Services Via High Altitude Aeronautical Platform: A Concept Whose Time Has Come?" IEEE Communications Magazines, September 1997. 0163-6804.

[9] **Alister Burr**. "Modulation and Coding for Wireless Communications". Prentice Hall/Pearsons Education, New York, 2000.

[10] **Oriol Sallent Roig**. "Principios de Comunicaciones Móviles". Universitat Politècnica de Catalunya, Septiembre 2003.