

Aplicación de la tecnología de acceso WiMAX en entornos marítimos costeros

Elías Pérez Carrera, David Prieto Soliño, Iago Soto Mata. *Quobis Networks*

{nombre.apellido}@quobis.com

Resumen—El propósito del presente documento es exponer una serie de casos de prueba dirigidos a la determinación de la influencia que, sobre las prestaciones de un radioenlace OFDM a 5.4Ghz, tiene las peculiares características de la propagación sobre el mar en zonas costeras. WiMAX es una nueva tecnología inalámbrica enfocada a la creación de redes de área metropolitana, definida bajo el grupo de estándares IEEE 802.16, que puede ser una alternativa para satisfacer las crecientes necesidades de acceso de banda ancha en el sector marítimo.

Palabras clave—WiMAX, 802.16, OFDM, radioenlace, inalámbrica, banda ancha, radionavegación.

I. INTRODUCCIÓN

WiMAX es una nueva tecnología inalámbrica enfocada a la creación de redes de área metropolitana; definida bajo el grupo de estándares IEEE 802.16.

El creciente interés que despierta WiMAX entre los distintos agentes involucrados en el mundo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), está cimentado en las ventajas competitivas, tanto de carácter económico como de prestaciones, que presenta esta tecnología de acceso radio frente a otras alternativas actualmente implantadas. Entre estas ventajas competitivas están, entre otras, la versatilidad, ancho de banda proporcionado en comparación con otras tecnologías de acceso (WiFi, xDSL, etc), y la alternativa efectiva en coste para el acceso a servicios de banda ancha.

Desgraciadamente, debido al incipiente desarrollo de WiMAX, no hay disponibles todos los estudios y pruebas de campo que serían deseables de cara a la validación de resultados teóricos y a la aplicación de esta tecnología a proyectos innovadores.

Entre las aplicaciones innovadoras a las que se hacía referencia anteriormente, está la aplicación de WiMAX al sector marítimo, ya que una de las más crecientes demandas de la industria naval es la necesidad de disponer de comunicaciones de banda ancha fiables, robustas y económicamente competitivas. Las tecnologías tradicionales que utilizan la banda de HF presentan problemas de escaso

ancho de banda; mientras que tecnologías de acceso móvil celular 2G y 3G, no son suficientes para cubrir las necesidades actuales en estos escenarios debido, fundamentalmente, a la alta latencia en las conexiones y las limitaciones de alcance. Otras tecnologías de acceso alternativas, como la vía satélite, presenta limitaciones económicas asociadas al elevado coste de los equipos y del servicio.

La literatura existente en torno a esta temática es muy escasa debido, fundamentalmente, al carácter incipiente e innovador de la tecnología WiMAX. Así, es preciso realizar una serie de tests y pruebas de campo para verificar y validar el funcionamiento de una red basada en esta tecnología en un entorno hostil, donde los terminales de usuario se encuentran en el mar, sometidos a oscilaciones y, en su caso, a movimientos respecto a las estaciones base. Se analizará el efecto que, sobre el rendimiento del radioenlace, tienen la combinación de las condiciones ambientales específicas del entorno marítimo (niebla, gases atmosféricos de vapor de agua y de oxígeno, reflexiones en la superficie del mar, brisa marina, conductos formados por la evaporación del agua de mar, etc) a las frecuencias de interés que las fijaremos en las bandas libres de 2,5 y 5 Ghz y en la banda con licencia de 3,5 Ghz.

El estudio se centra en escenarios marítimos cercanos a la costa (distancias inferiores a 30 millas náuticas), puesto que es ahí donde se concentra un mayor número de usuarios potenciales.

II. PROPAGACIÓN EN ENTORNOS MARÍTIMOS

Para el modelado teórico de la propagación radioeléctrica en entornos marítimos partiremos de la base de un escenario de propagación LOS. Este escenario se rige por la ecuación:

$$Pr = Pt - Lp + Gt + Gr - Lt - Lr$$

donde

Pt = Potencia del transmisor (dBm o dBW).

Lp = Perdidas por propagación en espacio libre entre antenas isotrópicas (dB).

G_t = Ganancia de la antena de transmisión (dBi).

G_r = Ganancia de la antena de recepción (dBi).

L_t = Pérdidas de la línea de transmisión entre el transmisor y la antena transmisora (dBi).

L_r = Pérdidas de la línea de transmisión entre la antena receptora y el receptor (dBi).

A esta ecuación habrá que añadirle los efectos ocasionados por la refracción atmosférica, la difracción producida por objetos próximos al trayecto directo de propagación y la reflexión ocasionada por objetos tanto próximos como lejanos al trayecto directo.

También se debe tener en cuenta los efectos de los agentes meteorológicos que, según la frecuencia utilizada, tendrán un efecto más o menos acusado. Los principales agentes que hay que tener en cuenta en este escenario son los siguientes:

- Lluvia: las ondas de radio que se propagan a través de una región de lluvia se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida debido a la dispersión de parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia. No obstante, la atenuación por dispersión es generalmente reducida en comparación con las pérdidas por absorción. Las pérdidas por precipitaciones se pueden caracterizar por la ecuación:

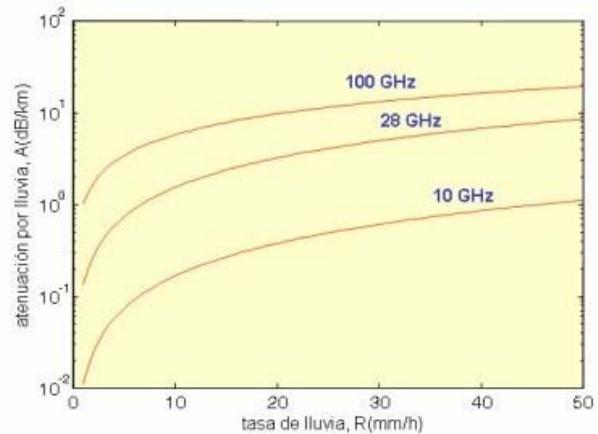
$$A(\text{dB/km}) = a R^b$$

donde

R = tasa de lluvia en mm/h.

Y donde a y b son constantes que dependen de la frecuencia y de la temperatura de la lluvia.

En la siguiente gráfica se pueden observar la atenuación de la lluvia en función de la tasa de precipitación para distintas frecuencias:



Gráfica 1: Atenuación por lluvia en función de la tasa de precipitación y para distintas frecuencias.

- Niebla: La atenuación por niebla de las microondas y de las ondas milimétricas está gobernada por las mismas ecuaciones que en el caso de la lluvia. La principal diferencia es que la niebla puede modelarse como un conjunto de gotas de agua muy pequeñas en suspensión con radios variables entre 0,01 y 0,05 mm. Para frecuencias por debajo de 300 GHz la atenuación producida por la niebla es linealmente proporcional al contenido total de agua por unidad de volumen para cada frecuencia. En la figura se representa la atenuación por niebla en dB/km en función de la frecuencia y para las dos concentraciones indicadas anteriormente. Para una frecuencia de 100 GHz, la atenuación en el caso de niebla densa es de tan sólo 1 dB/km. Por lo tanto, en el diseño de radioenlaces con suficiente margen de señal para evitar la atenuación por lluvia, la niebla no constituirá un factor de limitación.

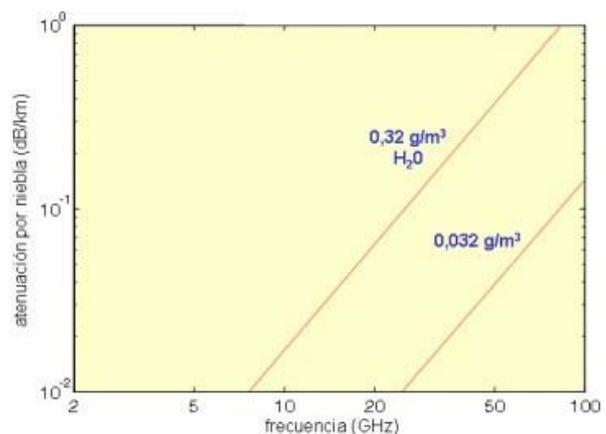


Figura 2: atenuación niebla en función de la frecuencia

- Nieve: La atenuación de las microondas al atravesar nieve "seca" es al menos un orden de magnitud inferior que para la lluvia considerando la misma tasa de precipitación. No obstante, la atenuación para la

nieve “húmeda” es comparable a la de la lluvia e incluso superior en la banda de frecuencias milimétricas. Medidas experimentales han mostrado valores de atenuación en torno a 2 dB/km para 35 GHz y una tasa de precipitación de 5 mm/h. Para nieve “seca” la atenuación es dos ordenes de magnitud inferior. Debido a la gran cantidad de variables involucradas, en particular el contenido de agua relativo, resulta difícil especificar la atenuación en función de la tasa de precipitación de una forma simple.

Además de los mecanismos mencionados anteriormente existen otros, exclusivamente asociados a la propagación en un entorno marítimo, que se deben tener en cuenta a la hora de predecir el campo recibido en un receptor situado en el mar. Estos son:

- Atenuación por gases atmosféricos: Este es un fenómeno atmosférico que, obviamente, está muy presente en zonas marítimas debido a la evaporación del agua del mar. Los vapores de agua y de oxígeno no condensados presentan una importante absorción a determinadas frecuencias. Debido a esto existen frecuencias en el rango de las microondas que experimentan una fuerte atenuación frente a otras que no acusan tanto este efecto además, la atenuación producida por estos gases atmosféricos es aditiva. Como se puede observar en la siguiente gráfica por debajo de los 15 GHz la atenuación introducida es despreciable (mucho menor que 1 dB/Km).

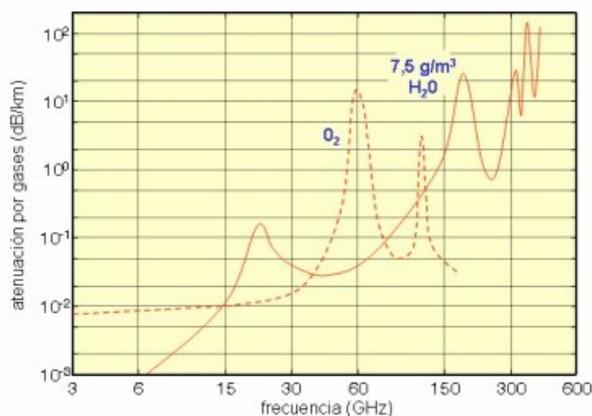


Figura 2: atenuación por gases atmosféricos en función de la frecuencia

- Conductos por evaporación de agua: debido a la evaporación del agua de la superficie marina, existe a menudo una región sobre esta donde se produce un rápido cambio de la humedad, el cual causa una variación descendente del índice de refracción con la altura más acusado de lo normal. A esta región se le denomina *conducto*, y este cambio en el índice de refracción puede provocar que las ondas que viajan dentro del conducto describan una curva hacia la

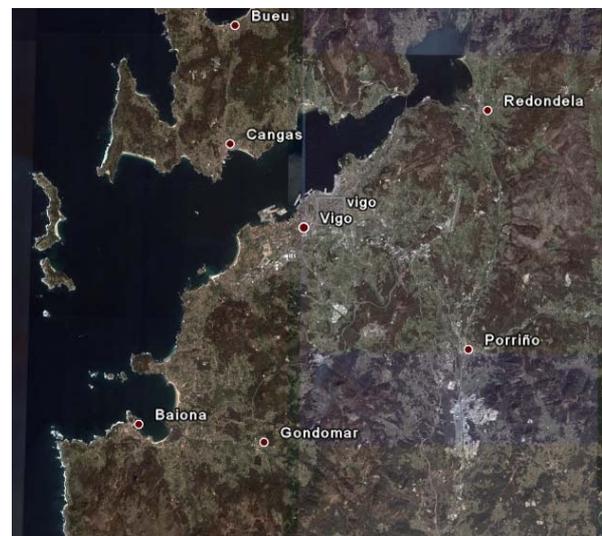
superficie terrestre en donde se reflejarán, produciéndose un efecto guía onda que puede llevar a alcanzar unas distancias de propagación mucho mayores con respecto a los mecanismo de propagación normal de la onda. La efectividad de conducto aumenta así como aumenta la frecuencia hasta llegar en torno a los 10,5 GHz, a partir de la cual comienza a disminuir. Además de la frecuencia, la efectividad también dependerá de la altura de la antena transmisora, para facilitar que la onda sea atrapada por el conducto, de la receptora, para captar la señal, y de variaciones.

Como en este documento se quieren determinar los efectos de las condiciones atmosféricas sobre la propagación, tomaremos como despreciables las pérdidas por difracción y reflexión frente a los primeros. Esta suposición es asumible ya que se puede entender que el trayecto sobre el mar transcurrirá más o menos libre de obstáculos además de las características propias de la

III. ESCENARIO DE PRUEBAS

A) Ubicación

El escenario de pruebas escogido es la ría de Vigo (Pontevedra), situada las *Rías Baixas* gallegas en España (ubicación 42° 13' N 8° 49' O).



Entre las diferentes motivaciones que hacen de éste un escenario adecuado para este proyecto, cabe destacar que el puerto de Vigo es uno de los puertos pesqueros más importantes del mundo, en donde se mezclan actividades de pesca de altura con la explotación de la ría por parte de la flota de bajura de los distintos puertos correspondientes a las demás poblaciones que comparten la costa de la Ría de Vigo. Unido a este marcado carácter económico en el sector primario, el puerto de Vigo es un referente para la escala de los más importantes transatlánticos y desde hace unos años se está experimentando un gran auge de la navegación de recreo,

reflejada en el extraordinario aumento del número de embarcaciones de este tipo y el desarrollo de puertos deportivos para dar cabida a dicho aumento.

Por todos los motivos anteriormente expuestos, se puede entender que el escenario escogido pasa por ser una localización adecuada para realizar los casos de pruebas que se presentan debido a que, en una misma ubicación, se conjugan diferentes actividades navales que precisan de un variado tipo de aplicaciones de telecomunicación y que incumben a diferentes sectores económicos.

En la realización de las pruebas se ha utilizado equipamiento de acceso del fabricante israelí Alvarion. Esta empresa presenta una de las mayores cuotas de penetración en el mercado, estando desplegadas en más de 150 países tanto por operadores como por empresas privadas y organizaciones. En nuestro caso utilizaremos equipamiento de la banda de uso libre situada en los 5.4Ghz, empleando dos antenas punto a punto.

B) Equipamiento hardware: radioenlace BreezeNET B14

La familia de productos BreezeNET B está pensada específicamente para entornos NLOS y con dificultades climatológicas severas, permitiendo disponer de una solución punto a punto de alta velocidad (hasta 7 Mbps de tráfico neto) en un entorno seguro y eficiente en costes, tanto para radioenlaces de operadores como para conectividad entre edificios. El estándar WiMAX fija un alcance máximo de la tecnología de 50 kilómetros (existiendo ya casos de éxito documentados con este equipamiento hasta 20 kilómetros) para escenarios con visión directa (LOS – Line Of Sight) y hasta algo más que 1 kilómetro en el caso de no tenerla (entornos NLOS – Non Line Of Sight). En la imagen siguiente se presenta el aspecto de la unidad externa del equipo (con la antena acoplada al mismo) y la unidad interna.



Este producto, denominado por el fabricante como equipamiento preWiMAX, comparte las características tecnológicas principales de 802.16^a, con las siguientes funcionalidades:

- Nivel elevado de throughput: 14 Mbps a nivel radio, con posibilidad de incrementar hasta 22Mbps mediante una actualización firmware.
- Arquitectura para trabajar en interiores y exteriores.

- Parámetros de servicio: SNR, MIR downlink/uplink, etc...
- OFDM para asegurar el funcionamiento en NLOS
- Control automático de potencia y modulación
- Encriptación y autenticación 128 bits con AES y WEP.

El equipo se encuentra disponible con antenas integradas de 21 dBi, 28 dBi y 32 dBi, obtándose por las primeras para esta prueba, donde los casos de éxito alcanzaban sólo los 20 km. con visión directa. Para el caso de la antena con 32dBi, se habla de enlaces hasta 45 km en entornos LOS.

Para las pruebas realizadas desde una embarcación, se instaló la unidad interna en la cabina de mando y la antena planar se ubicó en el palo mayor de la embarcación, a una altura de 3m desde la línea de flotación; así como en la propia línea de flotación, a efectos de considerar la influencia de la altura en el enlace.



C) Herramientas Software

Para la realización de las pruebas se han utilizado tres ordenadores portátiles corriendo el sistema operativo Linux, dos de ellos realizando tareas cliente/servidor y un tercero monitorizando del tráfico en el enlace de forma no intrusiva, mediante consultas SNMP.

A efectos de comprobar el funcionamiento del enlace antes distintos tipos de tráfico IP, se instalaron en los ordenadores portátiles diversos servidores (web, ftp, VoIP, video streaming...) para establecer, de forma simultánea, sesiones de transferencia con distintos protocolos (SIP, FTP, HTTP, H.263, etc...) tanto en tráfico TCP como UDP. Asimismo, se dispusieron patrones de tráfico aleatorio utilizando herramientas de código abierto tales como SIPP (para

generación de conexiones SIP) o IPERF (para medición de retardo y jitter).

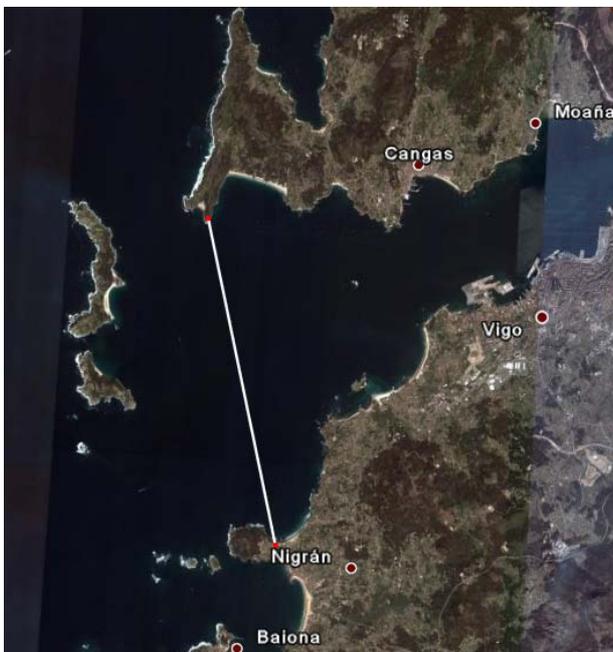
IV. RESULTADOS

De cara a determinar el efecto de los condicionantes meteorológicos sobre la tasa binaria susceptible de utilizarse para la comunicación punto a punto en una red IP sobre ethernet, se procede a la descarga de un fichero remoto mediante el protocolo HTTP. De esta modo se podrán analizar las limitaciones impuestas, en cada caso, al ancho de banda disponible para la comunicación.

A) Escenario 1:

El propósito de este caso de prueba es el análisis del efecto real que, sobre el rendimiento de un radioenlace fijo constituido por antenas a poca altura sobre el nivel del mar (3m), tienen la combinación de las situaciones desfavorables de proximidad del mar (debido a la atenuación que sobre la propagación a frecuencias de microondas introduce los gases atmosféricos de vapor de agua y de oxígeno), de niebla (debido a la absorción de potencia por parte de las gotas de agua en suspensión) y el posible efecto de los conductos de evaporación y de la brisa marina.

La distancia entre ambos emplazamientos es de aproximadamente 11 Km, con la práctica totalidad del trayecto del vano transcurriendo directamente sobre el mar. En las siguientes figuras se pueden apreciar la ubicación de los extremos del radioenlace así como las condiciones de visibilidad.

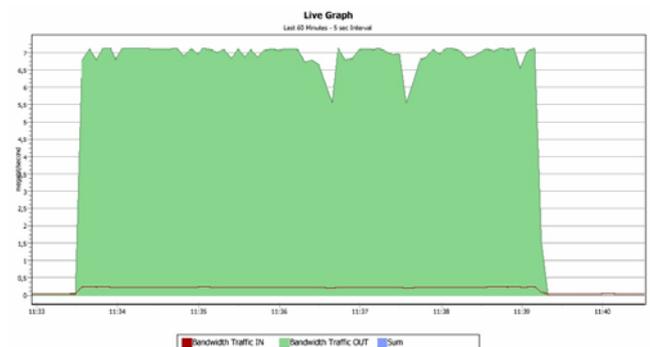


Las condiciones climáticas (en concreto la presencia de niebla que impedía la visión del otro extremo y las altas temperaturas que favorecerían la presencia de vapor de agua por evaporación de agua marina) y la situación a nivel del mar de

ambos extremos eran propicias para la extracción de conclusiones.



Para este caso de pruebas, se obtiene una SNR media en recepción de 23 dB con ligeras variaciones sobre dicho valor. En la siguiente gráfica se puede observar que, la tasa binaria disponible, a nivel Ethernet, se sitúa alrededor 7 Mbps que se corresponde con la nominal anunciada para estos equipos.



En este caso, como teóricamente se había supuesto, los efectos de niebla y gases atmosféricos no son determinantes a estas frecuencias. Además no se advierten limitaciones introducidas por conductos o por la brisa marina. Los desvanecimientos que se aprecian hacia la mitad del experimento son debidos a cambios realizados en el apuntamiento (variación en azimuth), y que provocaron una disminución en la tasa neta de transferencia de unos 2Mbps, sin llegar a perderse la conexión.

Estos resultados demuestran la idoneidad de esta tecnología para el despliegue de radioenlaces fijos de banda ancha en trayectos sobre la superficie del mar.

B) Escenario 2

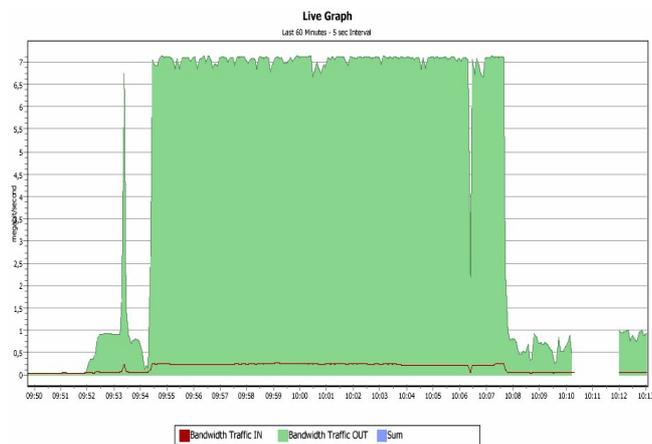
El propósito de este caso de prueba es el mismo análisis que el anterior, pero en una ubicación distinta. De esta manera, se busca repetir las pruebas en otro lugar geográfico distinto dada la dependencia que, entre otros factores, tienen la

formación de conductos por evaporación y la brisa marina de la ubicación.

En la siguiente figura se puede apreciar la ubicación de los extremos del radioenlace (extremo izquierdo en la playa de Cangas, extremo derecho en la dársena del Puerto de Vigo). La distancia entre ambos emplazamientos es de aproximadamente 5 Km, con la práctica totalidad del vano sobre la superficie del mar.



Para este caso de pruebas, se obtiene una SNR media en recepción de 32 dB, con pocas variaciones sobre dicho valor. En la siguiente gráfica se puede observar que el throughput neto se sitúa alrededor de los 7 Mbps, que se corresponde con la nominal anunciada por el fabricante para estos equipos.



Por lo tanto se obtienen unos resultados similares al primer caso, a pesar de ser un entorno a priori menos hostil. Obviamente tenemos un valor superior de SNR recibida, debido a la disminución de la distancia del vano.

C) Escenario 3

El propósito de este caso de prueba es el análisis del rendimiento del radioenlace en un escenario donde la base está fija en tierra y el terminal de usuario está ubicado en una embarcación. Por lo tanto, además de los efectos meteorológicos, se incluyen nuevos factores influyentes en la

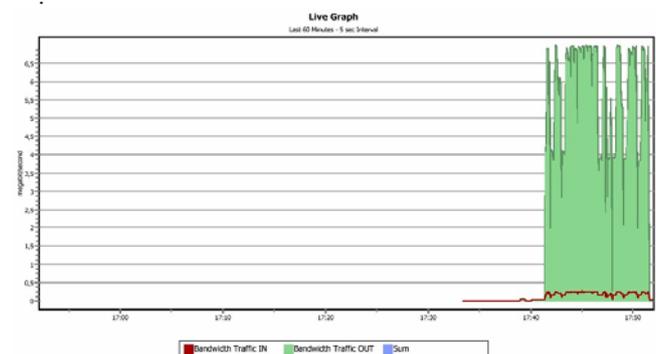
calidad del radioenlace como son: la movilidad del receptor respecto a la base y el efecto del oleaje, que varía la dirección de apuntamiento de la antena receptora y que eventualmente puede evitar la visión directa del transmisor.

En la gráfica siguiente se puede observar el recorrido trazado por la embarcación que portaba el equipo remoto y la situación de la estación base.



Para este caso de pruebas se obtiene en el tramo más alejado, como era de esperar, una drástica disminución de la SNR en recepción, con un valor medio de unos 5 dB. Además se observan, a lo largo de todo el trayecto descrito por la embarcación, rápidas fluctuaciones sobre el valor medio registrado. Estas fluctuaciones responden al movimiento que el oleaje produce en la embarcación y que hacen variar la dirección de apuntamiento de la antena (puesto que se empleó una antena directiva).

En la siguiente gráfica se presenta la tasa binaria correspondiente al tramo más alejado a la estación base (8km de distancia).



Como se puede observar, aún con fuertes variaciones, se mantiene una tasa binaria de transferencia que permiten, mediante la tecnología WiMAX, la prestación de servicios banda ancha a clientes móviles en entornos marítimos, a lo menos en zonas costeras.

Hay que resaltar que estos resultados se obtuvieron para una única estación base, con lo que las prestaciones a usuarios

móviles mejorarían en el caso de la implantación de una red de estaciones base costeras.

V. APLICACIONES Y SERVICIOS

Habitualmente, cuando se habla de tecnologías de acceso de última milla, se presupone que se trata de acceso terrestre, cuando esta definición es perfectamente aplicable al entorno marítimo, donde coexisten múltiples usuarios potenciales. Más concretamente, las comunicaciones marítimas son una industria que representó, en el pasado ejercicio, un volumen de negocio a nivel mundial de más de un billón de dólares, englobando a empresas de transporte y flete marítimo, operadores de rutas marítimas, servicios aduaneros, pesca de altura y bajura o embarcaciones de recreo.

Aunque este estudio se limita al entorno marítimo más próximo a la costa, es un hecho patente que una de las más crecientes demandas en la industria marítima son las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, gracias en buena medida a la popularización de la red Internet y los servicios que brinda a los usuarios.

Si bien en las comunicaciones marítimas de alta mar la principal tecnología de acceso es vía satélite, en los sistemas actuales de comunicación marítima costera se trabaja con tecnologías radio en HF y fundamentalmente en V/UHF. En este entorno, los sistemas tradicionales de radiocomunicación se caracterizan por emplear modulaciones analógicas de baja eficiencia espectral, con acceso half-dúplex, poco ancho de banda (cientos de Kpbs) y de difícil integración con dispositivos IP de nueva generación. De esta manera, buena parte de los servicios de envío de boletines meteorológicos, consulta de cartas náuticas, avisos, señalización de emergencia, etc... están basadas en sistemas analógicos de funcionalidades limitadas.

Por las características de cobertura y capacidad que presenta esta tecnología de acceso y que han sido analizadas en este estudio, así como por la característica "todo IP" que caracteriza a una red de este tipo, son varias las aplicaciones que podría tener la tecnología de acceso WiMAX en su aplicación en la última milla marítima:

- **Provisión de acceso a internet de banda ancha:** la *killer-application* de la tecnología WiMAX en este entorno es sin duda la provisión de acceso a internet. Así, se abre un potencial modelo de negocio para operadores de acceso a internet inalámbricos (WISP's) especializados en acceso marítimo. De este modo, con una red de estaciones base costeras con tecnología WiMAX, es factible proveer acceso a Internet de banda ancha a usuarios "fijos" ubicados en la zona de cobertura próxima a la costa.

De igual modo, es factible la provisión de servicios de telefonía IP, sustituyendo y mejorando los

sistemas actuales de radiotelefonía (*shore-to-ship calling*) actualmente dependientes de una entidad portuaria y de escasa privacidad.

- **Telecontrol, teledida y telemando:** los sistemas actuales de telecontrol, teledida y telemando podrían sustituir sus accesos, tradicionalmente basados en módems FSK en la banda de 400Mz y con velocidades máxima de 9600bps, podrían mejorar su capacidad de comunicación.
- **Videovigilancia:** toda vez que se dispone de una red inalámbrica de banda ancha, con garantías de servicio y baja latencia, se puede considerar la instalación de cámaras de videovigilancia en puntos estratégicos situados en el mar (balizas, radiofaros, molinos de viento marinos, islas, etc...). En este sentido, existen varios casos de éxito en la zona del Levante español, para monitorización de cámaras IP y sensores en instalaciones de energía solar en el mar.
- **Cobertura de regatas y eventos deportivos:** las regatas marítimas presentan una alta demanda de ancho de banda, tanto por motivos de seguridad (telemetría, posicionamiento, etc...) como para ocio (cámaras embarcadas, conexiones en directo, etc...). Asimismo, en combinación con sistemas de posicionamiento, se pueden mejorar los servicios de telemetría, para transmitir en tiempo real la ubicación de los barcos y realizar una representación gráfica de la misma. En este sentido, cabe reseñar una experiencia piloto celebrada en la pasada regata "Desafío Audi" en Sanxenxo (Pontevedra), donde se consiguió transmitir vídeo en IP codificado directamente desde el campo de regatas.
- **Establecimiento 'hot-spots' marítimos:** de forma similar a los hot-spots Wifi, es factible la creación de una red inalámbrica de banda ancha para el uso exclusivo por parte de una empresa u organismo, tanto para la comunicación barco-costa, costa-barco o barco-barco. Este último caso puede ser de aplicación en estructuras flotantes en la costa o en alta mar, tales como plataformas petrolíferas o parques eólicos marítimos, donde se podrían crear una amplia zona de cobertura inalámbrica para uso privado.

VI. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Como conclusión extraída de los casos de prueba anteriormente presentados y a los servicios y aplicaciones propuestos se pueden indicar:

- Posibilidad de utilización de la tecnología WiMAX como soporte de servicios de banda ancha, tanto fijos como móviles, en entornos marítimos costeros en condiciones climatológicas normales.

- Efecto despreciable, a las frecuencias elegidas, de los efectos de atenuación por gases atmosféricos y niebla.
- Necesidad de realización de pruebas más específicas para la determinación de los efectos de los conductos de evaporación y el efecto de la brisa marina. Las pruebas realizadas no arrojan suficiente luz sobre estos mecanismos.
- Necesidad de realización de pruebas de campo en entornos marítimos non-LOS y NLOS para comprobar el comportamiento de WiMAX en estos casos.
- Necesidad de realización de pruebas en un rangos de distancias mayores de cara a determinar la idoneidad de esta solución para entornos marítimos alejados de la costa.
- Necesidad de realización de un estudio comparativo de las diferentes bandas de frecuencias susceptibles de ser utilizadas por WiMAX.

Una vez que este estudio inicial arroja resultados positivos que animan a continuar la investigación, se están dando los pasos encaminados a la realización de las pruebas necesarias que complementen las presentadas en este documento.

VII. SOBRE QUOBIS

Quobis Networks es una empresa privada de ingeniería de telecomunicaciones con oficinas en el Polígono Industrial de A Granxa (Porriño, Pontevedra) y en el Parque Tecnológico de Galicia (San Cibrao das Viñas, Ourense). La plantilla está compuesta en su mayoría por ingenieros de telecomunicaciones y técnicos en instalaciones de comunicaciones. Quobis está especializada en comunicaciones inalámbricas y en soluciones convergentes de voz y datos sobre redes IP.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Centro Tecnológico del Mar (Vigo) y al Consorcio de la Zona Franca de Vigo su inestimable colaboración para la realización de las pruebas, así como sus interesantes aportaciones acerca de las potenciales aplicaciones y servicios de esta tecnología en entornos marítimos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.S.V. Radha Krishna Rao y M. Purnachandra Rao, *Coastal atmospheric effects on line-of-sight links located in Visakhapatnam – A study*. Faculty of Information Technology, Multimedia University Selangor, Malaysia
- [2] Andrew L. Martin, *VHF and Microwave Propagation Characteristics of Ducts*
- [3] G.S.V. Radha Krishna Rao, *Influence of Sea Breeze on Line-of-Sight Links Located in Visakhapatnam*, AU. JT Octubre 2005

- [4] Barry McLarnon, *VHF/UHF/Microwave Radio Propagation: A Primer for Digital Experimenters*, ICTP-URSI Italia, Marzo 2001
- [5] Christopher M. Palazzi, Graham S. Woods, Ian Atkinson, Stuart Kininmont, *High Speed Over Ocean Radio Link to Great Barrier Reef*, TENCON 2005, Palazzi.
- [6] Christopher M. Palazzi, Graham S. Woods, Ian Atkinson, *Sensor Networking the Great Barrier Reef*, Spatial Sciences Qld Journal, 2005.
- [7] *Mobile WiMAX -- Part I: A Technical Overview and Performance Evaluatio*, WiMAX Forum, Agosto 2006.

Iago Soto Mata (Vigo, 1978) es Ingeniero Superior de Telecomunicaciones por la Universidad de Vigo (2002), con especialidad en procesado digital de señal. Su proyecto fin de carrera versó sobre los patrones de codificación de información en imágenes (*watermarking*). En el año 2002 se incorpora como jefe de proyectos a Artel Ingenieros, empresa asociada al Grupo San José, donde gestiona diversos proyectos de despliegue de redes de voz y datos para construcciones de obra civil. En Septiembre de 2004 funda la empresa de integración Adianta, que venderá a un grupo inversor en Marzo de 2006 para fundar Quobis Networks, donde ejerce actualmente como director de nuevas áreas. Sus principales inquietudes profesionales se centran en las comunicaciones de banda ancha y la tecnología IP.

Elías Pérez Carrera (Vigo, 1979) es Ingeniero Superior de Telecomunicaciones por la Universidad de Vigo (2003), con especialidad en procesado digital de señal. Su proyecto fin de carrera sobre la codificación de voz a muy baja tasa, realizado en ESIEE París en colaboración con Thales Communications. En Septiembre de 2004 funda la empresa de integración Adianta, que venderá a un grupo inversor en Marzo de 2005 para fundar Quobis Networks, donde ejerce actualmente como director técnico. Sus principales inquietudes profesionales se centran en las comunicaciones de banda ancha y la tecnología IP.

David Prieto Soliño (Vigo, 1975) es Ingeniero Superior de Telecomunicaciones por la Universidad de Vigo (2004) en la especialidad de procesado de señal, rama de comunicaciones. En el año 2004 colabora con el Servicio de Comunicaciones de la Universidad de Vigo. En marzo de 2005 pasa a formar parte del equipo de Nextiraone España, empresa internacional integradora de equipamiento y servicios de telecomunicaciones, colaborando con el Servicio de Red de la Universidad de A Coruña en la migración de la red de datos a tecnología Gigabit. En marzo de 2006, pasa a formar parte del Departamento de Ingeniería de Red de Adianta, donde realiza tareas de planificación e integración de redes tanto cableadas como inalámbricas. En Junio de 2006 se incorpora al departamento de ingeniería radio de Quobis Networks, donde colabora en la planificación y despliegue de redes inalámbricas en tecnologías tanto WiFi como WiMAX.